



Paisaje cafetero y Nevado del Ruiz al fondo. Fotografía de Jaime Duque Escobar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

MANIZALES, 2020

CONTENIDO

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Contenido		
Presentación		01
1. CICLO GEOLÓGICO		06
1.1 SOBRE LA GEOLOGIA		09
1.2 CICLO DE LAS ROCAS		
1.3 LAS GEOCIENCIAS Y EL DESARROLLO DE COLOMBIA		
1.4 EL INESTABLE CLIMA Y LA CRISIS DEL AGUA		
1.5 LAS CUENTAS DEL AGUA EN COLOMBIA		
1.6 BOSQUES EN LA CULTURA DEL AGUA		
1.7 EL ESTADO Y LA FUNCIÓN SOCIAL DEL SUELO URBANO		
1.8 NO TODO LO QUE BRILLA ES ORO		
1.9 ESPERANZA Y ACCIÓN A LA HORA DEL PLANETA		
1.10 EJE CAFETERO: CONSTRUCCION SOCIAL E HISTÓRICA DEL TERRITORIO		
2. MATERIA Y ENERGIA		29
2.1 INTRODUCCION		
2.2 CONSTANTES EN LA TEORIA FISICA		
2.3 MACROESTRUCTURAS		
2.4 TRABAJO		
2.5 LA ENERGIA		
2.6 DETECCION A DISTANCIA POR RADAR		
2.7 DINÁMICAS Y CONTRA RUMBOS DEL DESARROLLO URBANO		
2.8 PROSPECTIVA PARA EL DESARROLLO MAGDALENENSE		
2.9 REFLEXIONES SOBRE EL POT DE MANIZALES		
2.10 ¿AJUSTES A LOCOMOTORA ENERGETICA DE COLOMBIA?		
2.11 LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.		
2.12 HURACÁN IOTA: TIFÓN QUE ABATE SAN ANDRÉS.		
3. EL SISTEMA SOLAR		48
3.1 EL SISTEMA SOLAR		
3.2 TEORIAS ACERCA DE LA FORMACION DEL SISTEMA SOLAR		
3.3 FORMACION DE LA TIERRA		
3.4 EVOLUCIÓN ESTELAR		
3.5 LA GALAXIA		
3.6 SOL, CLIMA Y CALENTAMIENTO GLOBAL		
3.7 EL CALENTAMIENTO GLOBAL ARRECIA... ¿Y LAS HELADAS QUÉ?		
3.7 CIEN AÑOS DEL UNIVERSO RELATIVISTA DE EINSTEIN		
3.8 EL MISTERIOSO LADO OSCURO DEL UNIVERSO		
3.9 EL SABIO CALDAS, GONZÁLEZ BENITO Y GARAVITO ARMERO.		
3.10 SINERGIA Y PERTINENCIA EN LAS CIENCIAS BÁSICAS		
4. LA TIERRA SÓLIDA Y FLUIDA		67
4.1 ATMOSFERA		
4.2 LA TIERRA SÓLIDA		
4.3 HIDROSFERA		
4.4 EL CLIMA MUNDIAL		
4.5 LOS ELEMENTOS DEL CLIMA		
4.6 DINÁMICAS DEL CLIMA ANDINO EN COLOMBIA		
4.7 AMENAZA CLIMÁTICA EN EL TROPICO ANDINO		
4.8 COLOMBIA Y SUS MARES FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL DESARROLLO		

4.9	INTEGRACIÓN DEL MAR DE BALBOA	
4.10	DEUDA HISTÓRICA CON EL PACÍFICO COLOMBIANO.	
4.11	TRIBUGÁ: ¿ES POSIBLE EL DESARROLLO SOSTENIBLE?	
4.12	HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA	
4.13	DESARROLLO URBANO Y HUELLA ECOLÓGICA	
5.	LOS MINERALES	88
5.1	DEFINICIÓN	
5.2	ELEMENTOS CLAVE	
5.3	CRISTALIZACIÓN	
5.4	ENLACES, ESTRUCTURAS Y ALEACIONES	
5.5	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES	
5.6	FORMA Y SISTEMAS CRISTALINOS	
5.7	MINERALOGÍA QUÍMICA	
5.8	PARTICIPACIÓN E IMPORTANCIA DE LOS MINERALES	
5.9	GEOLOGÍA ECONÓMICA DEL EJE CAFETERO	
5.10	DESARROLLO MINERO-ENERGÉTICO DE CALDAS	
5.11	MINERÍA METÁLICA SÍ, PERO SUSTENTABLE.	
5.12	ANOTACIONES PARA UN CRECIMIENTO PREVISIVO Y CON DESARROLLO	
6.	VULCANISMO	106
6.1	LOS AMBIENTES DE LOS PROCESOS MAGMÁTICOS	
6.2	PARTES DE UN VOLCÁN	
6.3	MECANISMOS ERUPTIVOS DE LOS VOLCANES	
6.4	PRODUCTOS Y EFECTOS DE LAS ERUPCIONES	
6.5	MANIFESTACIONES VOLCÁNICAS	
6.6	LOS VOLCANES COLOMBIANOS	
6.7	INTIMIDADES DEL RUIZ PARA UN EXAMEN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA	
6.8	EL RUIZ CONTINÚA DANDO SEÑALES...	
6.9	EL RUIZ, AMÉRITA MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y NO PÁNICO	
6.10	CERRO BRAVO, TRAS TRESCIENTOS AÑOS DE CALMA VOLCÁNICA	
6.10	TANTO TEMBLOR: ¿QUÉ PASA?	
7.	ROCAS ÍGNEAS	128
7.1	GENERALIDADES	
7.2	ASPECTOS FUNDAMENTALES	
7.3	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	
7.4	PAISAJE ÍGNEO	
7.5	ALGUNOS TÉRMINOS Y DEFINICIONES	
7.6	EJEMPLOS DE ROCAS ÍGNEAS EN COLOMBIA	
7.7	EL DESASTRE DE ARMERO A LOS 30 AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL RUIZ	
7.8	EL TERRITORIO DEL GRAN CALDAS, "LA TIERRA DEL CAFÉ"	
7.9	ÁRBOLES, POBLACIONES Y ECOSISTEMAS	
7.10	DEGRADACIÓN DEL HÁBITAT Y GESTIÓN AMBIENTAL	
8.	INTEMPERISMO O METEORIZACIÓN	149
8.1	PROCESOS EXTERNOS	
8.2	FACTORES DEL INTEMPERISMO FÍSICO O MECÁNICO	
8.3	FACTORES DEL INTEMPERISMO QUÍMICO	
8.4	FORMAS DEL INTEMPERISMO QUÍMICO	
8.5	FRAGMENTOS LÍTICOS	
8.6	SUELOS	
8.7	ZONAS RICAS DEL PAÍS	
8.8	AMENAZA CLIMÁTICA EN EL TROPICO ANDINO	
8.9	ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO – CASO MANIZALES.	
8.8	ACCIONES FRENTE AL CLIMA Y EL "DESARROLLO"	
8.9	COLOMBIA BIODIVERSA: POTENCIALIDADES Y DESAFÍOS.	
8.10	LA ECONOMÍA AZUL EN LA ESFERA DE LA PRODUCCIÓN	
9.	ROCAS SEDIMENTARIAS	171
9.1	GENERALIDADES	
9.2	DIAGENESIS	
9.3	CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS	
9.4	CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	
9.5	DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	
9.6	SEDIMENTOS ORGÁNICOS	
9.7	FASES DE EXPLORACIÓN GEOLOGICA	
9.8	EJEMPLOS DE SEDIMENTITAS EN COLOMBIA	
9.9	CARBÓN ANDINO COLOMBIANO	
9.10	ARROYO BRUNO, ENTRE LA MUERTE NEGRA Y LA VIDA WAYUU	
9.11	¿CUÁL ES EL MEJOR SISTEMA DE TRANSPORTE PARA COLOMBIA?	
9.12	¿QUÉ HACER CON LA VÍA AL LLANO?	
10.	TIEMPO GEOLOGICO	191

10.1	TIEMPO ABSOLUTO	
10.2	TIEMPO RELATIVO	
10.3	LA COLUMNA GEOLOGICA	
10.4	TERMINOS	
10.5	FORMACION DEL SECTOR NORTE DE LOS ANDES (COLOMBIA)	
10.6	CERRO BRAVO, TRAS TRESCIENTOS AÑOS DE CALMA VOLCANICA	
10.7	LA HISTORIA DEL CERRO SANCANCIO.	
10.8	JUNO AUSCULTARÍA EN JÚPITER ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR	
10.9	ANTROPOCENO... ¿CONCEPTO CULTURAL O GEOLÓGICO?	
11.	<u>GEOLOGIA ESTRUCTURAL</u>	209
11.1	CONCEPTOS BASICOS	
11.2	COMPORTAMIENTO DE LAS ROCAS	
11.3	DEFORMACIONES DE LA CORTEZA TERRESTRE	
11.4	PLIEGUES	
11.5	FRACTURAS	
11.6	DISCORDANCIAS ESTRATIGRAFICAS	
11.7	ELEMENTOS DE LA GEOLOGIA ESTRUCTURAL COLOMBIANA	
11.8	NUUESTRO FRÁGIL PATRIMONIO HÍDRICO	
11.9	EL SINIESTRO DE MOCOA, DESIGNIO DE LA IMPREVISIÓN.	
12.	<u>MACIZO ROCOSO</u>	226
12.1	CALIDAD DEL MACIZO	
12.2	DISCONTINUIDADES EN MACIZOS ROCOSOS	
12.3	ESTABILIDAD DEL MACIZO	
12.4	RASGOS ESTRUCTURALES	
12.5	CASO PLANALTO: ¿CIENCIA Y CONSERVACIÓN O ACTIVIDAD EXTRACTIVA?	
12.6	UN TREN ANDINO PARA LA HIDROVÍA DEL MAGDALENA	
13.	<u>ROCAS METAMÓRFICAS</u>	246
13.1	AGENTES DEL METAMORFISMO	
13.2	TIPOS DE METAMORFISMO	
13.3	MINERALES DEL METAMORFISMO	
13.4	FACIES DEL METAMORFISMO	
13.5	TEXTURA	
13.6	TIPOS DE ROCAS METAMORFICAS	
13.7	DISTRIBUCIÓN Y FACIES DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS EN COLOMBIA	
13.8	COLOMBIA, PAÍS DE HUMEDALES AMENAZADOS	
13.9	PARAMOS VITALES PARA LA ECORREGIÓN CAFETERA	
13.10	CUATRO PNN, PATRIMONIO DE LA ECORREGIÓN CAFETERA	
13.11	MÁS ECOSISTEMAS PARA ENFRENTAR LA CRISIS DEL AGUA	
13.12	PLUSVALÍA, DESARROLLO URBANO Y MERCADO	
13.13	HIDRO-ITUANGO: UNA LECTURA A LA CRISIS	
14.	<u>MONTAÑAS Y TEORIAS OROGENICAS</u>	264
14.1	TIPOS BASICOS DE MONTAÑAS	
14.2	CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LAS MONTAÑAS	
14.3	TIPOS DE CORDILLERAS O PLEGAMIENTOS	
14.4	GEODINAMICA	
14.5	CAUSAS DE LAS FUERZAS ENDOGENAS DE LA OROGENIA	
14.6	SUCESION Y CLASIFICACION DE LAS OROGENESIS	
14.7	ESTILOS ESTRUCTURALES DE LOS TERRENOS DE COLOMBIA	
14.8	EL AGUA EN LA BIORREGIÓN CALDENSE	
14.9	¿REGRESIÓN AMBIENTAL EN LA RESERVA DE RÍO BLANCO?	
14.10	EL TERRITORIO DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA	
14.11	GESTIÓN AMBIENTAL DEL RIESGO EN EL TERRITORIO	
14.12	UNA MIRADA A LOS MARES DE COLOMBIA	
15.	<u>SISMOS</u>	282
15.1	TEORÍA DEL REBOTE ELASTICO	
15.2	DOS LECCIONES: SAN FRANCISCO Y KOBE	
15.3	PARAMETROS DE UN SISMO	
15.4	LA SISMOLOGIA	
15.5	RIESGO SISMICO	
15.6	RIESGO SISMICO EN COLOMBIA Y EL EJE CAFETERO	
15.7	MANIZALES: POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL RIESGO	
15.8	RIESGO SISMICO EN BOGOTÁ	
15.9	SISMO, BAHAREQUE Y LADERAS.	
15.9	HURACANES Y TERREMOTOS: ¿Y CÓMO ESTÁ COLOMBIA?	
16.	<u>MOVIMIENTOS MASALES</u>	303
16.1	PARAMETROS Y PROCESOS DE INESTABILIDAD	
16.2	CAUSAS Y FACTORES DE LA INESTABILIDAD	
16.3	EVALUACION DE LA ESTABILIDAD	
16.4	CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS	

16.5	LA SITUACION EN COLOMBIA	
16.6	EVALUACION DEL RIESGO	
16.7	LAS AMENAZAS NATURALES EN COLOMBIA	
16.8	MANIZALES, CIUDAD DE LADERAS	
16.9	MANIZALES ¿CIUDAD DEL AGUA?	
16.10	LA ENCRUCIJADA AMBIENTAL DE MANIZALES.	
16.11	AGUA, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESASTRES	
17.	AGUAS SUPERFICIALES	326
17.1	EL MAR	
17.2	ATMOSFERA E HIDRÓSFERA	
17.3	CORRIENTES SUPERFICIALES	
17.4	DINAMICA FLUVIAL	
17.5	MORFOLOGÍA Y RED DE DRENAJE	
17.6	PRINCIPALES RIOS DE COLOMBIA	
17.7	MOHÁN: SIN BOGAS ¿PA' ONDE VA EL RÍO?	
17.8	DESDE LOS ANDES AL ORINOCO Y AL AMAZONAS	
17.9	VIDA Y DESARROLLO PARA EL TERRITORIO DEL ATRATO.	
18.	AGUAS SUBTERRANEAS	349
18.1	PROCEDENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	
18.2	DINAMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	
18.3	FACTORES DEL MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS	
18.4	MANTOS	
18.5	PAISAJE KARSTICO	
18.6	NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	
18.7	BOSQUES EN LA CULTURA DEL AGUA	
18.8	EL MODELO DE OCUPACIÓN URBANO – TERRITORIAL DE MANIZALES.	
18.9	EL DESASTRE DEL RÍO MIRA	
18.10	PATRIMONIO HIDRICO: CARENCIAS EN LA ABUNDANCIA	
19.	GLACIARES Y DESIERTOS	371
19.1	GLACIARES	
19.2	EROSION GLACIAR	
19.3	TEORIA DE LA GLACIACION MULTIPLE	
19.4	EL VIENTO	
19.5	DESIERTOS	
19.6	EROSIÓN EN EL DESIERTO	
19.7	DESIERTOS EN AMERICA	
19.8	GOBERNANZA FORESTAL PARA LA ECORREGIÓN ANDINA DE COLOMBIA	
19.9	CLIMA EXTREMO, DESASTRES Y REFUGIADOS	
19.10	EL TORTUOSO CAMINO DE LOS ACUERDOS CLIMÁTICOS	
19.11	IRMA ARRASA LAS ANTILLAS MENORES	
19.12	AIRE CONTAMINADO... ¿QUÉ HACER?	
20.	GEOMORFOLOGIA	394
20.1	LA GEOMORFOLOGIA COMO CIENCIA	
20.2	CLAVES DE FOTOINTERPRETACION	
20.3	GENERALIDADES DEL AREA DE MANIZALES Y CHINCHINA	
20.4	PERFIL AMBIENTAL DE MANIZALES Y SU TERRITORIO	
20.5	OPCIONES DE CALDAS EN MEDIO AMBIENTE, CULTURA Y TERRITORIO	
20.6	GUERRA O PAZ, Y DISFUNCIONES SOCIO-AMBIENTALES EN COLOMBIA	
20.7	EL AGUA EN COLOMBIA: GLOSAS	
20.8	CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA Y EN EL EJE CAFETERO	
20.9	DESARROLLO Y REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS	
20.9.	LA REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA	
	LECTURAS COMPLEMENTARIAS	421
	AUTOR	428
	BIBLIOGRAFIA	431

<p>...</p> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</p>  <p>MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS <u>Gonzalo Duque-Escobar</u> MANIZALES, 2020</p> <p>ANEXOS</p>	
<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidrovías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidrovías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
<p>HOME: Manual de geología para ingenieros</p>	
<p>CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.</p>	
<p>A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.</p> <p>...</p>	



A la Universidad Nacional de Colombia en su sesquicentenario por su aporte a la construcción del proyecto de Nación; a mi familia por su amor y tolerancia, a mis alumnos por que de ellos he aprendido, y a mi querida ciudad de Manizales.

A continuación, un texto para el curso de Geología de los programas de Ingeniería Civil del país, con información sobre la geología física de Colombia. Esta versión dedicada a la Universidad Nacional de Colombia en su sesquicentenario, es la cuarta de un libro que surge en 1989 y que se publica en 2003, donde el lector encontrará entre otros temas, información sobre nuestros volcanes, ríos y fallas, los terrenos geológicos de Colombia y la formación de los Andes más septentrionales de América, o sobre geomorfología, el clima andino, el patrimonio hídrico, los suelos y la deforestación en Colombia, y sobre los recursos mineros de la ecorregión cafetera, el vulcanismo andino y la teoría del territorio; además de enlaces anexos a temas variados, como el diseño de túneles en roca blanda, la mecánica de los suelos, fundamentos de economía y transportes, o la astronomía y la Ecorregión Cafetera, y el riesgo asociado a las amenazas naturales del trópico andino..

El punto de partida del texto y sus anexos ha sido, en un primer momento, el compendio de mis notas para el curso de Geología y de Suelos a mi cargo en el programa de Ingeniería Civil, y las del Postgrado en Geotecnia de la Universidad Nacional. Posteriormente, otros trabajos académicos donde el material ha servido para implementar algunos módulos a mi cargo, tanto en cursos de posgrado de la Universidad de Caldas y de la Universidad Nacional, como de pregrado, y también el resultado de investigaciones hechas en el marco de proyectos como la Prospección del Potencial Geotérmico del PNNN con la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC) y el montaje del Observatorio Vulcanológico del Nevado del Ruiz durante la coyuntura volcánica que genera el desastre de Armero en 1985; la Prospectiva Energética del Eje Cafetero en el marco del Programa Caldas Siglo XXI liderado por el Centro Regional de Estudios Cafeteros (Crece); el Perfil Ambiental de Colombia caso Manizales y el Proyecto Construcción de Indicadores sobre Desastres Naturales, BID –UN, ambos con el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la U. N. de Colombia; en trabajos socio-ambientales con la Corporación Aldea Global, y en actividades de divulgación científica como Miembro Fundador de la Red de Astronomía de Colombia RAC y Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM y en calidad de Coordinador del Museo Interactivo Samoga, y colaborando como Miembro Honorario de la SCIA, Filial de la SCI en Caldas, como Socio de la SMP de Manizales y como Profesor de la U.N. de Colombia, en proyectos para el desarrollo regional con propuestas de infraestructura, como el Túnel Cumanday de 42 km a 1250 msnm cruzando la Cordillera Central, el Ferrocarril Verde Interoceánico, y El Ferrocarril Cafetero, y aportando al desarrollo del Aeropuerto del Café con pista de unos 4 km para garantizar un alcance transoceánico, de la Transversal Cafetera por Caldas ariculada a la Ferrovia del Túnel Cuimanday, la Navegación por el Magdalena remontando el salto de Honda y extendida al Tolima Grande, todo esto mirando el desarrollo de un sistema Intermodal para articular la Región Andina hacia adentro y hacia afuera, al empalmarla con los mares de Colombia.

Igualmente, me he apoyado en información complementaria de investigadores nacionales buscando un texto que permita la formación profesional de mis alumnos, orientada a enfrentar con acierto los problemas de Geotecnia típicos del medio tropical andino, como lo es el de Colombia, sin perder la perspectiva del contexto socioambiental y económico del país para poder contribuir a la generación de pensamiento alternativo en el marco de la misión de la Universidad Nacional de Colombia.

Deseo agradecer la revisión del Texto y la juiciosa orientación para todo el documento, aportada por el Ingeniero de Minas y Metalurgia, Profesor Ing. De Minas Álvaro de Jesús Correa Arroyave, PhD., Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, a quien le corresponde parte sustancial del éxito de este trabajo, y a Claudia Torres Arango quien digitalizó gran parte de los documentos iniciales, quien ha revisado otros que se han venido incorporando a este trabajo. Debo agradecer igualmente al Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia, y en particular a Luz Adriana Ruiz, el montaje y la difusión que han hecho de las diferentes versiones digitales del “Manual de geología para ingenieros”, y demás documentos, y a los lectores que lo han ubicado en un puesto de privilegio en el Top de descargas que superan varios cientos de miles en los últimos años a partir de 2012, hechas por visitantes de más de 100 países*.

*Ver Repositorio UN <https://repositorio.unal.edu.co/browse?type=author&value=Duque%20Escobar,%20Gonzalo>

Crédito imagen: Museo Interactivo de la Ciencia y el Juego Samoga. Universidad Nacional de Colombia. Creación de la Diseñadora Visual Carolina Calderón. <http://samoga.manizales.unal.edu.co/>
Manizales, Noviembre 21 de 2016.

Labor y proyección de la sesquicentenario U.N. de Colombia.

Aunque en el siglo XIX, no se logra consolidar la Universidad Central de la Gran Colombia con sedes en Santafé, Caracas y Quito, y la ley expedida por Santander en 1826 en cierto modo dio pie al establecimiento de instituciones de educación superior para la naciente república, la primera universidad pública y estatal solo se hace realidad cuando en 1867 se funda la Universidad Nacional de Colombia con seis facultades: Artes y Oficios, Ciencias Naturales, Derecho, Ingeniería, Literatura y Filosofía, y Medicina, y la adhesión del Observatorio Astronómico, la Biblioteca Nacional, el Museo Nacional, el Laboratorio Químico Nacional, y los hospitales de la Caridad y Militar.

Irán apareciendo nuevas carreras terminada la guerra de los Mil días, como Arquitectura, Enfermería, Farmacia, Ingeniería Química, Medicina Veterinaria, Odontología y Química, luego en 1936 se crea la sede de Medellín al incorporar la Escuela Nacional de Minas fundada en 1886, y en fecha no precisada se hace lo propio constituyendo la Sede de Palmira al crear la Facultad de Ciencias Agropecuarias a partir de la Escuela Superior de Agricultura Tropical fundada en 1934; y por último la Sede Manizales en 1948, al constituirse la Facultad de Ingeniería en el marco del proyecto de Universidad Popular creada por ordenanza de 1943.

Pero la U.N. se ha venido cualificando a partir de la reforma más importante de su historia, emprendida en 1964 por José Félix Patiño, que reduce de 34 a 11 el número de facultades para crear solo tres grandes: las facultades de Ciencias, de Artes y Arquitectura y de Ciencias Humanas, con lo cual no solo abandona el carácter profesionalizante de la educación superior al incorporar las disciplinas para abatir la dependencia tecnológica, sino que con un presupuesto que se triplica logra hacer viable la investigación al modernizar los currículos, ampliar la planta docente, y dotarse de laboratorios y de otros equipamientos; razón por la cual entre 1967 y 1973, impulsa los primeros programas de maestría del país y en 1986 sus primeros doctorados en física y matemáticas.

Y en cuanto a su expansión, con una visionaria política de fronteras constituye las sedes Amazonia, Caribe, Orinoquia y Pacífico, así: en 1989, crea la Estación Científica de Leticia como un pequeño centro interfacultades con funciones de investigación, docencia y extensión universitaria, que en 1994 se convierte en la sede de la Amazonia; similarmente, en 1997 a partir del Instituto de Estudios Caribeños crea en San Andrés la sede del Caribe, que cuenta hoy con Maestría en Estudios del Caribe y Maestría en Ciencias-Biología; en 1993 constituye en Arauca la sede de la Orinoquia con las Facultades de Enfermería e Ingeniería Ambiental, el Instituto Orinocense y el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves; y en 1997 constituye la sede del Pacífico en Tumaco, que con el Instituto de Estudios del Pacífico desde 2008 se ha venido implementando.

Y pese a su sesquicentenario labor construyendo el proyecto de Nación, para el cual aplica desde el 2004 el 25% de sus recursos de inversión al financiamiento de la investigación misional, logrando generar el 28% de la producción científica colombiana y desplegar más de 10 mil proyectos de extensión en beneficio de 5 millones de compatriotas pertenecientes a comunidades vulnerables de las regiones más apartadas del territorio nacional, el presupuesto que le asigna la Nación únicamente le permite cubrir el 40% de sus necesidades, razón por la cual la estratégica institución que simboliza el Estado soberano colombiano tiende a desaparecer como institución pública al quedar condenada al perverso proceso de privatización al que se le somete.

La U.N. de Manizales, gracias a su capacidad genera el 25% de toda la investigación del Eje Cafetero. Iniciando el año 2016, de 256 profesores con doctorado y 498 con maestría en las cinco universidades de la ciudad y Cenicafe, dicha sede poseía 107 doctores y 180 maestros, equivalentes al 38% de los 754 investigadores así titulados de las seis instituciones, seguida de la Universidad de Caldas con el 36%. Por grupos de investigación inscritos en Colciencias, de 143 que tiene Manizales, dado que la de Caldas cuenta con 60 grupos y la Nacional de Manizales con 47, ambas universidades públicas concentran el 75% de los grupos certificados.

Gonzalo Duque-Escobar *

* <http://godues.webs.com>

...

ENLACES U.N:

<p>Textos “verdes”. Geomecánica. Geociencias y Medio ambiente. Geotecnia para el trópico andino. Calentamiento global en Colombia. Cambio Climático en Caldas – Colombia. Colombia Tropical ¿y el agua qué? Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial. Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Museo Interactivo SAMOGA: 2001-2015. La U.N. en Manizales construyendo Ciudad y Región. A propósito de los 70 años de la U.N. Sede Manizales. Al aula, con “el proyecto cultural de la nación” por construir. Labor y proyección de la sesquicentenario U.N. de Colombia. GONZALO DUQUE ESCOBAR: Books and Digital Documents</p>	
---	---

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

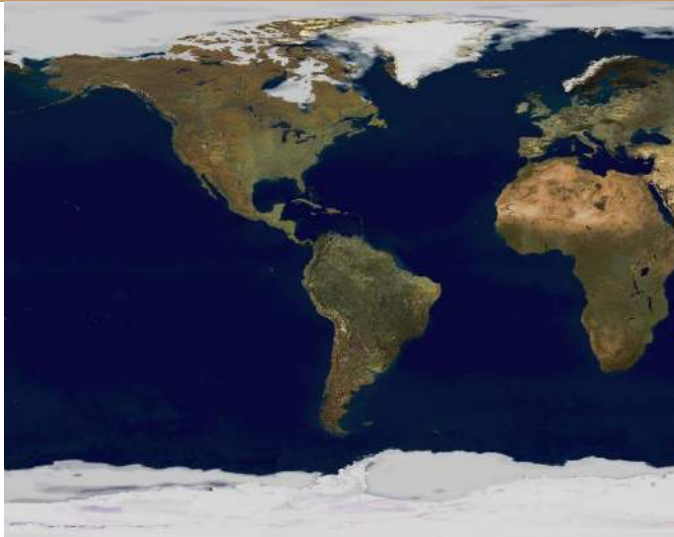
<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

[Manual de geología para ingenieros](#)

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

[A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.](#)



Mapa del planeta Tierra. National Geographic.

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 01

EL CICLO GEOLÓGICO

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

1.1. SOBRE LA GEOLOGIA

La Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años.

El estudio de la Tierra de manera aislada fue objeto de interés en la antigüedad, pero la Geología como ciencia se inicia en los siglos XVII y XVIII obteniendo su mayor desarrollo en el siglo XX, donde diversas ramas de la Geología se encargan del anterior propósito.

El escocés James Hutton (1726-1797) es considerado el primer geólogo moderno, por sus conferencias "Teoría de la Tierra para la Sociedad Real de Edimburgo" presentadas en 1785. En su ponencia, sostiene que la Tierra debería ser más antigua de lo que se suponía, pues no de otro modo las montañas pudieron erosionarse y los sedimentos formar en el fondo del mar las nuevas rocas que luego afloran a la superficie, donde se convierten en tierra seca; Hutton publica estas ideas en 1788, y luego una versión de las mismas en dos volúmenes, bajo el título "Theory of the Earth" (1795), con las cuales cambia radicalmente la percepción de la edad de la Tierra y el ciclo de las rocas.

Más adelante el británico Charles Lyell (1797-1875) publica su famoso libro "Principios de geología" (1830) donde reafirma las anteriores ideas de que la Tierra era el resultado de procesos geológicos lentos y graduales, como: erosión, movimientos sísmicos, vulcanismo e inundaciones, teoría Uniformita opuesta a la tesis del Catastrofismo según la cual la el modelado de la Tierra se habría dado como consecuencia de grandes catástrofes.

Posteriormente en la segunda mitad del siglo XIX, hubo varias estimaciones basadas en cálculos y en modelos físicos: una, de esa época en la cual el proceso de fusión nuclear no era conocido, soportado en la evolución estelar que justificaba el diámetro e intensidad actual del Sol, a partir de la contracción gravitacional de la nebulosa de gas y polvo primogénita; otra, partiendo de una supuesta separación de la Tierra y la Luna ocurrida al comienzo de su existencia cuando ambas eran masas líquidas, en la que usaba modelos de fricción mareomotriz; y una más que estimaba el ritmo al cual los océanos habrían acumulado sal, mediante procesos erosivos. Todas ellas estimaron de forma separada la edad de la Tierra, desde varias decenas de millones hasta cien millones de años.

Pero en el siglo XX, gracias a la datación radiométrica, un nuevo método que permite asignar edades absolutas a las rocas en millones de años, al estimar inicialmente la edad de Tierra en dos mil millones de años, se abren otras perspectivas que desembocan en nuevas teorías sobre los procesos geológicos que han dado forma al planeta. Actualmente sabemos que la edad de la Tierra es de unos 4470 millones de años, y que la de los fósiles más antiguos se remonta a tan solo 3800 millones de años.

La teoría de la tectónica global o de placas de los años 60 ofrece hoy explicaciones plausibles a la mayoría de los fenómenos y hechos geológicos tales como la formación de montañas, océanos, localización de volcanes y epicentros sísmicos, etc., quedando sin embargo algunos puntos oscuros por resolver. En la actualidad las ciencias geológicas están adquiriendo mayor importancia para enfrentar la escasez de materias primas y energéticas y los problemas ambientales. Esto exige el conocimiento profundo de la geología del terreno y el concurso de personal especializado en geología, geotecnia, geofísica y geoquímica, entre otras disciplinas y profesiones.

Los estudios geológicos son también necesarios en obras de ingeniería civil, como presas, autopistas y edificaciones y sobretodo en los trabajos relacionados con el ordenamiento del territorio y la conservación del medio ambiente.

Para ilustrar los temas de los cuales trata la geología física, una buena herramienta es el ciclo de las rocas, el cual permite describir los principales fenómenos a los cuales están sometidos las rocas y los suelos. Este enfoque de la geología física servirá también como introducción al presente texto.

1.2. CICLO DE LAS ROCAS

El magma da origen a las rocas ígneas y éstas (u otras) dan origen a los sedimentos; por su parte los sedimentos consolidados dan origen a las rocas sedimentarias. Pero las rocas sedimentarias (y las ígneas) dan origen a las rocas metamórficas y éstas a su vez pueden fundirse para producir magma. El ciclo también puede interrumpirse, como se ilustrará en la siguiente figura, con procesos que adelante se describen.

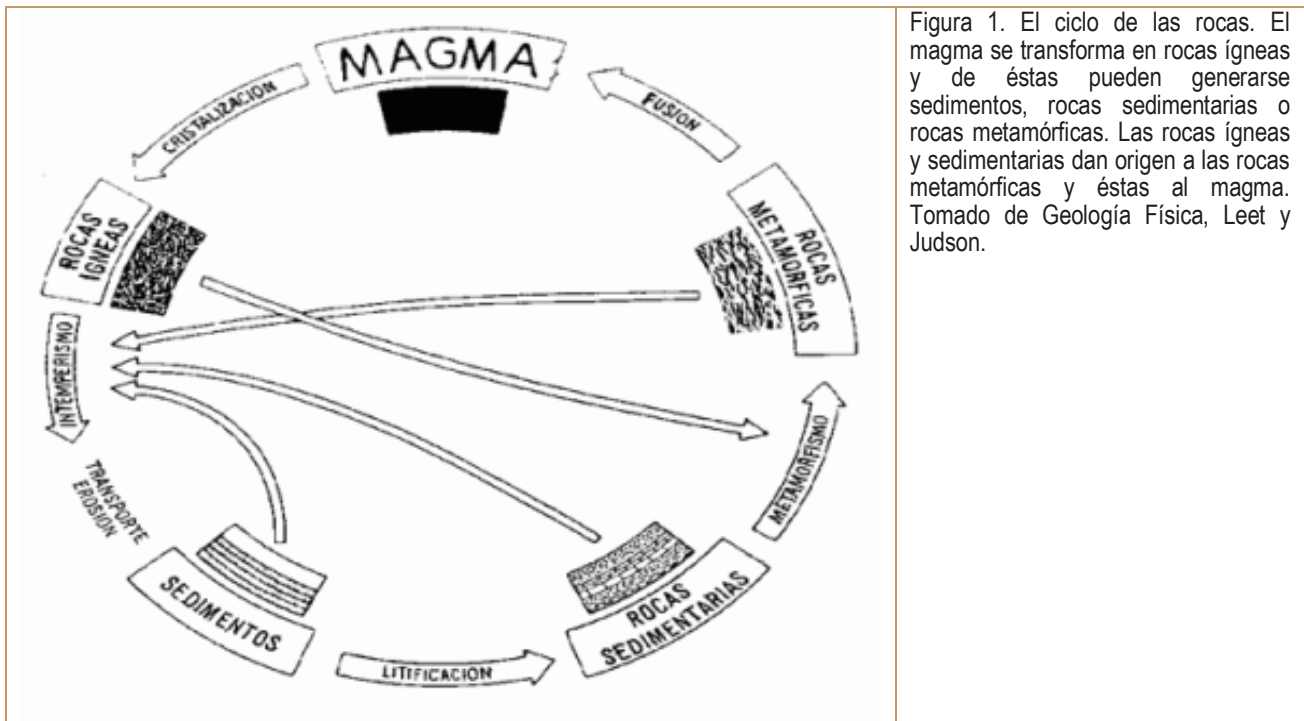


Figura 1. El ciclo de las rocas. El magma se transforma en rocas ígneas y de éstas pueden generarse sedimentos, rocas sedimentarias o rocas metamórficas. Las rocas ígneas y sedimentarias dan origen a las rocas metamórficas y éstas al magma. Tomado de Geología Física, Leet y Judson.

1.2.1 El magma. Es un fluido rocoso incandescente compuesto principalmente de minerales tipo silicatos y óxidos fundidos.

La Tierra está compuesta por un núcleo interior caliente, un manto que lo envuelve y una corteza exterior. La corteza que envuelve la Tierra sólida está compuesta por placas tectónicas de ambiente continental y oceánico.

El magma se produce por debajo de la corteza y en el manto exterior del planeta, donde los materiales están sometidos a un flujo plástico de naturaleza convectiva. Así, el magma es un fundido natural a alta temperatura en el que participan principalmente 8 elementos: oxígeno (O_8), silicio (Si_{14}), aluminio (Al_{13}), hierro (Fe_{26}), calcio (Ca_{20}), sodio (Na_{11}), potasio (K_{19}) y magnesio (Mg_{12}).

1.2.2 La cristalización. Por el enfriamiento del magma se forman diminutos cuerpos sólidos llamados minerales que tienen la tendencia a formar cuerpos cristalinos, por sus formas espaciales regulares de materia químicamente homogénea.

Esas estructuras, fruto de la cristalización de soluciones magmáticas, son el resultado de la unión eléctrica de átomos, iones y moléculas, en un estado energético mínimo de máximo orden.

En ocasiones el producto de la solidificación es amorfo, es decir, cuando los átomos, iones y moléculas del cuerpo no manifiestan una disposición regular.

Deben destacarse además minerales con formas granulares, laminares y fibrosas, y disposiciones de minerales alineados y cruzados, en un espacio tridimensional. Estos aspectos son determinantes en el comportamiento mecánico de las rocas.

Por la compleja composición química del magma su cristalización no es uniforme sino fraccionada. Como las rocas que se derivan del magma tienen componentes minerales principalmente del grupo de los silicatos, conforme desciende la temperatura en el fundido, se forman silicatos en el orden siguiente:

Primero los ferromagnesianos y las plagioclasas cálcicas, seguirán el feldespato potásico, la moscovita y por último el cuarzo (consideraremos el cuarzo como silicato y no como óxido). Esto se conoce como la serie de cristalización de Bowen.

Las rocas están formadas por minerales; las texturas de las rocas ígneas dependen del tamaño, forma y disposición de los minerales que las componen, pero dicho tamaño depende de la velocidad de enfriamiento del magma; si el enfriamiento es lento, el mineral es grande y la textura será fanerítica (granulada); si el enfriamiento es rápido, los minerales serán pequeños resultando la textura afanítica; una textura combinada por cambios de velocidad de enfriamiento, en la que se muestran minerales grandes dentro de una matriz de minerales finos, es la textura porfídica.

1.2.3 Rocas ígneas.

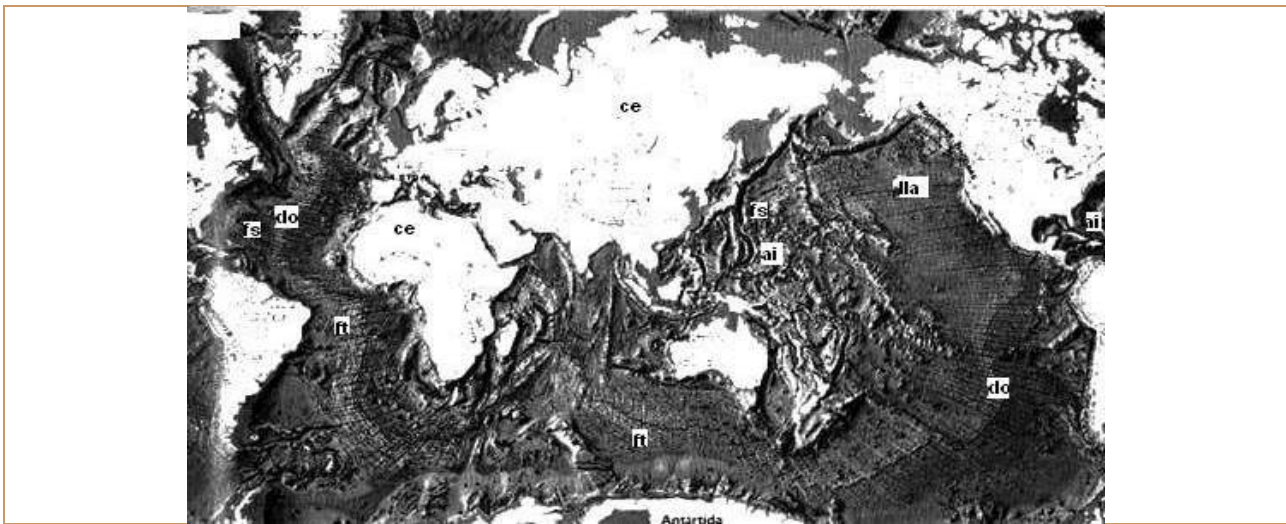


Figura 2. Relieve de los Fondos Oceánicos: se observan las dorsales oceánicas (do), las fallas transformantes (ft), las llanuras abisales (lla) y fosas submarinas (fs), así como los arcos de islas (ai) y continentes emergidos (ce). Fuente La Tierra Planeta Vivo, Salvat..

En la Tierra existen dos ambientes geográficos de formación de rocas ígneas: el oceánico y el continental; por regla general en el oceánico estas rocas son ricas en minerales ferromagnesianos y se denominan rocas básicas o ultrabásicas y en el ambiente continental son ricas en minerales con abundancia de sílice y aluminio y se llaman rocas ácidas. Estas denominaciones se dan en función de la composición química de las rocas. Según la profundidad de formación, las rocas pueden ser plutónicas, cuando provienen del magma que se ha enfriado en el interior de la corteza; o volcánicas, cuando el magma se ha enfriado sobre ella. También puede ocurrir que el magma se enfríe próximo a la superficie, pero no sobre ella, conduciendo a rocas hipoabisales.

Las plutónicas son de textura fanerítica, las volcánicas de textura afanítica, y las hipoabisales de textura porfídica dado que su formación condiciona la textura a través de la velocidad de enfriamiento.

Las principales rocas ígneas son el granito, entre las plutónicas, y el basalto entre las volcánicas; por regla general la primera de ambiente continental y la segunda de ambiente oceánico. En la Cordillera Central son frecuentes los granitos y en la occidental los basaltos.

1.2.4 Meteorización, erosión y transporte. Los sedimentos se explican por la meteorización, la erosión y el transporte de los materiales que conforman la corteza de la Tierra. La denudación es un proceso nivelador por el cual las rocas de los espacios de erosión nutren los espacios de sedimentación. Semejante proceso se corresponde con fuerzas de degradación de la superficie del planeta, a las que se oponen fuerzas de agradación que reconstruyen el relieve.

La meteorización o intemperismo, como condición previa a la erosión y al transporte, es la alteración del material rocoso expuesto al aire, la humedad o al efecto de la materia orgánica; existen dos tipos de meteorización: la mecánica, que alude a la desintegración del material y la química, a su descomposición. Hay otras formas de alteración que no son meteorización, como la alteración tectónica y la hidrotermal de importancia en el ambiente andino.

Productos del intemperismo son: gravas, arenas, limos y arcillas, además de soluciones silíceas, carbonatadas y ferruginosas, entre otras. Estos materiales explican posteriormente la formación de los suelos de cultivo, también los suelos residuales, los suelos transportados y las rocas sedimentarias, todos ellos gracias a la meteorización que supone la destrucción de las rocas y minerales expuestos sobre la superficie debido a las fuerzas exógenas.

La erosión es el proceso de desprendimiento de las unidades alteradas de la roca merced a agentes como el hielo, el agua y el viento; la gravedad no lo es. Estos mismos agentes ocasionan luego el transporte de los materiales desprendidos, para formar los depósitos sedimentarios, aprovechando la energía proveniente de la gravedad y del Sol.

1.2.5 Sedimentos. Son materiales rocosos, organismos muertos, sustancias químicas y otras sustancias acumuladas, fruto de la meteorización y alteración de las rocas, por la precipitación de elementos disueltos en la hidrosfera o la acumulación de materia orgánica en un medio continental o marino.

Los procesos de denudación de la corteza suponen la erosión de masas emergidas. La energía la provee la gravedad y los movimientos de la tierra fluida a causa de la radiación solar, fuerzas sin las cuales no es posible el transporte de materiales por medios como aire y agua. Según el agente que lo transporta, el depósito recibe el nombre de coluvial, aluvial, eólico o glacial; y según el lugar donde se encuentre, el depósito recibe el nombre de palustre, marino, lacustre o terrígeno.

Algunos ambientes sedimentarios están situados dentro de los continentes como ocurre con el medio fluvial formado por la acumulación de partículas en el lecho y a ambos lados de los ríos, principalmente durante las crecidas, o el medio lacustre originado por el material sedimentado en el fondo de los lagos. Otros ambientes se localizan en zonas costeras y sus alrededores, entre los cuales citamos las playas y los deltas formados por sedimentos del río cuando termina su curso. Es, sin embargo, en el mar donde suelen darse los máximos espesores de sedimentos ya sobre la plataforma continental, sobre el talud continental o en la desembocadura de los cañones submarinos. El espesor de los sedimentos en las llanuras abisales es pequeño, para desaparecer en las vecindades de las dorsales.

1.2.6 Diagénesis y litificación. Cuando los sedimentos son sepultados tiene lugar todo tipo de procesos químicos y físicos que pueden conducir a modificaciones bastante radicales del material original. Con el término diagénesis se cubren todas esas transformaciones ocurridas a temperaturas y presiones relativamente bajas, en zonas no muy profundas por debajo de la superficie de la Tierra. Los tres procesos diagenéticos son la cementación, la consolidación-deseccación, y la cristalización.

Quizás el efecto más obvio de la diagénesis sea la transformación de partículas sueltas, sin consolidar, en una roca sedimentaria compacta y dura. Este es sólo uno de los aspectos de la diagénesis que se denomina litificación y como ejemplo de ella está la conversión de arenas en areniscas, arcillas en arcillolita y turbas en carbón.

La consolidación y la deseccación son los dos componentes esencialmente independientes de la diagénesis, el primero es de carácter físico mientras el segundo es más químico que físico, pero uno y otro en general avanzan paralelamente a lo largo de la diagénesis. La consolidación-deseccación es un proceso que se explica con la litificación de las arcillas, cuyo producto final puede ser una roca sedimentaria llamada arcillolita; gracias a presiones litostáticas este material poroso e impermeable disminuye ostensiblemente su volumen, pierde agua y se endurece.

La cementación es el proceso clásico de litificación de las arenas, tras su acumulación, por el cual se forma la roca sedimentaria llamada arenisca, donde la arena porosa y permeable admite coloides cementantes y soluciones con aglutinantes químicos.

La cristalización se da, por ejemplo, en algunos depósitos de naturaleza calcárea, donde los intercambios iónicos producen el endurecimiento de la materia gracias a fenómenos de neocrystalización y recristalización, obteniéndose como producto una roca sedimentaria del tipo caliza. Para algunos autores este proceso queda comprendido dentro del fenómeno de la cementación cuando se asume como proceso eminentemente químico.

1.2.7 Rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias más importantes por su abundancia y en su orden, son: la lutita, la arenisca y la caliza. Aunque las rocas sedimentarias constituyen una proporción muy pequeña del volumen de la corteza de la Tierra, son altas las posibilidades de encontrarlas en la superficie, donde tres cuartas partes de las rocas expuestas son sedimentarias. La Cordillera Oriental colombiana es fundamentalmente de naturaleza sedimentaria.

Como los procesos que conducen a la formación de rocas sedimentarias están en funcionamiento en nuestro entorno, el examen de éste da los indicios de su formación. Si el entorno es costero, los sedimentos son variados y se van acumulando y sepultando para formar rocas. En un pantano de sal los sedimentos son de grano muy fino (lodos) y en la playa el sedimento es de grano arenoso; estos

dos escenarios muestran aguas tranquilas y entornos de alta energía y turbulencia respectivamente, que condicionan la calidad de la roca.

Los diferentes tipos de rocas sedimentarias se relacionan a su vez, no sólo con los procesos de meteorización, sino también con la zona climática en que se formaron y con las diferentes partes del ambiente tectónico sobre las cuales pueden estar operando los procesos superficiales. Pero lo más característico de las rocas sedimentarias es su disposición en capas o estratos, donde el conjunto muestra algunos tipos de estructuras que reflejan el ambiente de formación.

Volviendo a las rocas más frecuentes, tenemos que la lutita proviene de las arcillas y limos depositados en mares, lagos o lagunas; que la arenisca proviene de arenas, por regla general cementadas con minerales como calcita, dolomita y cuarzo; que las calizas son rocas de naturaleza calcárea, de origen químico u orgánico. Además, si las rocas sedimentarias como areniscas, lutitas y conglomerados (rocas clásticas) se forman fundamentalmente por la acumulación de partículas provenientes de otras rocas, también se forman rocas sedimentarias con materiales depositados que no son partículas de rocas transportadas mecánicamente, sino que pueden ser, o bien precipitados de disoluciones acuosas como es el caso de los yesos y sales, o bien rocas que se forman por la acción de organismos, como es el caso de los arrecifes, o por acumulación de caparazones de organismos muertos como muchas calizas.

1.2.8 Metamorfismo. Es el cambio de una clase coherente de roca en otra, gracias a un proceso que se da por debajo de la zona de sedimentación e intemperismo pero sobre la zona de fusión o producción de magma. Los agentes del metamorfismo son tres, y al menos dos de ellos siempre están presentes: temperatura, presión y fluidos químicamente activos. Las nuevas rocas así originadas sufren en la transformación mecánica, química o químico-mecánica un cambio en su estructura o en su composición mineral sin que varíe la química global.

Existen tres series básicas de rocas metamórficas: en las zonas en las que la presión es mucho más elevada que la temperatura, donde se formarán rocas de alta presión; en la zona en que la temperatura es mucho mayor que la presión, donde se formarán rocas metamórficas de alta temperatura, finalmente, si en el lugar de formación la presión y la temperatura están equilibradas, darán a lugar a rocas de presión y temperatura intermedia.

Las zonas que pueden dar lugar a rocas metamórficas son variadas y pueden estar tanto en el ambiente continental como en el oceánico. La Cordillera Central colombiana tiene un basamento fundamentalmente de constitución metamórfica. En la base de la corteza oceánica, algunas rocas podrían sufrir metamorfismo; en las dorsales se da una mayor temperatura gracias al ascenso del magma, favoreciendo la formación de rocas metamórficas. Las zonas de subducción también son ambientes propicios, como lo son a su vez las partes inferiores de la corteza continental o los espacios vecinos en las inmediaciones de las intrusiones ígneas que sufre la corteza superior al ascenso de magmas.

1.2.9 Rocas metamórficas. En la corteza la temperatura aumenta en promedio 33 °C por Km. (1° C por cada 30 metros de profundidad), y la presión unas 1000 atmósferas cada 3 Km. (1 atmósfera cada 3 metros), por lo que a más de 200 °C y 2000 atmósferas (6000 metros) se forman rocas metamórficas como las granulitas, eclogitas, gneises y esquistos. Algunas rocas son de alta temperatura y baja presión (dorsales oceánicas), o baja temperatura y alta presión (zonas de subducción).

El entorno más frecuente en el que las rocas metamórficas están disponibles para el hombre, es la cadena montañosa en donde la erosión de una parte temporalmente engrosada de la corteza continental expone rocas ígneas y sedimentarias que antes estuvieron profundamente sepultadas pudiendo sufrir cambios mineralógicos en respuesta al incremento de presiones y temperaturas.

Si se tratara de una roca sedimentaria que ha sufrido metamorfismo, tras un posterior proceso de meteorización que altere su composición química, con la presencia de agua pueden producirse silicatos hidratados y dióxidos de carbono para generar carbonatos.

Más si el metamorfismo de las rocas sedimentarias comprende la producción de vapor de agua, dióxido de carbono y otras sustancias gaseosas excedentes, el metamorfismo de las rocas ígneas incluye por lo general la absorción retrógrada de los volátiles señalados, que son tomados de las masas sedimentarias que acompañan el proceso.

Al clasificar las rocas metamórficas es indispensable describir la roca en términos de su textura y su composición química, así como de su mineralogía. Estos tres parámetros tienden a ser aplicados genéticamente, aunque pocas veces se pueda, decidir si una roca es metamórfica, ígnea o sedimentaria, pero sí con mejor aproximación si ella es ígneo-metamórfica o sedimentario-metamórfica, ya en atención a las facies minerales, a la textura que proporciona una valiosa escala de técnicas o a los distintos contextos que facilitan la asociación.

Con alguna aproximación, las principales rocas metamórficas son: a partir de la lutita, y conforme aumenta la presión y la temperatura, la pizarra, la filita, el esquistos y el paragneis; a partir de la arenisca (cuarzosa), la cuarcita; a partir de la caliza, el mármol; a partir del basalto (o rocas afines), que es la vulcanita más abundante, la serpentina y la anfíbolita, y a partir del granito, que es la roca plutónica más abundante, el ortogneis.

1.2.10 La fusión. Si pudiéramos ver el más espectacular de los fenómenos naturales, una erupción volcánica, obtendríamos la evidencia directa de la existencia de material rocoso fundido que surge del interior del planeta. El calor del interior de la Tierra es una consecuencia de su proceso de formación. Al observar la superficie del planeta son evidentes las transformaciones de su superficie: volcanes y terremotos coinciden y se extienden sobre las jóvenes cordilleras como una expresión en superficie de los procesos dinámicos que convulsionan al planeta en su conjunto.

El colapso gravitacional de la nube de gas primogénita dejó como herencia la energía de acreción y la rotación del planeta. Su forma esférica por acción de su propia gravedad, es el resultado de una masa que ha sobrepasado cierto límite. A su vez la masa de gas y polvo primogénita venía siendo el fruto de materia reciclada en el interior de los astros en donde se cocieron elementos de diferente número atómico, incluyendo la formación de elementos radiactivos.

La sismología es el método geofísico más revelador en lo que a contraste estructural en el interior de la Tierra se refiere. El estudio de la gravedad también proporciona interesantes observaciones, pues sus cambios reflejan faltas de homogeneidad laterales en la masa del interior del planeta. El magnetismo y paleomagnetismo de las rocas ha contribuido en mayor grado a la aceptación general del concepto de tectónica de placas. Si a estos datos se agregan los beneficios de la geoquímica y la astrofísica, podremos concluir en modelos físicos que expresen las capas más internas de la Tierra con su correspondiente composición estimada a partir de isótopos.

Por razones térmicas y de presión, a gran profundidad las rocas son susceptibles de transformarse en magma. Un descenso de la presión obliga a la fusión de los materiales que a gran profundidad están sometidos a elevadas temperaturas. Por el gradiente geotérmico, en los primeros km. de la corteza, la temperatura es extremadamente alta, pero la presión será suficiente para que las rocas estén en su fase sólida; se requieren sismos y movimientos de la corteza para que se despresurice el medio y así, las rocas por calor se fundan.

Otras fuentes de energía para la fusión de las rocas las proveen las corrientes de convección del manto, la fricción entre placas tectónicas y la presencia de elementos radiactivos.

1.3. LAS GEOCIENCIAS Y EL DESARROLLO DE COLOMBIA

a- Nuestra riqueza:

Colombia, es un país tropical que sobresale por sus riquezas culturales y naturales, dada la variedad de escenarios geográficos y su biodiversidad: con riesgo de mantener ese privilegio ocupamos el segundo lugar en biodiversidad en el mundo, puesto que, además de una tasa de deforestación del orden de 300 mil hectáreas anuales, hemos caído en riqueza hídrica del cuarto puesto al décimo séptimo entre 2000 y 2007, y al vigésimo cuarto en 2013; adicionalmente, 14 millones de colombianos no tienen acueducto y otros 19 millones carecen de alcantarillado.

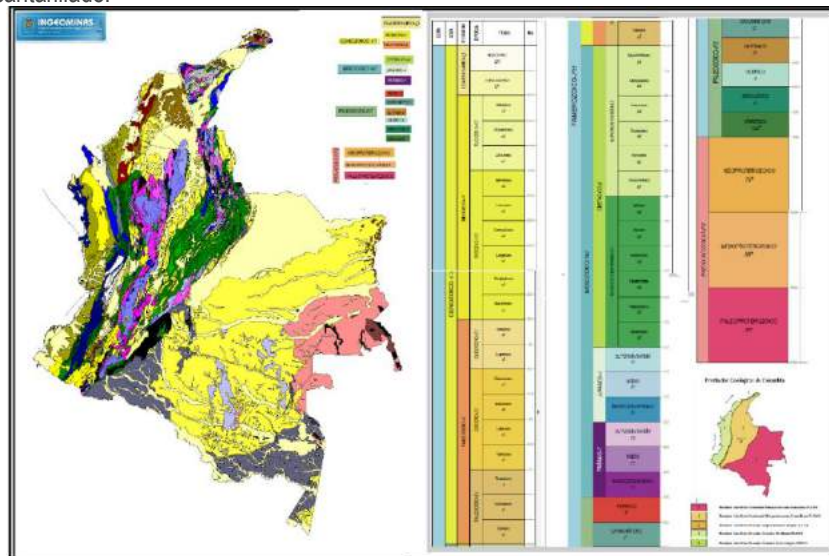


Imagen 1: Mapa Geológico de Colombia - INGEOMINAS (1996). En synmap.com.

Iniciando la década, Colombia ocupaba el puesto 8 en producción de carbón, y el puesto 21 en producción de oro. Sus reservas indicadas de carbón se estiman entre 17 mil y 26 mil Millones de ton, 7 mil a 6,6 mil Millones de ellas medidas (8% a 10% ubicadas en la región andina), para una producción anual de 73.5 M ton. Según la Unidad de Planeación Minero Energética UPME del Ministerio

de Minas y Energía, cerca del 90% de los recursos y reservas carboníferas de Colombia se localizan en la Costa Atlántica, mientras los carbones coquizables, aptos para la metalurgia, están en el centro y oriente de la región andina, zona donde también existen semiantracitas y antracitas para usos industriales.

El carbonífero de Antioquia, que se extiende hasta Quinchía y Riosucio es una extensa cuenca con reservas medidas de 90 MT, en la que sobresa la subzona de Amagá – Sopetrán, y dentro de ella el sector Amagá-Venecia-La Albania. Hoy la producción de este carbón sub-bituminoso tipo A, supera el millón de toneladas por año.

Entre 2000 y 2012 el PIB minero-energético de Colombia, creció cerca de 6,7 veces: en 2012, cuando la cuantía llegó a cerca de U\$ 55.400 millones: la participación mostró al Petróleo (67%) en primer lugar, luego Gas (14%) y Electricidad (13%) en un segundo puesto, y luego el Carbón (35), los minerales metálicos (1,5%) y los minerales no metálicos (1,5%), en tercer lugar.

La Inversión Extranjera Directa en el sector minero-energético, que en 2000 fue cercana a U\$ 1.200 millones y en 2012 casi llegó U\$ 16.000 Millones, mostró una participación que creció diez veces en IED de Colombia, al pasar del 6% al 60% entre 2000 y 2011.

En el quinquenio 2000-2005, la producción media anual de los diez principales renglones del sector minero, según la UPME, fue: Oro, 33000 kg; Platino, 798 kg; Cobre, 8030 kg; Ferro-níquel, 43264 ton; Mineral de hierro, 625200 ton; Sal terrestre, 191200 ton; Sal marina, 309200 ton, Esmeraldas, 7496 Kquil; Carbón, 47 MT; Calizas, 9391 MT.

En el año 2012, la participación del sector minero-energético que en el 2000 representaba el 8% del PIB, pasó al 14,8%, mientras que para ese mismo período los hidrocarburos, pasaron del 4% del PIB al 9%. Mientras que su participación en las exportaciones durante ese lapso de 12 años fue del 48%, en 2012, cuando las ventas alcanzaron el 66%, los renglones que más aportaron fueron: Petróleo U\$ 31.398 Millones, Carbón U\$ 8.873 Millones y Electricidad U\$ 92 Millones.

El país no es petrolero: en hidrocarburos, de conformidad con su actual ritmo de explotación en un millón de barriles por día, Colombia tiene reservas de petróleo para 6,6 años y de gas para 15,5 años. Mientras al finalizar 2013 el balance de reservas de crudo fue de 2.445 millones de barriles, las de gas se situaron en 6.409 tera pies cúbicos (TPC).

Ubicada en la interface de las Américas, Colombia cuenta con una fracción de órbita geoestacionaria, y posee dos océanos, con sus 2.900 km de costa, territorios insulares arrecifes de coral, ciénagas y manglares; también, con tres cordilleras, con sus altiplanos, sabanas valles interandinos, multitud de cuerpos de agua, variedad climática, selvas húmedas y secas, paramos, ríos y algunas de las zonas más lluviosas del planeta. En la altillanura oriental y en la costa norte, posee entre otros, valiosos recursos energéticos.

La producción aurífera en Colombia, también ha sido notable: de 1994 a 2012 cuando el precio del metal crece más de nueve veces, la producción pasa de 20,8 ton a 49,1 ton anuales. En 2010 el país, con una producción anual de 53,6 ton equivalente al 1,2% de la producción mundial, ocupó el puesto décimo noveno entre los mayores productores de oro del orbe.

A partir de información de Ramón Javier Mesa Callejas (2013), Investigador de la Universidad de Antioquia, entre las problemáticas del sector minero, están la falta de control ambiental, falencia que incluye actividades en áreas protegidas, y la falta de protección y seguridad para los trabajadores, máxime cuando la mayor proporción de las empresas cuenta con menos de 6 trabajadores y 1 de cada 4 hace aportes de salud, y la ilegalidad, puesto que entre 2008 y 2010, en 44% de los municipios del país ha existido minería ilegal o de hecho. Los departamentos de Córdoba (86%), Boyacá (69%), Risaralda (64%), Quindío (62%), Valle del Cauca (55%), Caldas (52%) y Antioquia (46%) tienen el mayor porcentaje de municipios con esa problemática, la que afecta en mayor proporción la explotación de materiales de construcción, y luego en del oro y del carbón mineral.

Pero desde el punto de vista económico, la verdadera riqueza de una Nación, no radica en la disponibilidad y abundancia de materias primas, sino en la capacidad que tenga de transformarlas, incorporándoles valor agregado, una tarea que ni siquiera hacemos con el Café a pesar de haber desarrollado un clúster pero sólo centrado en la producción del grano. Según Mesa Callejas, en 2013, así como en el sector agropecuario el café representó el 7%, en el sector minero y de los combustibles, el 96% estuvo representado por petróleo (76%) y carbón (20%).

b- El desafío

El camino para construir la paz en Colombia, exige el ejercicio de un pensamiento crítico para resolver la inequidad, democratizar la democracia y dignificar la sociedad. El desarrollo sostenible de Colombia exige, además de más y mejor educación con C&T para cerrar la brecha de productividad y facilitar el empleo, atender la oferta y demanda ambiental (natural y cultural) del país, para lo que se sugieren una segunda expedición botánica y una segunda misión corográfica. Si el retraso rural es abrumador, también lo es la obsolescencia del sector industrial en Colombia.

El país requiere aprovechar de forma sostenible sus recursos renovables, y lograr su transformación incorporándoles valor agregado en lugar de apostar a la reprimarización de nuestra economía, al igual que con otros recursos no renovables donde urge implementar formas de explotación con responsabilidad ambiental, deben aplicarse modelos de desarrollo que prevengan enclaves económicos y prácticas mineras y petroleras soportadas en políticas empresariales de exclusión social. Esto, dado que con la bonanza minera el precio del “vil metal” ha venido opacando el valor fundamental de las aguas, la biodiversidad y la cultura ancestral, en ciertas formas y situaciones.

Si la amenaza del cambio climático y la explotación insostenible de recursos acechan, cuando la exploración avanza por todos los rincones de la geografía colombiana, obliga a prevenir las consecuencias de una minería extractiva, en la que el oro y los hidrocarburos por cobra valor estratégico, y se convierten en objetivos clave para el crecimiento económico. De ahí la importancia de comprender integralmente dichos recursos, para lograr implementar procesos de extracción, transformación y mercadeo, sin generar conflictos de soberanía de Colombia, atropellar comunidades, deteriorar el medio ambiente y comprometer el recurso hídrico, el suelo y la biodiversidad que son el patrimonio de la nación, si lo que deseamos es el desarrollo.

En Colombia, donde la Ley ambiental y las políticas públicas ambientales se han acoplado más a los desafíos del mercado que a los retos de un desarrollo sostenible: agua y suelo, como soporte de la biodiversidad, son considerados recursos y no un patrimonio inalienable; además, habrá que añadir que, en la perspectiva temporal, no basta la redistribución del ingreso y de la riqueza, si la política es el desabastecimiento, ni el crecimiento económico si no se le da primacía de la formación del capital social.

Finalmente, hoy, cuando en nombre del desarrollo, ciertas áreas sensibles ecológica y culturalmente vitales para algunas comunidades, se han visto amenazadas por proyectos mineros, macroproyectos y conflictos entre uso y aptitud del suelo, no podemos olvidar que la Tierra es un "planeta vivo", en el que nuestras relaciones con ella, sólo son la consecuencia de las interacciones entre dos sistemas complejos: el natural y el social.

1.4. EL INESTABLE CLIMA Y LA CRISIS DEL AGUA

RESUMEN: Documento sobre las problemáticas sociales y ambientales relacionadas con el cambio climático y patrimonio hídrico en la Ecorregión del Eje Cafetero, elaborado para apoyar el Curso de Contexto en CTS de la Universidad Nacional de Colombia y las actividades cívico-académicas emprendidas con varias instituciones, entre ellas la Gobernación de Caldas y la Sociedad de Mejoras Públicas de Manizales en el marco de las actividades del autor relacionadas con el ordenamiento territorial.



Imagen 2: Río Molinos, Villamaría, Caldas. COTELCO.

Presentación

Aunque la Ecorregión Cafetera, gracias a su ubicación mediterránea en el centro y occidente de los Andes más septentrionales de América, donde la interacción de la atmósfera de la zona ecuatorial y su conexión con el Pacífico y en menor grado con la altillanura y la Amazonía proveen un ciclo hidrológico dinámico, cuenta con un patrimonio hídrico abundante donde el agua puede convertirse en un notable factor de desarrollo y de bienestar social para la región, el avanzado estadio de deforestación de sus cuencas sumado a un modelo agroindustrial cafetero soportado en monocultivos, se constituye en una amenaza creciente como consecuencia del cambio climático.

El Programa de Gobierno Caldas, Territorio de Oportunidades, Conocimiento e Innovación, contempla un programa integral como Estrategia de Adaptación ante el cambio climático, soportado en cuatro pilares:

- Planes de adaptación al cambio climático en diferentes sectores (agrícola, pecuario, minero)
- Programas de gestión ambiental en los diferentes municipios del departamento.
- Investigación aplicada que permita la adaptación de semillas y cultivos al cambio climático.
- Nuevas prácticas para sistemas agrícolas adaptadas a los efectos del cambio climático.

Sol y cambio climático

Aunque astrónomos y geofísicos soportados en correlaciones, pueden afirmar que cuando el Sol está tranquilo la Tierra permanece fría, aún no sabemos el por qué de los cambios de la actividad del Sol.

Hubo una "pequeña glaciación" asociada a un periodo frío ocurrido entre 1550 y 1850, en el que se presentaron tres picos fríos (1650, 1770 y 1850), pequeña edad del hielo acompañada de lluvias que coincidió con un periodo de baja actividad en las manchas solares. Aunque solo podemos afirmar que la Constante de radiación solar, no es tan "constante", de conformidad con los modelos heliofísicos, es el magnetismo de la atmósfera solar quien influye en la luminosidad del Sol, y por lo tanto en los cambios en radiación solar.

Según Corpocaldas, de una extensión de 744 mil Ha, las coberturas verdes del departamento en 2010 eran: 163 mil Ha en bosques (22%), 265 mil Ha en cultivos (36%) y 300 mil Ha en pastos y rastrojos (40%), tres cuantías que cubren el 98% de su escarpado y deforestado territorio.

En cuanto al sistema subterráneo de Caldas, sobresalen las zonas de recarga de páramo y de la gran cobertura boscosa de la alta cordillera, o del extenso Valle del Magdalena y las regiones del Oriente caldense, donde la copiosa precipitación explica un recurso hídrico excedentario susceptible de aprovechamientos hidroenergéticos responsables.

El patrimonio hídrico más comprometido del departamento, es el de la Cuenca del Río Chinchiná para el caso de la Subregión Centro-Sur; pero también a nivel municipal existen potenciales problemas asociados al riesgo para el suministro de agua en Marmato y Riosucio, Salamina, La Merced y Filadelfia.

Dicha vulnerabilidad asociada al déficit severo de agua, igualmente amenaza a Quinchía, Marsella, Apía, Balboa y Cartago, de conformidad con la información de Alma Mater y el SIR.

Eventos extremos del clima andino

El Niño y La Niña se explican por las anomalías de temperatura del Océano Pacífico, que se constituyen en freno para el desplazamiento natural y regular de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, una franja de bajas presiones en la zona Ecuatorial que explica el clima bimodal colombiano.

En los períodos de El Niño, las temporadas de invierno y verano del año son más secas para la zona andina colombiana, y más frecuentes e intensos los huracanes del Caribe. Durante La Niña, ocurre lo contrario: temporadas más húmedas a lo largo del año, con menos tormentas tropicales.

Mientras para Colombia el fenómeno El Niño se manifiesta con un déficit de lluvias, en Perú y Bolivia lo hace con lluvias torrenciales.

Aunque el desarrollo del fenómeno meteorológico del ENSO conocido como El Niño/La Niña es de carácter cíclico y comportamiento errático, a largo plazo la fuerza de este fenómeno puede cambiar como consecuencia del calentamiento global, generando eventos climáticos extremos como inundaciones o sequías en diferentes regiones del planeta.

Al observar las dos últimas Niñas 2007/8 y 2010/11, pese a su condición intrínseca similar y calificación de sus niveles como moderados, los efectos dejan ver una dinámica creciente del calentamiento global que anuncia consecuencias cada vez más intensas, tal cual lo advertimos en la segunda Niña al observar la Sabana de Bogotá convertida en una “Venecia” y la lista de 30 municipios colombianos como Gramalote, que afectados por las olas invernales, requieren reasentamiento, 20 de ellos fuera de su jurisdicción.

Eventos de anomalía observados en intervalos anuales en la temperatura oceánica, se prevé para el futuro el incremento, según NOAA.

Emisiones y efecto invernadero

El efecto invernadero es causado por gases como el metano y dióxido de carbono, que se encuentran en la atmósfera. Estos y otros gases que permiten la vida en la Tierra, atrapan parte del calor del Sol que se refleja por el planeta. El calor atrapado por la atmósfera de la Tierra, mantiene la temperatura media global en +15° C Celsius; si se incrementa ese valor hasta 18° C, se causan fenómenos nocivos.

En amarillo se muestra el efecto sobre la luz solar incidente; y en rojo, sobre la radiación infrarroja reflejada. Al cambiar la frecuencia de la radiación y no poder escapar, se genera el efecto de invernadero. Según el quinto Reporte de Emisiones presentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014), se necesita limitar el calentamiento a 2 °C, reduciendo las emisiones de efecto de invernadero al 2050, entre un 40% y 70% de los niveles de 2010.

Ahora, en razón al calentamiento global, sólo tenemos 40 años para explotar nuestro carbón. Para no exceder el límite de 2°C antes del 2050, a nivel mundial habrá que reducir: el 80% del carbón, la mitad del gas y un tercio del petróleo que se destina como combustible. Pero el carbón colombiano por ser de alta calidad, tendría uso preferencial para industrias de alto consumo energético: es un carbón duro, de alto poder calorífico y bajo contenido de azufre.

Cambio climático: donde y cuanto

Varios expertos en temas climáticos lanzaron alertas señalando que el acuerdo de la cumbre COP 21 de París es inconsistente con el objetivo de evitar que la temperatura del planeta no supere los 1,5° C.

Para lograrlo, la economía mundial debería estar descarbonizada en 2050 y las emisiones deberían disminuir al menos un 70 % en 2050, respecto a los niveles de 2010. Si la temperatura rebasa los 1,5 grados la capa de hielo de Groenlandia desaparecerá completamente.

Al subir la temperatura del planeta este siglo, entre 1,8° y 4° C de acuerdo a las características que presenten diferentes zonas, como consecuencia de la fusión de los glaciares también se incrementará el nivel medio de los océanos entre 18 y 59 centímetros dependiendo la cuantía de la gravimetría de cada lugar.

Las cuantías esperadas para Colombia son del orden de +3° C en la Región Andina y de +4° C en nuestras regiones costeras y de la Orinoquia y la Amazonía; además de un incremento alto del nivel del mar en el Caribe.

Cada variación en 1°C en el régimen de temperatura media, altera la basa climática de los ecosistemas en 170 metros de altitud.

Deforestación y agua subterránea

Sabemos que en la región andina de Colombia, el clima es bimodal: cada año tenemos dos temporadas secas que parten desde los equinoccios (junio 21 y diciembre 22) y dos húmedas a partir de los solsticios (marzo 21 y septiembre 22).

En el país, además de reforestar las cuencas andinas buscando la apropiación social de prácticas forestales y productivas no conflictivas, se debe hacer lo propio en la lucha contra la deforestación que aún cobra cien mil hectáreas por año en la región andina colombiana.

En Colombia, donde el 31% del agua dulce está en acuíferos y el 29% en lagunas, hace falta una política pública para garantizar el carácter de patrimonio y de bien público, del agua subterránea. Si lo administrativo y técnico están al día, en la gestión falta la dimensión socioambiental.

Aunque en el país las cuencas hidrogeológicas con posibilidades de aprovechamiento abarcan el 74% del territorio nacional, según el estudio "Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia" del IDEAM (2005), mientras el 56% de dicha área corresponde a la Orinoquía, la Amazonía y la Costa Pacífica, y el 31,5% a la región Caribe e Insular, sólo el 12,5% le corresponde a la Región Andina, que es la más densamente poblada.

Las cuencas hidrogeológicas más utilizadas en Colombia, según dicho documento, son las ubicadas en el Valle del Cauca, Valles Medio y Superior del Magdalena y Cordillera Oriental; siguen en importancia por su uso, las del Golfo de Urabá, Golfo de Morrosquillo y departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y la Guajira.

Epílogo

En Colombia, tras las experiencias del desastre de la erupción del Ruiz (1985) y del terremoto del Quindío (1999), durante la última década se fortaleció el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres.

En la ecorregión, se deberán emprender políticas públicas para darle coherencia a las acciones ambientales y sociales del PCC, incluyendo el tema del calentamiento global. El sector agropecuario, deberá replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica implantando la agroforestería, y el ganadero las prácticas silvopastoriles para corregir el uso conflictivo del suelo. El actual Plan de Desarrollo, deberá Implementar las políticas de ciencia y tecnología previstas en el Plan de Gobierno de Guido Echeverri (2016-2019) imbricadas con la cultura para resolver la brecha de productividad que sume en la pobreza los medios rurales del departamento.

Desarrollar dichas políticas públicas ambientales, será fundamental para lograr enfrentar la problemática del riesgo y del cambio climático, y para soportar la sostenibilidad en la responsabilidad ambiental. Manizales, Febrero 9 de 2016.

1.5. LAS CUENTAS DEL AGUA EN COLOMBIA

Resumen: Con precipitaciones anuales promedio de 1.800 mm y unas 720 mil cuencas hidrográficas, Colombia alcanza una oferta de 7.859 kilómetros cúbicos de agua superficial y subterránea, de los cuales el 25% son las aguas de las escorrentías anuales; pero el país tiene severos problemas de calidad en la mitad de dicho patrimonio, dado el vertimiento de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante por año que llegan a los acuíferos y cuerpos de agua, proveniente del sector agropecuario y residencial, a las que se suman otras sustancias como las 200 toneladas anuales de mercurio proveniente de la actividad minera.

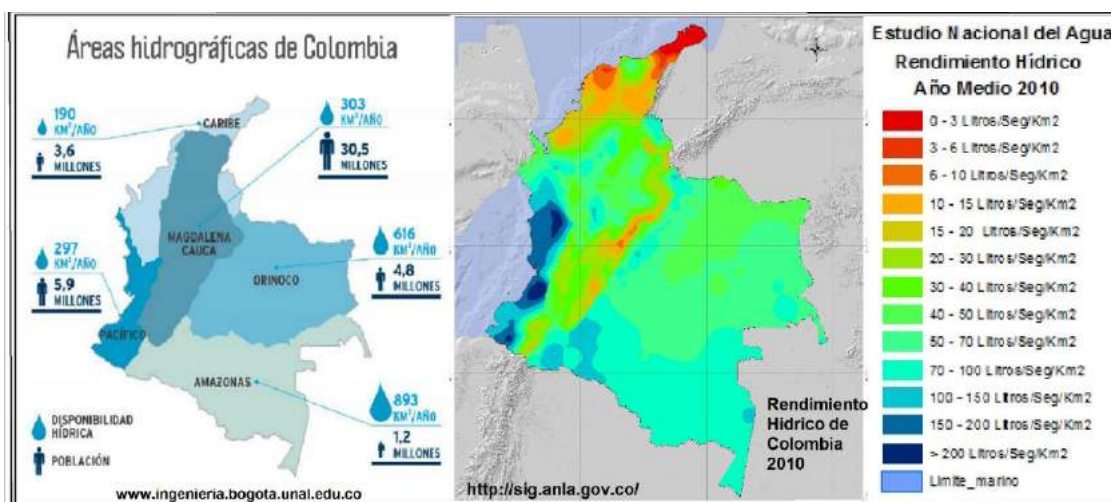


Imagen 3. El agua en Colombia (ENA Colombia), en: www.ingenieria.bogota.unal.edu.co y <http://sig.anla.gov.co>

Colombia, con 2.011 kilómetros cúbicos de aguas de escorrentía y 5.848 kilómetros cúbicos de aguas subterráneas, es reconocida por su potencial hidrológico: según el Estudio Nacional del Agua, ENA, nuestro rendimiento hídrico estimado en 56 l/s/km², es 5,2 veces superior a la media mundial y 2,7 veces a la de América Latina; de ahí la necesidad de fortalecer el Sistema Nacional de Áreas Protegidas que alberga el 62% de los nacimientos de agua, ya que abastecen al 50% de la población y al 20% del sistema de generación hidroenergética. Mientras que por superficie, la cobertura de bosques del país llega al 53,5% y la de humedales al 2,7%, cada año deforestamos cerca de 300 mil ha, 100 mil de ellas en la región Andina, que con el 24% de la superficie continental y el 75% de la población, solamente posee el 13% de la oferta de agua superficial y subterránea.

Es que la escasez del agua agravada por procesos de urbanización, cambios en el uso de la tierra y degradación ambiental, por una gobernabilidad débil, y por el costo económico de los frecuentes desastres naturales de origen climático, es un asunto político y social de gran importancia que igualmente nos afecta: en Colombia, con 24 grandes ciudades de las cuales Bogotá representa el 16 % de su población y con Cundinamarca el 26 % del PIB, en 2008 la participación del agua en el PIB nacional fue del 10% (incluido un 2% por la hidroelectricidad), además los costos económicos de la contaminación hídrica ascendieron al 3,5% del PIB, y según el Banco Mundial el costo oculto de la mala calidad del agua y de los servicios de saneamiento, podría ascender al 1% del PIB.

Dada la problemática acentuada por el cambio climático, en el siglo XXI muchas sociedades deberán enfrentarse a la crisis ambiental del agua, y Colombia no será la excepción: en los años secos nuestra oferta hídrica ya se ha reducido el 38%, incidiendo con mayor

intensidad en áreas hidrográficas de baja eficiencia hídrica como La Guajira y sectores con el mayor factor de aridez en el Caribe y la región Andina. Además, en Colombia, donde la cobertura de agua potable alcanza 96% de las ciudades y 56% de las áreas rurales, de 1122 municipios de la geografía nacional, según la Defensoría del Pueblo 521 consumen agua sin tratamiento alguno, el 70% de ellos con riesgo para la salud y en el 21% sanitariamente inviable; y de 318 cabeceras municipales con amenaza de desabastecimiento, 265 se alimentan de corrientes de agua superficiales, 24 obtenida de pozos profundos y 25 de reservorios o soluciones mixtas.

De ahí la importancia de la institucionalidad, para elevar la productividad del agua sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas, máxime si se tiene en cuenta la deficiente capacidad de municipios y algunas CARS para enfrentar un sensible asunto que pasa por el cuidado de los páramos y humedales amenazados por la minería, por el vertimiento de mercurio contaminando aguas que alimentan poblados enteros, y por la pérdida de resiliencia del Magdalena agobiado por 135 millones de toneladas anuales de sedimentos en suspensión.

Creado el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en reemplazo del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT, aparece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM que, desde su inicio, en 1995, se trazó como objetivos principales la necesidad urgente de conocer y estudiar la riqueza en agua del país, y el uso y las medidas de protección de nuestro patrimonio hídrico.

Por fortuna ha logrado el IDEAM ir más allá de los intereses sectoriales, al poder alertar sobre el potencial desabastecimiento para algunos centros urbanos del país y entregar avances en cada versión del ENA sobre la interdependencia del patrimonio hídrico con la biodiversidad, el suelo, el subsuelo y la atmósfera, incluyendo enfoques fundamentales como el concepto de la huella hídrica, y abordando el análisis del comportamiento del ciclo hidrológico en el territorio nacional, contemplando cuencas hidrográficas, cuerpos de agua y aguas subterráneas. No obstante, el país está urgido de acciones y soluciones para enfrentar dicha problemática socio ambiental, en el marco de la adaptación al cambio climático. * [Ref.: La Patria. Manizales 2016.08.29]

1.6- BOSQUES EN LA CULTURA DEL AGUA



Imagen 4. Mural sobre la Reserva Forestal Conrado Gómez Gomez o de la Cuenca de Río Blanco; obra del Maestro Luis Guillermo Vallejo. Fuente: [Río Blamco, cuna de vida...](#)

RESUMEN: De no apurar la adaptación ambiental de la que habla el ambientalista colombiano Gustavo Wilches Chaux en "La construcción colectiva de una cultura del agua", preocupa lo que se vivirá en las siguientes temporadas invernales cuando de nuevo arrecie La Niña. Habrá que aceptar la crítica situación causada por el efecto del "pavimento verde" asociado a la grave potrerización de nuestras montañas, y también la problemática de los "pavimentos grises" constituidos por nuestros mayores centros urbanos.

Tras haber caído el telón de La Niña 2010/2011 con legiones de damnificados y cuantiosas pérdidas en los medios urbanos y rurales, debe advertirse la urgencia de una reconstrucción que empiece por ordenar las cuencas. La Niña, esta vez significativamente superior a la media y por lo tanto una de las más intensas de las últimas décadas, como fenómeno que hace con El Niño un ciclo de comportamiento errático, regresará para hacer más húmedas las temporadas secas y de lluvias del singular clima bimodal de la región tropical andina colombiana.

Y tras evaluar y proyectar grosso modo las elocuentes lecciones de las consecuencias de torrenciales aguaceros que han batido registros históricos en frecuencia e intensidad, de no apurar la adaptación ambiental de la que habla el ambientalista colombiano Gustavo Wilches Chaux en "La construcción colectiva de una cultura del agua", preocupa lo que se vivirá en las siguientes temporadas invernales cuando de nuevo arrecie La Niña, de conformidad con lo ocurrido en este lustro y las dramáticas consecuencias de múltiples y variados eventos hidro-meteorológicos, que entregan para la historia de Colombia las aterradoras imágenes de inundaciones de poblados enteros en la Mojana y la Sabana de Bogotá, de los estragos de flujos de lodo como en Útica y del corrimiento de tierra que se llevó a Gramalote, a modo de inequívocas señales de que somos altamente vulnerables al desastre del calentamiento global.

Y para la ecorregión cafetera, las inundaciones en La Dorada y La Virginia, la pérdida de las bancas de las vías principales para las transversales de Manizales y Armenia y de la red terciaria de las zonas rurales del Eje Cafetero, o la grave problemática de la cuenca

de la Quebrada Manizales, tres hechos que tienen en común la falta de una adaptación a la amenaza del calentamiento global, donde se reclama la declaratoria de zonas de interés ambiental en sectores críticos de los corredores viales y un ordenamiento de cuencas que le apunte a la planificación agrícola, al manejo de nuestras represas hidroeléctricas, al aseguramiento de fuentes hídricas, al debido uso del agua, y a la ocupación no conflictiva del territorio en lugares susceptibles a sequías, inundaciones y movimientos en masa.

Entonces, para mitigar la vulnerabilidad del hábitat frente a las torrenciales lluvias invernales, en principio debemos aceptar que dicha fragilidad está asociada a las condiciones que favorecen el descontrol hídrico y pluviométrico resultante de la tala de bosques, dada su doble función como reguladores de las precipitaciones y de los caudales; lo primero al descargar las nubes gracias a la condensación del vapor de agua, y lo segundo al retener la humedad resultante de las precipitaciones. De esta segunda función se nutren las aguas subterráneas y por lo tanto los acuíferos y manantiales, lo que reduce las escorrentías a tal punto que el caudal de los ríos puede ser casi el mismo en invierno que en verano. Y de la primera función, al tener bosques se moderará la intensidad de las lluvias al igual que su distribución a lo largo del año: quien penetra al bosque andino puede advertir en el ambiente húmedo de los musgos y en el fresco del follaje, la condensación del vapor de agua extraída de las masas de aire que trae la brisa diurna a transitar por ese ámbito. Pero si hemos deforestado las montañas, desde la cuenca baja cercana a los valles interandinos hasta la cumbre, no habrá posibilidad de condensación alguna, y por lo tanto se cargarán más las nubes en su tránsito hacia la cordillera, pudiendo a su paso generar precipitaciones a la altura de nuestras ciudades de montaña, chubascos que caerán a modo de aguaceros diluviales. En conclusión, para comprender mejor el impacto de haber destruido humedales, talado bosques y ocupado rondas de ríos y quebradas, y entender mejor la necesidad de reponer el bosque como fundamento para la estabilidad del medio biofísico, socioeconómico y cultural de nuestro entorno rural y urbano, habrá que aceptar la crítica situación causada por el efecto del "pavimento verde" asociado a la grave potrerización de nuestras montañas, y también la problemática de los "pavimentos grises" constituidos por nuestros mayores centros urbanos, cuyas escorrentías no están reguladas dado su sistema de alcantarillado directo carente de estructuras hidráulicas de almacenamiento y efecto regulador llevando de inmediato las aguas lluvias a las quebradas periurbanas, y abreviando como en el caso de las montañas desnudas los tiempos de concentración de las aguas para elevar sustancialmente los caudales, e incrementar con ellos la erosión hídrica y detonar flujos y deslizamientos en las zonas de pendiente, e inundaciones sobre valles y sabanas.

[Ref: La Patria, Manizales, 2011, 05, 23]

1.7- EL ESTADO Y LA FUNCIÓN DEL SUELO URBANO EN MANIZALES

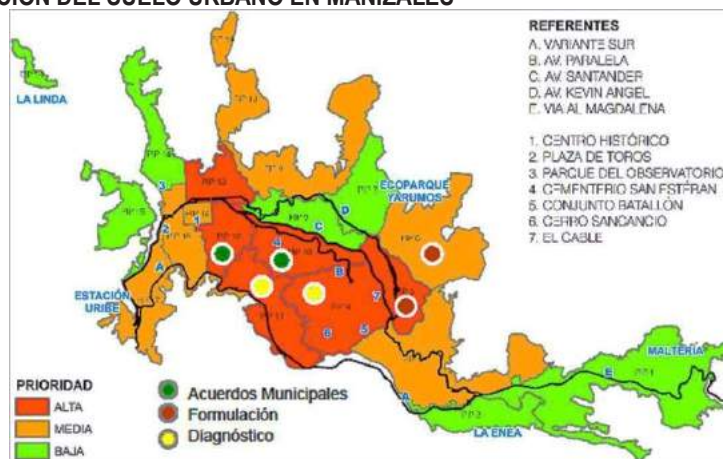


Imagen 5. Piezas Intermedias de Planificación PIP, de Manizales. Secretaría de Planeación de Manizales. En: <http://sociedadespacionaturaleza.wordpress.com>

No parece viable un ordenamiento que propenda por la sustentabilidad del medio ambiente urbano, mientras persistan en Manizales las dinámicas incontroladas de expansión de la frontera urbana, la distribución inequitativa de cargas y beneficios, la separación de costos y utilidades obtenidos de la actividad urbanizadora, y una estratificación de Ley altamente inconveniente, inequitativa y anacrónica, mediante la cual se otorgan subsidios y cobran contribuciones en función de la morfología urbana de la vecindad y de las características de la vivienda, y no de la realidad socioeconómica del ciudadano.

Los planificadores, más allá de una perspectiva técnica opaca a los procesos socioeconómicos del hábitat, para el desarrollo de sus actividades deberían contar con elementos de política pública, que prevengan la especulación con el suelo urbano y garanticen la función social de la propiedad, en lugar de dejar las dinámicas urbanísticas a merced del mercado, olvidando asuntos vitales para decisiones que deberían redundar en el bienestar colectivo, en un modelo no conflictivo de ocupación del territorio, y en una propuesta de ciudad más verde y humanizada como lo propone el colectivo "Subámonos al bus del POT" desde la SMP de Manizales.

Uno de los fenómenos que caracterizan el subdesarrollo, es la segregación espacial y social urbana a la que se refiere Samuel Jaramillo González (2010) de la Universidad de los Andes, definiéndola como "una característica no neutra de nuestras ciudades", para la cual reclama una decisión política orientada a controlar las dinámicas espontáneas que produce el mercado asociadas a la especulación con el suelo urbano, y generar instrumentos de intervención del Estado útiles para prevenir ganancias no productivas

ocasionadas por el cambio de uso del suelo, como la apropiación de la plusvalía urbana por el municipio, la promoción estatal planificada de vivienda y la aplicación de cuotas de vivienda social a los urbanizadores.

Aunque estén relacionados, “valor y precio” no son lo mismo: los bienes tienen un valor de uso que se asocia a la satisfacción que nos brindan, y al tiempo pueden o no poseer un valor de cambio, gracias al cual se intercambian con otras mercancías y se establece su precio en el mercado. Por ejemplo, el aire que tiene un considerable valor de uso, no tiene precio, como sí las mercancías que por ser bienes económicos que se venden, compran o intercambian. Desde Aristóteles, cuando alude a la reciprocidad y al tallón, pasando por Adam Smith cuando se ocupa de las dinámicas del mercado y de la teoría de los precios, o por David Ricardo con sus ideas sobre la teoría de la renta de la tierra asociada a su productividad agrícola, hasta Marx con la teoría histórica y social del valor-trabajo, el pensamiento económico se ha ocupado del asunto para explicar precio y renta de la tierra.

Si efectivamente el aire, aunque posee valor de uso, no posee precio toda vez que en él no se incorpora trabajo humano para su purificación y suministro, entonces al reflexionar sobre la naturaleza del precio de la tierra, dado que ella en sí no es un bien transformado, para el Profesor-Investigador Jaramillo, en el caso del suelo urbano la tierra tiene precio así no sea un valor en sí misma, gracias a la renta que genera en virtud del control que ejercen los dueños de los terrenos, sobre una condición cuya indispensable para la producción y consumo del espacio construido, con lo cual los terratenientes se apropian de parte del valor producido socialmente por los agentes económicos que generan capital.

Finalmente, si en Colombia la deuda histórica con el campesinado parte de que el Estado no ha controlado el régimen de propiedad de la tierra, ni usado con eficiencia herramientas como el catastro, la extinción del dominio y la reforma agraria, en nuestra ciudad la problemática del suelo advertida en procesos que acentúan las inequidades, como la fragmentación y renovación urbana, la presión sobre la selva andina, las zonas de riesgo de la periferia, deberíamos aplicar correctivos al mercado inmobiliario, densificar la retícula de la ciudad antigua, prevenir la propagación de los guetos urbanos y emplear a fondo instrumentos impopulares como el impuesto predial y la contribución de valorización, además de la recuperación de la plusvalía urbana ya aplicada en Pereira y no en Manizales.

* [Ref.: La Patria, Manizales, 2014.09.1]

1.8. NO TODO LO QUE BRILLA ES ORO

Resumen: A diferencia de una minería artesanal y limpia que puede coexistir con la minería industrializada subterránea, cuando se practica con responsabilidad social y sin comprometer biomas estratégicos, la mega minería y la minería ilegal, son dos flagelos que amenazan el frágil ecosistema andino en la Ecorregión Cafetera.



Imagen 6. Minería ilegal, río Ovejas. Juan Bautista Díaz. El Tiempo 13.02.2015.

El “vil metal” como se le llama al oro cuando se usa como medio de pago, que si hace una década se cotizaba a U\$600 la onza hoy cuesta el doble, desde épocas coloniales ha sido uno de los principales motores económicos del país: si en el siglo XVI la Nueva Granada producía el 39% el oro del mundo, y hasta el siglo XX Colombia participaba con el 30%, hoy con 56 toneladas por año ocupa el puesto decimocuarto a nivel mundial y el segundo en Sudamérica, después de Perú (151). Además, para el caso de Caldas que con 1,8 toneladas por año aparece en el sexto lugar de Colombia, el municipio productor por excelencia es Marmato, cuyas regalías por tal concepto suman \$1.639 millones, cuantía más de veinte veces superior a lo que generan los demás municipios juntos.

Ahora, si en Colombia existen dos grandes empresas que controlan el 12% de la producción: la Mineros conformada por Colpatría, la Corporación Financiera Colombiana y otros socios menores, y la Gran Colombia Gold de Canadá, pero la mayor proporción estimada en el 80% del oro del país es de la minería ilegal, entonces, en nombre de esta actividad empresarial, a las fuentes de agua del país se vierten 200 toneladas de mercurio al año, 100 de ellas en Antioquia, y también en la Depresión Momposina donde los ríos Cauca, Cesar y San Jorge desaguan al río Magdalena, convergen las aguas servidas llevando el mercurio de 1.200 minas de aluvión y los vertimientos de la Región Andina donde habitamos el 70% de los colombianos.

Además, en razón a la mirada utilitarista de multinacionales blindadas por una ley que desampara a los colombianos, o de la máquina devastadora de la informalidad cooptada por el “para-estado”, esta actividad extractiva se ha venido constituyendo en una severa amenaza para los ecosistemas andinos ubicados en los departamentos de mayor producción de oro en Colombia: basta examinar los procesos de deforestación en el Amazonas y el Chocó, los intentos de arrasar santuarios como el páramo Santurbán y de perforar por el “oro negro” en Caño Cristales, cuando no la criminal degradación del paisaje en el Bajo Cauca con la destrucción del humus, y las charcas de mercurio y cianuro, herencia de uno de los negocios más fructíferos de los últimos tiempos: el oro.

En Marmato, el cuarto municipio más viejo de Colombia (1537), un verdadero enclave económico dado el contraste entre su elevado PIB per cápita para unas NBI mayores al 30%, y donde las reservas auríferas tras 100 km de perforaciones exploratorias han pasado

a 11,4 millones de onzas de oro, pese a haber sido objeto temprano de la intervención del Estado desde la Misión Boussingault (1822-1831) que eleva la eficiencia de la explotación en un 25%, y de haber contado desde 1980 con la presencia de Ecominas -luego Mineralco- como ente administrador de las minas en representación del ministerio de Minas y Energía, se tiene que de las 500 minas de socavón, la mitad concentrada en el Cerro el Burro, únicamente 121 tienen título, entre estas 103 propiedad de la Gran Colombia Gold.

Si en el precioso poblado de Iván Cocherín, guacheros y pequeños mineros que en medio de minas ilegales cuya legalización no está a su alcance técnico ni económico, al no encontrar oficio empujados por la necesidad van tras los socavones abandonados asumiendo los riesgos que conlleva la informalidad mientras sus mujeres, niños y mayores deben recurrir al mazamorreo en aguas contaminadas, entonces qué podremos esperar en La Colosa o Cocora y Tolda Fría, donde la sudafricana Anglo Gold Ashanti o la canadiense Río Novo han puesto el ojo para explotar oro a cielo abierto, sin importar el equilibrio ambiental de esta barrera natural protectora del PNN de los Nevados, ni la sobrevivencia de especies emblemáticas como el cóndor y la palma de cera.

Razonablemente, nuestra Sociedad de Mejoras Públicas previendo la amenaza sobre ecosistemas y el agua, como defensora del territorio y de la vida al conocer lo que está ocurriendo en la quebrada La María de la Vereda Montaña de Villamaría, vecina a la Reserva de la Chec y afluente directo del Río Chinchiná cuya cuenca comparte con Manizales, ha logrado la suspensión provisional de la Mina Tolda Fría. [Ref.: La Patria. Manizales, 2016.05.23].

1.9- ESPERANZA Y ACCIÓN EN LA HORA DEL PLANETA



Imagen 7. Visión nocturna de la Tierra: <http://www.solounplaneta.com>

Millones de personas de todo el mundo, convocados por el Fondo Mundial para la Naturaleza para celebrar la quinta versión de La Hora del Planeta que se celebra el último sábado de marzo de cada año y que consiste en un apagón voluntario, hemos apagado las luces y electrodomésticos durante una hora como una señal de compromiso de la sociedad civil para tomar acciones contra el cambio climático. Y lo hemos hecho porque creemos que esta clase de iniciativas puede resultar eficaz para crear conciencia pública, prácticas de adaptación ambiental y mitigación de la amenaza, siempre y cuando con el concurso de un Estado responsable y previsor y del sector productivo y empresarial, sea acompañada desde la sociedad civil con acciones de complemento que siembren valores y desencadenen verdaderos procesos que propendan por la reforestación de cuencas, recuperación de humedales, preservación de la biodiversidad y respeto a la vida, además de prácticas culturales que favorezcan el acondicionamiento del hábitat, la cultura del reciclaje, la producción limpia, y la racionalización de los hábitos de consumo, entre otros aspectos. Sin una base conceptual de soporte para una campaña educativa en la cual se incorporen conceptos claros y valores, mediante los cuales comprendamos por lo menos nuestra relación con la problemática ambiental y las consecuencias del cambio climático como fenómeno del que somos el primer eslabón en la solución pero también el blanco seguro de sus fatales consecuencias, el objetivo de este acto simbólico vivido en la noche que pasa cuando conmemoramos año por año La Hora del Planeta, no resultaría viable dado que las soluciones fácilmente palidecerían frente al insaciable apetito de un modelo económico que restringe su aporte a los necesarios beneficios de la eficiencia energética y de la optimización de los procesos de producción, salvo que esta sociedad logre comprender la importancia de reducir el despilfarro de recursos que supone el desmedido hábito del consumo que propone el mercado.

A pesar de que el cambio climático se reconoce ahora como el mayor reto ambiental para la humanidad, y de que su ocurrencia resulte aceptada por la comunidad científica internacional así sus reales causas sean discutidas, de no empezar por la educación gravitan dudas sobre la viabilidad de aunar esfuerzos coordinados, suficientes y permanentes entre todos los actores sociales, buscando emprender acciones concertadas y coordinadas entre sectores económicos, instituciones públicas y organizaciones civiles, así se reconozca la fuerza de las campañas mediáticas como la de anoche, donde la acción propuesta que parte de un deseo individual que converge temáticamente, logra configurar una plataforma que lo unifica y convierte en una idea fuerza para perseguir un objetivo único. Esto es, esas acciones colectivas más allá de los logros mediáticos, exigen procesos educativos de tipo formativo e instructivo.

Si bien en campañas soportadas por la Internet y medios de comunicación masivos pueden hacer carrera desde asuntos triviales hasta otros tan fundamentales como éste del calentamiento global, aludimos a la educación dado que lo que está en juego ahora no sólo pasa por los problemas del consumo de energías fósiles y de los niveles de emisión de CO₂ como asuntos propios de modelo de desarrollo en curso, sino también por el terreno de la cultura y del equilibrio de los ecosistemas, donde debe profundizarse y sensibilizar a la población en temas que se involucran con dicha problemática en el marco de un desarrollo sostenible: los derechos de los seres vivos, la relación entre el Estado y la economía, y la responsabilidad de los actores sociales.

Así que esta nueva jornada a favor del medio ambiente denominada La Hora del Planeta, posiblemente convertida ahora en el movimiento global de mayor convocatoria jamás organizado, si bien no puede solucionar nada por sí misma, logra ser un símbolo necesario que a modo de reivindicación y gracias a la sinergia con la contundencia de los desastres causados por el calentamiento global, aunque resulte demasiado tarde también puede detonar un cambio siempre y cuando abramos la puerta de la dimensión educativa para desencadenar procesos que hagan viable una acción conjunta, que desde la sociedad civil valore la austeridad y la vida, desde la acción del Estado privilegie la planeación previsor y solidaria, y desde el sector empresarial tome la senda de la producción limpia y la responsabilidad social.

Desde el OAM, Ed. Circular RAC 604

1.10. EJE CAFETERO: CONSTRUCCIÓN SOCIAL E HISTÓRICA DEL TERRITORIO

A continuación, una visión sobre los procesos de construcción del territorio y las determinantes económicas, ambientales y sociales de desarrollo regional en el denominado Eje Cafetero de la República de Colombia.

Explorando el territorio

Estas tierras mediterráneas del centro occidente de Colombia, que ligan cordilleras con volcanes nevados y valles intertropicales, y que marcan los plegamientos de los Andes más septentrionales de América, fue explorada en el sector occidental desde mediados del siglo XVI, por Jorge Robledo cuando funda Anserma (1539) en tierras de la nación de los Ansermas, y a Cartago (1540) en tierra de Quimbayas; y por el naciente, por Gonzalo Jiménez de Quezada, quien funda a Mariquita (1551) y Victoria (1553) en tierras de Panches, Gualíes y Marquetones.

Abatida y menguada la población indígena y saqueadas sus riquezas durante la Conquista, ya en la Colonia se concentran las actividades antrópicas en dos frentes: uno para la explotación del enorme potencial minero en algunos ríos y montañas, introduciendo la esclavitud negra a las áreas de Marmato, Supía, Arma y Victoria, donde merece destacarse la fundación del Real de Minas de Quebralomo en 1540 convertido en centro esclavista; y el segundo, para el estudio de la biota de la Nueva Granada en Mariquita, gracias a la Expedición Botánica encomendada a Mutis como punto central de las propuestas ilustradas de Carlos III, para hacer de América un proyecto rentable para España (1).

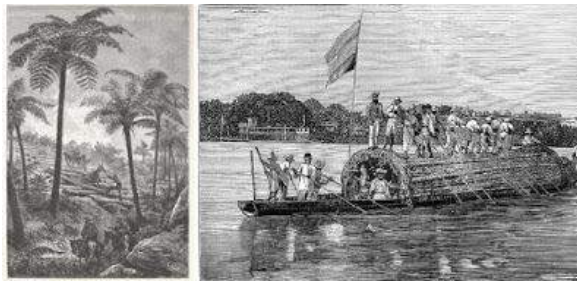


Imagen 8- Camino de madera de Edouard Andre en *Geografía pintoresca de Colombia*, y Champan por el Magdalena, en *Revista Credencial*.

Desde el siglo XVI, cuando las provincias del Nuevo Reino alcanzan a abastecer el 39% del oro mundial, además de iniciarse la construcción de la defensa amurallada para Cartagena de Indias, al hacerse evidente la necesidad de fortalecer el gobierno local, se instituye en 1717 el Virreinato de la Nueva Granada con capital en Santafé. Mientras la minería en la provincia del Cauca que aportaba 70% del precioso metal, se soportaba en la esclavitud de negros e indígenas; en la de Antioquia, que aportaba 20%, el modo de producción era fundamentalmente mediante el trabajo del minero independiente.

Ya en los albores de la República, estando las tierras del sur de Antioquia hasta el Quindío y las montañas de la Mesa de Herveo pertenecientes al Tolima Grande, despobladas e inconexas a sus centros provinciales, aprovechando su condición apta para actividades agropecuarias y mineras, parten corrientes migratorias de la denominada *colonización antioqueña* que, tras un encierro de doscientos o más años, expulsados por la pobreza y atraídos por sueños y oportunidades llegan a estos lares, generándose un fenómeno social tan importante para nuestra historia, como lo fueron la Revolución de los Comuneros y la Independencia.

Luego de la ocupación de baldíos de Antioquia entre 1770 y 1874, la colonización, que avanza por las tierras selváticas de la vertiente occidental de la Cordillera Central sobre las que existían títulos de propiedad colonial, conduce a enfrentamientos entre colonos y representantes de la Concesión Aranzazu y de la Concesión Burila. No obstante, las expediciones se establecieron en colonias y fundaron pueblos como Sonsón en 1800, Abejorral en 1805, Aguadas en 1808, Salamina en 1825, Santa Rosa de Cabal en 1844 y Manizales en 1849, los que a su vez sirvieron de puntos de partida para avanzar a otras zonas, repartir las tierras y fundar poblados. Y de tales conflictos entre colonos y Concesiones, y entre aparceros y latifundistas, cuenta el historiador Valencia Llano (2000) (2), que "los terratenientes avanzaban con sus brigadas de asalto -inspectores, jueces, guardianes, levitas, alcaldes, leguleyos-, iban destruyendo cultivos, arrasando las cementeras; incendiando casas".

De la subsistencia a la acumulación

Finalizado el primer período presidencial de Tomás Cipriano de Mosquera (1798-1878) quien impulsó la navegación de vapores por el Magdalena, la apertura de caminos y las mejoras de los servicios de correo, entra el General José Hilario López al poder, cuando la República se prepara para declarar la manumisión de 16 mil esclavos (1852). Entonces, se da una emancipación temida en los grandes feudos de las provincias de Popayán y Cauca y en las grandes minas de Antioquia, Chocó y Barbacoas, y se proponen cambios fundamentales como la ley agraria, la separación de la Iglesia y el Estado, la libertad de prensa y la federalización de la República. (3). A medio siglo de haberse perdido la importancia comercial alcanzada por Honda durante la Colonia como nodo de la navegación del Magdalena en el camino que parte desde Barranquilla con destino a Bogotá, Antioquia, el Cauca y Quito, consecuencia de la apertura de puertos sobre el Pacífico en Guayaquil, Tumaco y Buenaventura, y del camino establecido por Nare, surge Manizales como el poblado más estratégico de la provincia sur del Estado de Antioquia; entonces esta aldea que se desarrolla sobre una retícula con

centro en la plaza mayor, va emergiendo al ritmo de la arriería, al tiempo que se va desarrollando un bahareque de tierra, constituido por una mezcla de estiércol de equinos y limos inorgánicos aplicados sobre una esterilla de guadua, dispuesta sobre una armadura de tallos de la misma Bambusa.

Durante esta segunda media centuria que cierra el Siglo XIX, luego de duros años de trabajo empleados por los colonos con la esperanza de hacerse a la tierra como medio de subsistencia, y buscando el ascenso social, Manizales pasa a ser el teatro de las confrontaciones armadas de 1860, 1876 y 1884 entre los estados de Antioquia y Cauca, donde el necesario aprovisionamiento de las tropas favorece una economía de subsistencia.

Para 1876, la población de la aldea de bahareque y tapia pisada llegaba a 10 mil habitantes y la del país a unos 3 millones. Entre tanto, la promisoría economía del fértil valle del río Cauca, donde se esperaba el beneficio de obras como el Ferrocarril del Cauca, se fue a pique como consecuencia de la inestabilidad política de estas guerras civiles.

Pasado este difícil período, las pequeñas fincas de pan coger del área entre Quindío y Manizales, que se laboran bajo el modelo de producción familiar, se siembran ahora con propósitos comerciales, primero en caucho y posteriormente en café, dando origen a un sistema económico y social diferente al de peonaje y haciendas característico de los grandes predios de los estados de Cundinamarca y Cauca, fundamentado en el trabajo asalariado, ya que con la colonización del siglo XIX, al establecerse el principio de “la tierra para quien la trabaje”, se crean las bases para un modo de producción capitalista.(4)

El grano de oro para el desarrollo

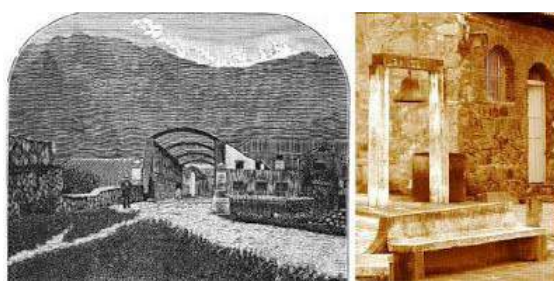


Imagen 9- Puente de hierro sobre el Guali, en Honda, Tolima, y Marmato, Caldas. Fuente: banrepcultural.org

Los habitantes de la “Tierra del café” poseen una cultura donde inciden determinantes de la caucanidad y de la antioqueñidad, relacionados con los modos de producción de la minería de la Colonia y de la actividad agraria del siglo XIX. Si en el caucano gravitaron el modo esclavista en la minería y el feudal en la hacienda terrateniente, en el colono venido de Antioquia la nueva caficultura será una actividad minifundista soportada en el trabajo asalariado de pequeños propietarios, donde la cultura se enriquece con el aporte del caucano de clase media caracterizado por sus imaginarios de libre pensador, lo que forja una sociedad laboriosa y emprendedora en este territorio cafetero, y una economía que florece durante los primeros setenta años del siglo XX.

Así, en una perspectiva socioambiental, los habitantes de este territorio antes denominado Gran Caldas, heredan en su cultura imbricada profundas trazas de la racionalidad propia de la tierra del hacha y la ruana, y de la mentalidad abierta y liberal de la *caucanidad* que impulsa al ciudadano no vinculado a la tierra ni a la minería, hacia el comercio y la producción manufacturera.

Aunque Manizales aparece al empezar la transformación política y social de Colombia (1849), Pereira se funda cuando Mosquera da la guerra con Ecuador por Tumaco (1863), y Armenia surge al detonar en Santander la guerra de los “Mil Días” (1899-1903). Si bien las fechas de fundación de estas tres ciudades intermedias conurbadas de la tierra del café, emplazadas sobre los abanicos aluviales son del período republicano, el mayor esplendor de la región apenas se vivió en la década de 1920, gracias al impacto de los ferrocarriles y cables cafeteros, donde el café y estos medios 20 veces más eficientes en costos y en tiempo, que la arriería, para sacar el preciado grano, aparecen como fuerzas motrices del poblamiento del centro-occidente colombiano. (5)

Para entonces cambia la fisonomía de Manizales, un pequeño poblado que empieza a tener aires de ciudad gracias al surgimiento de una arquitectura ecléctica, en la que participan estilos victorianos, italianos y afrancesados, al tiempo que el nuevo modelo urbano abandona el trazo de la retícula ortogonal española para seguir las curvas de nivel a lo largo de la escarpada topografía; e igualmente, los numerosos periódicos y tertulias de la capital, anuncian una corriente de intelectuales y artesanos.

En Colombia, Carlos Eduardo Pinzón (1874-1925), en la década de 1920 alcanzará a exportar cerca de 35% del café colombiano, tras abrir el mercado de los Estados Unidos. Ahora, habiéndose constituido el café en el motor del desarrollo nacional, dicho empresario antioqueño pudo apoyar el Cable Aéreo Manizales-Mariquita, obra construida por los ingleses entre 1912 y 1922 para cruzar la Cordillera Central previniendo los impactos del nuevo canal interoceánico, y encontrar en el puerto de Honda la salida al Caribe transitando el Magdalena; y también hace lo propio el emérito comerciante promoviendo el Ferrocarril de Caldas como apéndice del Ferrocarril del Pacífico. Inaugurado el Canal de Panamá en 1914, Buenaventura que respondía por 8% de las exportaciones del país, con el impacto del tren y la obra del istmo, pasa a mover 32%.(6)

Igualmente, gracias al café, se da la explosión de la navegación por el Magdalena. La importancia del “grano de oro” será fundamental, primero para encontrar la viabilidad del Departamento de Caldas que se crea en 1905, al haberse constituido Manizales en un próspero poblado de 25 mil habitantes –Medellín llegaba a 60 mil–, y segundo, por lo que se apreciará en la década de 1920 cuando el meridiano económico de Colombia pasa por esta ciudad, convirtiéndola en fuente de divisas para la industrialización del país, condición que le permitió reconstruirse luego de los devastadores incendios de 1922, 1925 y 1926.

Comités para el desarrollo y caturra para la crisis

Aunque el antiguo Caldas apenas surge en 1905, tras la reforma territorial de Rafael Uribe Uribe (1859-1914), en cuestión de nada se pasa de una economía de subsistencia y de grandes empresas de arriería que le apuntan al mercado nacional, a otra de acumulación con ferrocarriles y cables aéreos que buscan los puertos marítimos. Gracias al café, la nueva sociedad empieza a conocer los beneficios de un cultivo de pequeña superficie con alto efecto distributivo del ingreso, con un modo de producción capitalista, lo que tendrá validez hasta la década de 1970.

Pero en 1927 se funda en Colombia la Federación Nacional de Cafeteros, institución que mediante los Comités logra irradiar los beneficios de la caficultura al campo, aportando y cofinanciando la construcción de caminos, acueductos, puestos de salud, redes eléctricas y escuelas rurales. Son los tiempos de la chiva y el yipao, en los que la economía y la vida de las comunidades de los pequeños pueblos y caseríos de las veredas de nuestra región, resultan pujantes, por lo menos hasta 1970 cuando llega el caturra con los efectos de una revolución verde, cuyos paquetes tecnológicos y financieros no pudieron ser asimilados por los campesinos propietarios: la consecuencia, sus tierras pasaron a manos de comerciantes y profesionales; entre tanto, aquellos con solo dos años de escolaridad en promedio, migran a la ciudad, justo en momentos en los cuales la reconversión tecnológica cafetera presenta mayores exigencias laborales y empieza a modificar la estructura de productividad y costos. (7)

Y conforme la población se va polarizado sobre el eje Manizales – Pereira – Armenia, y el centralismo que desde la crisis de 1929 termina donándose en las provincias, se facilita la escisión del Gran Caldas al crearse los departamentos de Risaralda y Quindío en 1966, al tiempo que la economía empieza un proceso acelerado de tercerización, y se da el ocaso de la sociedad industrial. Además, en la medida en que se ha venido conurbando el territorio vecino a las capitales cafeteras, la racionalidad agropecuaria en la tenencia de la tierra va cambiando, por otra relacionada con los potenciales usos del suelo urbano, a la vez que cambia el mapa de la caficultura colombiana, al desplazarse la producción a otras regiones, donde los bajos costos asociados a una menor productividad resultan viables frente a la crisis de precios del café.

Aquí vale la pena señalar que en materia de infraestructura, la región presenta diferencias y asimetrías profundas: de un lado, están las áreas urbanas de las capitales y municipios cercanos a estas, donde se concentra la infraestructura y el ingreso; y de otro, las zonas rurales lejanas a las capitales conurbadas, menos equipadas y en las cuales cambian las condiciones relativas, según se trate (a) de zonas cafeteras donde el transporte rural ha cumplido una función esencial como catalizador de la reducción de la pobreza, dada la alta densidad de su red vial, o (b) de las cuencas altas donde la baja densidad poblacional y la precaria conectividad del territorio afecta poblados rurales aislados, como Marulanda (Caldas) y Pueblo Rico (Risaralda). De esta particular circunstancia, el Quindío ha podido sacar ventaja al tener integrado su territorio, lo que no Caldas ni Risaralda.

De la segregación a la integración

En la última generación -25 años-, la población de las tres capitales del Eje Cafetero ha crecido así: 41% en Manizales, 96% en Pereira y 60% en Armenia; incremento que pone en evidencia la asimetría en los niveles de conectividad interna y externa de los tres núcleos urbanos. Mientras la región en los tres departamentos cuenta con cerca de 2,2 millones de habitantes, los problemas de empleo y migración a pesar de su posición geoestratégica, indican que la ventaja asociada a su ubicación de privilegio en el denominado "Triángulo de Oro de Colombia", está inexplorada al no haber conformado entre las capitales cafeteras una ciudad región, no haber complementado sus economías, ni implementado un sistema integrado de transporte interurbano eficiente para desarrollar un mercado interno importante con economías de escala. Ahora, con las autopistas de la Montaña, y al Valle del Cauca, la ventaja del Eje Cafetero para la integración de la gran conurbación entre Cali y Medellín dependerá de la conformación o no de esa ciudad región entre las capitales cafeteras, para no palidecer y en conjunto lograr mayores beneficios, en especial si también se da la conexión del sistema férreo, con el Ferrocarril Cafetero propuesto entre La Dorada e Irra como articulador transversal del sistema de carga de la Región Andina conectando el Altiplano a la hidrovía del Magdalena y a los dos mares de Colombia. (8)

Hoy, los nuevos desarrollos urbanos aún por implementarse en los planes de ordenamiento territorial del país, deben propender por la integración hacia adentro y hacia afuera de los núcleos urbanos. Esto es, las ciudades deben conformar sus áreas metropolitanas, e interactuar articulando funciones que armonicen con sus mejores competencias y las de los municipios periféricos. Este es un imperativo para las ciudades intermedias conurbadas, que para no palidecer deben integrarse para formar un clúster con base en tres elementos: que las economías entre los centros urbanos en lugar de competir se complementen, que las distancias entre dichos centros se reduzcan a menos de tres horas, y que los centros que interactúen tengan el mismo nivel de relevancia.

Pero el reto de Manizales debe empezar por ordenar y reconvertir su industria, orientándola a tres líneas específicas, sobre las cuales todavía no existe una conciencia empresarial: uno, a industrias de alto valor agregado con densidad tecnológica asociadas a las economías digital, verde y naranja; combinando para el efecto la producción de bienes y servicios en TIC, en biotecnologías y en creatividad, que hagan uso del transporte aéreo en un aeropuerto que supere las limitaciones regionales, tal cual lo propone Aerocafé extendiendo su pista para operar como aeropuerto "low cost" y de carga pesada complementando a El Dorado y al José María Córdoba, asumiendo funciones de nodo aéreo transoceánico; dos, a industrias que satisfagan el mercado nacional, renglón para el cual fueron concebidas cuando imperaba el modelo de sustitución de importaciones; y tres, a industrias químicas de base minera que deben ubicarse del lado de la materia prima y no del consumidor, las cuales pueden hacer uso de un corredor logístico que busque los mares, como el que se propone con la hidrovía del Magdalena y con el Ferrocarril de Occidente saliendo desde el Km 41 a Urabá y Buenaventura.

Y para cerrar, una mención a tres proyectos estructurantes que han quedado en este aparte: uno, el Ferrocarril Cafetero, un tren de montaña entre La Dorada y el Km 41 que integre la Región Andina para estructurar el sistema de transporte de carga de Colombia; dos, el Aeropuerto del Café con pista de 3800 m x 40 m para lograr impactar la región y hacer viable el Paisaje Cultural Cafetero, dado que Matecaña siempre estará limitado a aviones de mediano alcance; y tres, un puerto profundo en el Pacífico concebido en el marco del eje interoceánico Urabá-Cupica. El primero supone construir el nuevo Túnel Cumanday perforado en las granodioritas estables vecinas a Cerro Bravo, para que al articular esa vía férrea al Tren de Occidente se pueda movilizar a menor costo un contenedor entre

Bogotá y Buenaventura, y se facilite la salida del carbón andino al Pacífico colombiano. El segundo, como medio aéreo fundamental para resolver la condición mediterránea del Eje Cafetero, con vuelos transoceánicos llegando a bajo costo a Asia, Norte América, Europa y el Cono Sur; y tercero, la construcción de un canal interoceánico seco por el Atrato antioqueño en el Chocó biogeográfico, como paso logístico en la interface de los dos océanos de la economía planetaria; con lo cual habrá que prever un desarrollo urbano en Urabá. (9)

Retos y enfoques para la agenda

Es evidente que la sociedad de hoy reclama un Estado que debe implementar políticas sectoriales, culturales y educativas en el nivel local, atender con urgencia los desafíos ambientales y de pobreza e inequidad, y de paso erradicar la corrupción y adecuar de forma coherente el ordenamiento territorial, de conformidad con la oferta cultural y natural de las regiones, y en atención a su problemática social y ambiental.

Pero sabemos que estos no son los tiempos de la sociedad industrial de ayer, del Estado solidario que expande sus beneficios gracias a los postulados keynesianos, ni de unas fuerzas productivas soportadas en procesos intensivos en mano de obra. Ahora son los tiempos de la sociedad del conocimiento, en la cual la estructura del empleo ha cambiado. Ahora, en el caso de Colombia, cada vez más transmutada por la tecnología y donde el conocimiento ya alcanza el mayor protagonismo entre los factores de producción, el Estado ha quedado al servicio del mercado y, por lo tanto, de espaldas a las grandes necesidades de una Nación, a la que la pobreza y la fragmentación social y espacial imponen otras prioridades. Luego, si el nuevo empleo que ya no se basa en destrezas manuales y fuerza muscular, sino en el desarrollo de competencias intelectuales y sociales, para articularlo a procesos intensivos en tecnología, deberá soportarse en la educación y la investigación, implementando otro modelo educativo que desarrolle el talento humano, la creatividad y la inteligencia social y emocional, como factores requeridos para el emprendimiento y la innovación. (10)

Además, para cerrar la brecha de productividad entre los medios rurales y urbanos, urge emprender un desarrollo educativo y cultural que haga factible una reconversión del sector agropecuario, orientada hacia modelos de producción limpia, en la que saberes, conocimientos, aprendizajes y experiencias se integren a un desarrollo social y cultural de una región como la del Eje Cafetero, para la cual se debe re-significar y re-elaborar el conjunto de símbolos y valores que le da soporte a su identidad como territorio biodiverso, mestizo y multicultural, así: en la Alta Cordillera de nuestra ecorregión los símbolos de la identidad se relacionan con el pasillo, el páramo, el bahareque de tabla, el sombrero aguadeño y la ruana de Marulanda; en el Magdalena Centro, con la navegación por el Magdalena, la Expedición Botánica, el bunde y la guabina, el rancho de hamacas y la subienda de nicuros, bagres y bocachicos; en Marmato, Supía y Riosucio, con la cultura indígena de las comunidades Embera y Umbra, y con la minería del oro y el carbón, nutrida del significativo aporte de las comunidades afrodescendientes, y con los currulaos en esta tierra de artesanías, panela y café. Existe más novela y poesía en el oro que en el café. (11)

Finalmente habrá que desarrollar las competencias de la región expresadas en su potencial cultural y natural, y en la propia identidad haciendo uso del civismo, tal cual lo registra la historia de la ciudad que mediante él se ha superpuesto a los incendios, terremotos y erupciones volcánicas, para no sucumbir frente a otras acciones mucho más devastadoras como la pérdida de valores, que trae como consecuencia la corrupción ya casi institucionalizada, lo que explica la despiadada acción humana sobre los bienes comunes o públicos. Al fin de cuentas, la civilidad es el valor supremo de la cultura urbana. (12)

* EDITORIAL Revista Summa Iuris. Vol. 5, Núm. 1 (2017) Universidad Católica Luis Amigó.

Referencias

- (1) Jorge Arias de Greiff (1993). La astronomía en Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y naturales.
- (2) Valencia Llano, A. (2000). Colonización: Fundaciones y Conflictos. Agrarios. Recuperado de <http://albeirovalencia.com/>
- (3) Duque Escobar, Gonzalo (2016) [PCC 2011-2016: desafíos de un patrimonio sustentable](#). Chinchiná,
- (4) Marco Palacios (2002). El Café en Colombia 1850 a 1970. Una historia económica, social y política. <http://banrepcultural.org/blaavirtual/economia/fondos-abiertos/el-cafe-en-colombia-tercera-edicionn>
- (5) Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Eje Cafetero y Transporte Intermodal](#). In: Reunión del Comité de Ecorregión Eje Cafetero. Alma Máter.
- (6) Duque Escobar, Gonzalo (2015) [El desarrollo urbano y económico de Manizales](#).
- (7) Absalón Machado C (2001) El café en Colombia a principios del siglo XX. In: Desarrollo económico y social en Colombia: siglo XX. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2531>
- (8) Duque Escobar, Gonzalo (2015) [¿Para dónde va el Magdalena?](#): In: III Foro público Honda.
- (9) Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Plataformas Logísticas y Transporte Intermodal en Colombia](#).
- . In: Conferencia para la SAI y la CCOA. Medellín y Rionegro.
- (10) Duque Escobar, Gonzalo (2014) [Elementos para la construcción de una visión del desarrollo de Caldas](#).
- (11) Duque Escobar, Gonzalo (2015) [Manizales: El futuro de la ciudad](#). In: Cátedra de Historia Regional de Manizales, BAT. U de Caldas.
- (12) Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia](#).
- Revista Civismo SMP Manizales, Colombia.

Lecturas complementarias

Ciencias naturales y CTS.

El conocimiento es producto de una práctica humana con reglas establecidas y las ciencias naturales cuyo objeto es el estudio de la naturaleza, no afirman cómo es la naturaleza, sino que explican lo que observamos en ella. Aquí nos ocupamos de las ciencias naturales: el dominio de los sistemas rígidos comprende las ciencias físicas y parcialmente las ciencias de la vida, pero no las ciencias del comportamiento y las ciencias sociales, que son del dominio de los sistemas flexibles. La ciencia a su vez, diferencia la ciencia básica de la aplicada, siendo ésta última la aplicación del conocimiento científico. La Tecnología surge entonces al incorporar nuevas ideas científicas a las actividades prácticas de la producción, a la técnica. Otro elemento fundamental a considerar en las relaciones entre ciencias naturales, tecnología y sociedad, es el de las nuevas tendencias: la Globalización de la economía, Las Restricciones Ambientales, y la Globalización de la cultura, para examinar los problemas del desarrollo y del subdesarrollo. La conjunción Medio ambiente & Ciencias naturales, se comprende mejor cuando el concepto de medio ambiente involucra a la Naturaleza y a la Cultura. Ver: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3157/cts-ondas.pdf>

Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento.

Desde las disciplinas tradicionales resulta utópico intentar la solución a las profundas problemáticas del mundo actual. Hoy, tanto los procesos de construcción de un territorio dado, como su contexto social, económico y ambiental, resultan más complejos. Requerimos además del diálogo de saberes, del concurso de la propia ciencia y tecnología con sus herramientas para obtener de ellas una aproximación a las posibles soluciones. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8652/gonzaloduqueescobar.201176.pdf>

Eje Cafetero: fortaleza minero-industrial y posibilidades agropecuarias

Fortalezas del Eje Cafetero relacionadas con sus potencialidades agropecuario y valioso inventario minero, que le dan soporte a los elementos fundamentales del Plan Industrial Minero y a nuevas opciones de clústeres regionales agropecuarios, en momentos en los que se perfila un crecimiento de la oferta energética local en el oriente caldense y la implementación de modos de transporte más eficientes como la navegación por el río Magdalena.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9693/gonzaloduqueescobar.201222.pdf>

Un contexto para el puerto de aguas profundas en Tribugá, Colombia.

Introducción. - Algo de historia del transporte. - El transporte y el PIB en Colombia. - Los modos de transporte en Colombia: transportes carretero, férreo, fluvial, aéreo, marítimo y oceánico. - El mundo de los contenedores. - El Canal del Suez y el Canal de Panamá: dos atajos. - El Pacífico colombiano: Tribugá y Buenaventura. . Ver en: <https://qodues.wordpress.com/2018/07/06/un-contexto-para-el-puerto-de-aguas-profundas-en-tribuga-colombia/>

Significado y desafíos del regreso del tren

Ahora que regresa el tren a La Dorada, las autoridades del sector deberían reevaluar las políticas del transporte de carga, donde resulta evidente que antes que poner a competir ferrocarril, carretera y río a lo largo del Magdalena, en lugar de desarrollar el Ferrocarril Cafetero y el Corredor Férreo del Cauca uniendo a Buenaventura con Urabá. Con esta configuración, se puede hacer viable un sistema intermodal de carga en Colombia, siempre y cuando se parta del presupuesto de que no solo el desarrollo sino también la rentabilidad de la hidrovía y los ferrocarriles, obliga a implementar la locomotora del carbón andino para asegurar la carga en ambos modos. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57686/significadoydesafiosdelregresodeltren.pdf>

ENLACES SOBRE CALDAS.

Aerocafé... cómo, qué y por qué.	Ferrocarril Cafetero: un tren andino para integrar el territorio.	Pensilvania, la "Perla del oriente" caldense.
Aquadas: esplendor entre neblinas y pasillos.	Investigación estratégica en el PNN de los Nevados.	Perfil ambiental de Manizales y su territorio.
Anserma puntal del occidente por sus raíces Umbrá.	La Ciudad Región Pereira – Manizales.	Precedente promisorio para la crisis del Eje Cafetero.
Anotaciones a las vías de Caldas.	La Dorada como nodo intermodal de carga.	Problemáticas y potencialidades de Manizales y Caldas.
Área metropolitana de Manizales.	La sed de los cafetos.	Retrospectiva histórica de la minería en Marmato.
Caldas en la biorregión cafetera.	Manizales: intervención y uso del suelo urbano.	Río Blanco, cuna de vida...
Corredor Bimodal Cafetero.	Manizales: un diálogo con su territorio.	Riosucio mestiza e indígena.
Cultura y Turismo en Caldas.	Neira: entre la ruralidad y la ciudad región.	Salamina patrimonial y emblemática.
Chinchiná Siglo XXI.	Minería en la ecorregión Cafetera.	Samaná, tierra de agua y miel.
Eje Cafetero: fortaleza minero-industrial y posibilidades agropecuarias.	Navegando el Río Grande de la Magdalena.	Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.
El desarrollo urbano y económico de Manizales.	Noroccidente de Caldas: un territorio forjado en Oro, Panela y Café.	Supía: 475 años bajo la tutela del cerro Tacón.
El Río Grande, su ecosistema y la hidrovía.	Opciones de Caldas en medio ambiente, cultura y territorio.	UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
El territorio del río Grande de la Magdalena.		Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.
El territorio caldense, un constructo cultural.		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



El rayo y el relámpago. Gordon Garrad .Science P.L.

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 02

MATERIA Y ENERGÍA

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

2.1. INTRODUCCION

El estado físico de los cuerpos desde el punto de vista clásico, es: sólido, líquido y gaseoso.

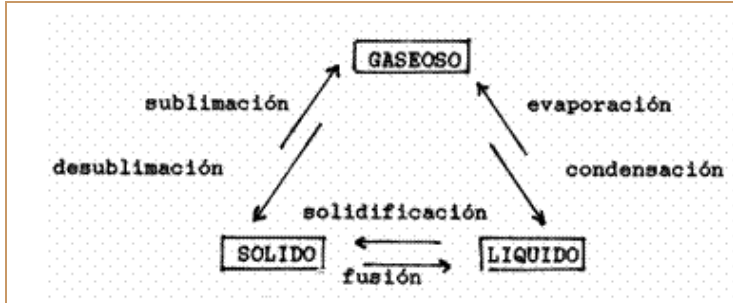


Figura 3. Estados de la materia. El cambio de estado recibe los nombres que señala el diagrama. Los estados son tres: sólido, líquido y gaseoso.

En el estado sólido la materia tiene un volumen determinado y una forma fija; en el líquido tiene también volumen fijo pero no así una forma determinada y en el estado gaseoso no tiene volumen fijo ni forma determinada.

Los gases son menos densos que los sólidos y que los líquidos. De manera muy general, el contraste de densidades entre sólidos y líquidos es bajo, permitiendo afirmar que sus densidades son relativamente iguales. Los cambios de fase entre los diferentes estados son los de la figura 3.

2.1.1 Conceptos Antiguos sobre la materia. Tales de Mileto (Grecia, 640 a 547 A. C.), tomaba como pieza angular de la materia el agua. Demócrito de Abdera (Tracia, 460-357 aC.), decía que lo único eterno e inmutable era la materia, susceptible de descomponerse en corpúsculos indivisibles llamados átomos.

Aristóteles de Estagira (384 a 322 A. C.), propuso un esquema tan perfecto que, aunque permitió el desarrollo de la ciencia en su momento, paradójicamente la retardó hasta el siglo XVII, cuando irrumpieron los alquimistas.

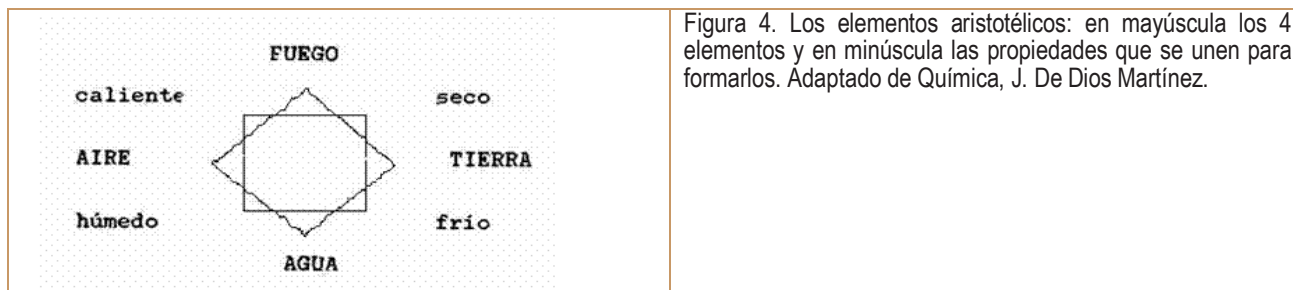


Figura 4. Los elementos aristotélicos: en mayúscula los 4 elementos y en minúscula las propiedades que se unen para formarlos. Adaptado de Química, J. De Dios Martínez.

Según Aristóteles la materia puede tener las siguientes propiedades: fría o caliente y húmeda o seca; en ninguna pareja de estados hay estados intermedios; si unimos dos de estas propiedades podemos obtener los cuatro elementos básicos de la materia, así: de frío y húmedo el agua, de caliente y seco el fuego, de caliente y húmedo el aire, y de frío y seco la tierra. La quinta esencia, o el éter, será el quinto elemento, propio del reino exterior donde está lo inmutable.

Aunque no eran claros los conceptos de gravedad y densidad para explicar la caída y flotación de los cuerpos, se procedía a decir que la tendencia de la Tierra era a desalojar el elemento agua y a su vez el agua al elemento aire. El aire estaría siempre por encima de los tres elementos restantes por tener mayor levedad que ellos, pero por debajo del fuego. De esta manera los cuerpos con mucha gravedad se precipitaban en los fluidos y los cuerpos con mucha levedad flotaban en ellos.

Cuando el método inductivo se impone sobre el método deductivo y la comprobación sobre la demostración (siglo XVII), la ciencia despegue nuevamente en lo que se conoce con el nombre de El Renacimiento, cuyo máximo exponente es Galileo Galilei (1564-1642), fundador de la ciencia moderna.

2.1.2 Conceptos actuales sobre la materia. Según Albert Einstein (1879-1955), en su teoría de la Relatividad, materia y energía son dos aspectos de una misma cosa; este concepto permite comprender mejor que el átomo es divisible. Las partículas elementales, que lo constituyen todo, clasificadas por sus interacciones, son 24 con sus correspondientes antipartículas: seis leptones (electrón, tau, muón y sus correspondientes neutrinos), seis quarks (arriba, abajo, cima, fondo, extraño y encantado) y doce bosones (gravitón, fotón, ocho gluones, y las partículas Z y W). Estas partículas elementales tienen masa, excepto el fotón y el gravitón.

Existen cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza: la gravedad asociada a los gravitones, es de enorme alcance y actúa en una sola dirección - es la más tenue -; la electromagnética asociada a los fotones, es de gran alcance y actúa en dos direcciones; la interacción fuerte asociada a los gluones, es de corto alcance, liga al núcleo atómico y supera en dos órdenes a la fuerza electromagnética; la interacción débil asociada a las partículas Z y W, es la tercera en intensidad y de corto alcance, y explica la radioactividad.

Análisis cada vez más detallados ponen de manifiesto que las diferentes fuerzas de la naturaleza son en realidad manifestaciones de muy pocas -tal vez una- fuerzas fundamentales. Todas las interacciones conocidas pueden reducirse en último término a las cuatro formas señaladas.

Cuadro 1. Las fuerzas de la naturaleza.

1. Electromagnetismo (Fza Eléct. y Fza Magnét. Maxwell, 1860) 2. Fuerza nuclear débil	Fuerza Electrodébil Para dos fuerzas (Weinberg, Salam 1967)	Teoría de la Gran Unificación (1980) para tres fuerzas	Teoría de la Súper Unificación para las cuatro fuerzas
3. Fuerza nuclear fuerte 4. Gravedad			

Academia Norteamericana de Ciencias, Washington, 1986.

El electromagnetismo y la fuerza nuclear débil, si bien difieren mucho en su modo de actuación, son en realidad dos aspectos de una misma fuerza electrodébil unificada. Resultados recientes parecen indicar que la fuerza nuclear fuerte, también de carácter muy distinto, puede incluirse a su vez en este esquema en una teoría de gran unificación (GUT), faltaría sólo incorporar la gravedad, como se muestra en el siguiente esquema.

Los quarks forman protones y neutrones. La tercera fuerza explica la unidad de los protones en el núcleo atómico mientras la segunda fuerza explica cómo el núcleo captura a los electrones (las cargas iguales se repelen y las cargas contrarias se atraen). El electrón, el protón y el neutrón tienen masa; en el electrón la carga es -1 , en el protón es $+1$ y en el neutrón es 0 . La masa del protón, similar a la del neutrón, es 1840 veces la del electrón.

La materia se compone de átomos, éstos de electrones, protones y neutrones. Los átomos son la unidad más pequeña de un elemento y poseen masa y carga eléctrica. En el átomo normal el número de electrones y protones es igual. Un ion es un átomo desequilibrado por la vía de los electrones; si es de carga positiva recibe el nombre de catión, pero si ella es negativa, será anión. Un isótopo es una forma alterna de elementos y se produce desequilibrando un átomo por la vía de los neutrones. En el hidrógeno no hay neutrones; en los átomos de elementos livianos, el número de neutrones y protones es igual; en los pesados el número de neutrones supera al de protones.

Los elementos se combinan para formar compuestos. En estado natural, conocemos 92 clases de elementos (del hidrógeno al uranio), los demás son artificiales; en estado ambiente solamente dos elementos son líquidos (bromo y mercurio). Los compuestos son combinaciones de átomos de elementos, y la molécula es la unidad más pequeña de un compuesto. Los elementos más allá del uranio son artificiales.

2.2. CONSTANTES EN LA TEORIA FISICA

Debemos distinguir entre aquellas magnitudes que son constantes simplemente porque no cambian, y las constantes universales fundamentales. La masa de la Tierra, por ejemplo, es aproximadamente constante, pero existen otros planetas con masas muy diferentes a la de la Tierra. Por otra parte, la masa de todos los electrones es la misma, independientemente del lugar que ocupan en el Universo.

El número de constantes universales verdaderamente fundamentales que conocemos es, en realidad, muy pequeño. A continuación se muestra una lista de constantes fundamentales que determinan en gran medida las características esenciales de la mayor parte de las estructuras físicas conocidas.

Muchas de estas características son notablemente sensibles a los valores de las constantes y a determinadas relaciones numéricas aparentemente accidentales entre ellas. Hay que señalar que la constante de Hubble y probablemente la constante cosmológica no son en realidad constante, sino que varían a escalas de tiempo cosmológicas y que la constante de Boltzmann y la permisividad del vacío son meros factores de conversión entre dos sistemas de unidades.

Tabla 1. Lista de constantes fundamentales y magnitudes derivadas

Nombre Numérico	Símbolo	Valor (Unidades SI)
Carga del protón	e	$1,60 \times 10^{-19}$
Constante de Planck	h	$6,63 \times 10^{-34}$
Constante gravitatoria de Newton	G	$6,67 \times 10^{-11}$
Velocidad de la luz	C	3×10^8
Masa en reposo del protón	M_p	$1,67 \times 10^{-27}$
Masa en reposo del electrón	M_e	$9,11 \times 10^{-31}$
Constante de la fuerza débil	G_w	$1,43 \times 10^{-62}$
Constante de la fuerza fuerte	G_s	15
Constante de Hubble	H	2×10^{-18}

Constante cosmológica	A	$<10^{-53}$
Relación cósmica fotón/protón	S	10^9
Permisividad del vacío	ϵ	$8,85 \times 10^{-12}$
Constante de Boltzmann	K	$1,38 \times 10^{-23}$

Wagoner & Goldsmith. Horizontes Cósmicos, Labor, 1985.

La Tabla anterior también contiene la constante de Boltzmann, que es un factor de conversión entre unidades de energía calorífica y temperatura; además incluye la masa del electrón y la del protón, pero no la de los quarks -en el estado actual de nuestros conocimientos no se sabe cuáles son las partículas elementales -.

2.3. MACROESTRUCTURAS

Para considerar la materia a gran escala, el parámetro fundamental es la temperatura, porque ella determina que los cuerpos sean sólidos, líquidos o gaseosos.

Si la temperatura de una molécula es T, su energía térmica media será aproximadamente KT, de forma que el requisito para la solidez es $KT \geq E_{\text{átomo}}$ (estado de menor energía del átomo de hidrógeno, valor equivalente a unos 10^{-18} julios), si suponemos que la energía de unión molecular se debe aproximadamente al 10% de la energía de unión atómica.

La siguiente tabla muestra los niveles principales de la jerarquía principal de nuestro Universo, en donde los números están aproximados a la potencia de 10 más próxima.

El tiempo característico representa la menor duración necesaria para que el sistema pueda transmitir información apreciable o sufrir cambios estructurales de importancia.

En los cuatro primeros casos se señala el tiempo que tarda la luz en atravesar el sistema. En los sistemas biológicos y sociales se anota el tiempo de reproducción o de crecimiento. Para las estrellas se da el tiempo de vida medio, pero para otros sistemas ligados gravitatoria mente es más apropiado el tiempo de caída libre. Para el átomo es el tiempo orbital del electrón y para el Universo su edad.

Tabla 2. Escalas de Estructuras.

Sistema	Tamaño (m)	Característica estructural	Masa (Kg)	Tiempo característico (seg)
Gravedad cuantizada	10^{-35}	Estructura esponjosa	10^{-8}	10^{-43}
Quarks, leptones	$<10^{-18}$	Partículas elementales	?	$<10^{-26}$
Partículas nucleares	10^{-15}	Unión de quarks	10^{-27}	10^{-24}
Núcleo	10^{-14}	Unión de partículas	10^{-25}	10^{-23}
Átomo	10^{-10}	Núcleo y electrones	10^{-25}	10^{-16}
Molécula	10^{-7}	Unión de átomos	10^{-20}	10^3
Célula viva	10^{-5}	Orden complejo	10^{-10}	10^3
Forma vida avanzada	1	Organización	10^2	10^9
Ciudad	10^4	Orden social	10^{11}	10^9
Montaña,	10^4	Irregular	10^{12}	10^{13}
Asteroide	10^5			
Planeta	10^7	Predominio gravitatorio	10^{24}	10^4
Estrella	10^9	Reacciones nucleares	10^{30}	10^{17}
Sistema planetario	10^{11}	Estrella y planetas	10^{30}	10^8
Cúmulo estelar	10^{18}	Ligado gravitatoriamente	10^{35}	10^{15}
Galaxia	10^{21}	Núcleo y brazos espirales	10^{41}	10^{16}
Cúmulo de galaxias	10^{23}	Ligado gravitatoriamente	10^{43}	10^{17}
Universo	10^{26}	Uniformidad	10^{53}	10^{18}

Paul Davies. El Universo Accidental, Salvat, 1985.

2.4. TRABAJO

Una tortuga y una liebre de igual masa, que recorren la misma distancia, realizan el mismo trabajo y consumen la misma energía, pero la tortuga lo hará con menor potencia que la veloz liebre.

Podemos hacer una evaluación de la energía que se consume en diferentes procesos naturales, observando la siguiente escala (aproximada) de crecimiento exponencial.

Tabla 3. Escala de energía involucrada en diferentes fenómenos.

Magnitud	Fenómeno
10^2 ergios	1 seg de luz de luna en la cara.
10^8 ergios	una cerilla encendida.
10^{12} ergios	camión a gran velocidad, deslizamiento de tierra
10^{18} ergios	impulso inicial de un cohete Atlas, una avalancha
10^{20} ergios	la primera bomba atómica. Un rayo.
10^{24} ergios	bomba de hidrógeno. Terremoto destructor
10^{28} ergios	calor que pierde la Tierra en un año.
10^{32} ergios	calor recibido por la Tierra durante un año.
10^{36} ergios	giro de la Tierra sobre su eje.
10^{40} ergios	calor del Sol en un año o una rotación de la Tierra sobre su órbita.
10^{48} ergios	explosión de una estrella supernova.

Adaptado de Boot y Fitch: La Inestable Tierra y de Atlas de lo Extraordinario: Fenómenos Naturales, Ediciones del Prado.

En la escala anterior podemos ubicar la magnitud de eventos naturales catastróficos como un rayo, un terremoto, una avalancha y un deslizamiento. Un ergio es una dina a lo largo de un cm. Un julio equivale a 10 millones de ergios.

Los eventos de mayor siniestralidad y menos frecuencia son la caída de meteoros, le suceden en su orden erupciones volcánicas y terremotos, por último inundaciones y deslizamientos, que tienen menor grado de siniestralidad y mayor frecuencia.

2.5. LA ENERGIA

La energía es la capacidad de un sistema para producir trabajo. Generalmente se divide en energía potencial (almacenada) y cinética (de los cuerpos en movimiento).

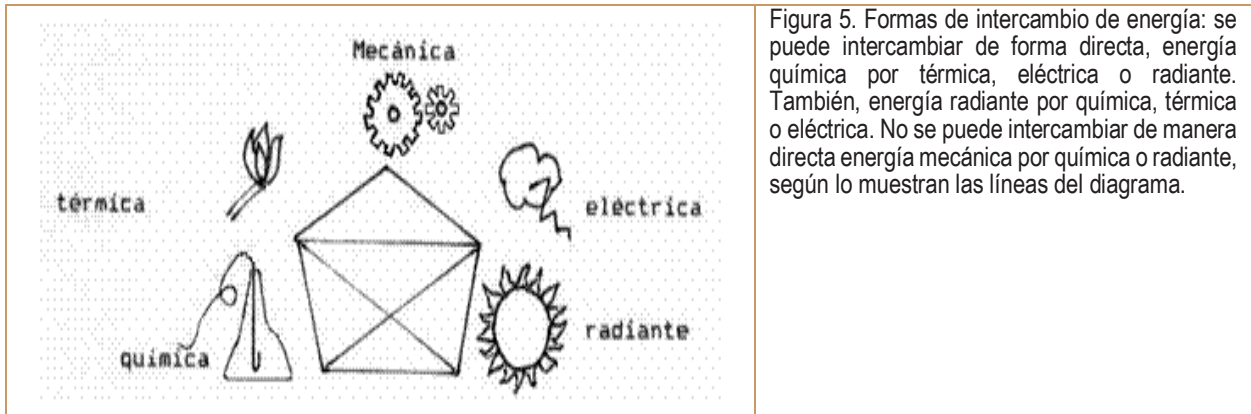


Figura 5. Formas de intercambio de energía: se puede intercambiar de forma directa, energía química por térmica, eléctrica o radiante. También, energía radiante por química, térmica o eléctrica. No se puede intercambiar de manera directa energía mecánica por química o radiante, según lo muestran las líneas del diagrama.

La energía calorífica resulta del movimiento de átomos y moléculas; la energía química depende de los electrones, produciéndose cuando los átomos los ganan o los pierden al formar compuestos; la energía atómica depende de los protones y neutrones en el núcleo; exceptuando ésta, las formas clásicas de intercambio entre energías mecánica, química, térmica, eléctrica y radiante, son intercambios de modo directo y doble sentido, excepto para la mecánica que interactúa sólo con la térmica y la eléctrica.

Las formas de propagación térmica son: transmisión, radiación y convección. La transmisión es el paso de calor por contacto (calentando la base de una cuchara se calienta el mango). La radiación es un fenómeno de emisión (recibir calor del fuego de una chimenea). La convección supone el flujo de la materia (el agua en una cacerola que se calienta: en el fondo el agua caliente se dilata, pierde densidad y puede ascender; estando arriba se enfría, gana densidad y desciende para calentarse de nuevo).

La expresión de Einstein (1905), $E = MC^2$ muestra la identidad entre masa y energía. Así, de un kilogramo de materia podemos obtener la siguiente energía atómica:

$$E = 1 \text{ Kg} \times (300.000 \text{ km./seg})^2$$

$$E = 1.000 \text{ g} \times (30.000.000.000 \text{ cm/seg})^2$$

$$E = 9 \times (10)^{23} \text{ ergios}$$

Esta energía equivalente a 11000 millones KW hora, es suficiente para tener una plancha eléctrica funcionando durante un millón de años, dar 180000 vueltas en carro al mundo o 400 en un petrolero.

Se ha visto la relación de masa entre los electrones y protones o neutrones, por lo que el núcleo tiene el 99.95% de la masa del átomo. Así, la densidad del núcleo es de 100 millones de toneladas por cm^3 de protones, mientras el diámetro del átomo varía entre 20000 y 200000 veces el diámetro del núcleo, y en promedio es de dos unidades Amstrong (2Å). La unidad de Bohr es el radio del primer orbital del átomo de hidrógeno, igual a 0.53 Å .

2.5.1 Espectro de la energía radiante. La energía radiante se transmite por ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz. El espectro electromagnético es un contenido continuo de frecuencias, en el cual se señala la longitud de onda ventana por ventana. Donde ésta es corta, la frecuencia y la energía son altas y donde es larga, la frecuencia y la energía son bajas. Ver fig. Siguiente.

La luz visible solamente ocupa una estrecha banda donde la longitud de onda está en el rango de 4 a 7,3 micrómetros Las ondas muy largas (mayores de 1 metro) corresponden a radio-ondas, mientras las muy cortas (menos de la 10 millonésima de centímetro) corresponden a los rayos gamma.

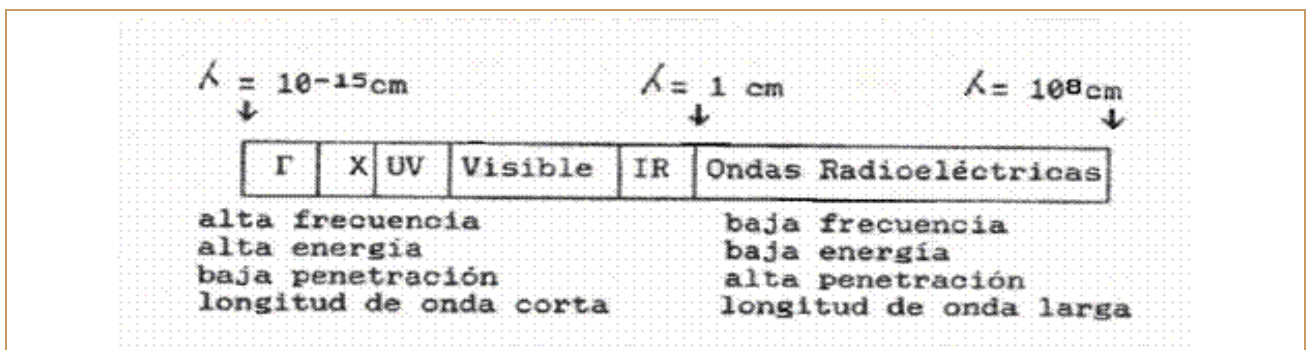


Figura 6. Espectro electromagnético. Muchos tipos de radiación distintas físicamente, son ondas electromagnéticas que sólo difieren en tamaño. La radiación electromagnética tiene el doble carácter de onda y de partícula. Tomado de Guía Astronómica, Gonzalo Duque Escobar.

Entre ellas se encuentran otras radiaciones conocidas como los rayos gamma (asociados a cuantos del núcleo atómico), X provenientes de la envoltura electrónica del átomo), ultravioletas (fluorescente y de alta influencia biológica), infrarrojos (radiación calorífica), y ondas radioeléctricas (microondas, radio-televisión, radar...).

Las imágenes de satélite, las fotografías aéreas y las imágenes de radar, son instrumentos definitivos en la prospección y evaluación de los recursos naturales y en el diseño de obras para el modelado que hace el hombre de la naturaleza. Para el efecto es importante conocer el poder de penetración de cada frecuencia y la sensibilidad de algunas sustancias químicas a diferentes radiaciones, cuando las imágenes se toman desde aeronaves o desde tierra.

Las imágenes de radar penetran la vegetación y las nubes pero las más comerciales son imágenes inclinadas, que abarcan un gran territorio pero no posibilitan cálculo fotogramétricos. Las fotografías aéreas muestran imágenes donde las nubes y la vegetación perturban la visibilidad; las más comerciales son fotografías verticales que facilitan los cálculos fotogramétricos; estas imágenes de proyección central permiten elaborar planos topográficos.

Las imágenes de satélite en diferentes bandas se constituyen hoy en la mejor herramienta de prospección y comunicaciones, para lo cual Colombia cuenta con su propia órbita geostacionaria.

2.6. DETECCION A DISTANCIA POR RADAR

Hay varias actividades en donde la exploración de la Tierra se hace desde el espacio. En la detección a distancia por radar se puede señalar la arqueología, para poner en evidencia emplazamientos humanos ahora cubiertos por densa vegetación, especialmente en tierras bajas, en las que se registran abundantes lluvias. Con el método se han identificado más de 300 centros de civilización Maya. También la caza de huracanes con radar, aprovechando la correlación entre la rugosidad de la superficie oceánica -detectable por el sistema- y la velocidad del viento.

2.6.1 Observación de tiempo meteorológico.

La observación del tiempo meteorológico se soporta en satélites, pronósticos numéricos, modelos del clima y sondeos de la atmósfera con láser (para medir distancias aprovechando la reflexión de la luz sobre moléculas de aire, nubes, polvo y aerosoles). Los meteorólogos disponen en la actualidad de una red de imágenes de radar tomadas desde satélites, proyecciones por ordenador e informes actualizados al minuto, procedentes de estaciones claves distribuidas sobre un territorio. En los últimos modelos de satélite meteorológicos, las cámaras de televisión se han complementado con sensores multiespectrales en las regiones del infrarrojo y de las microondas, lo que ha ampliado el alcance de las aplicaciones -además de observación de nubes, se observa la corriente del Golfo, las corrientes ascendentes con carga biológica y las áreas cubiertas por hielo-.

2.6.2 Observación de los océanos.

La observación de los océanos, para evaluar su temperatura superficial, la producción marina primaria, la circulación oceánica, la cartografía de los fondos marinos y los hielos polares. En efecto, la temperatura de la superficie marina utilizando satélites meteorológicos NOAA en órbita polar -con bandas múltiples del infrarrojo- puede ser utilizada también para la observación de las corrientes marinas superficiales. Hasta ahora, el único medio con el que puede obtenerse información acerca de la producción marina primaria, es decir, el fitoplancton clave en la cadena alimenticia de éste ambiente, consiste en la detección a distancia, desde satélites, del color del océano

Las aguas superficiales experimentan marcadas variaciones en su color en función del contenido de materias suspendidas, tales como fitoplancton, lodos y contaminantes. Para la circulación oceánica se observan las olas superficiales que se visualizan en las imágenes de radar en forma de cambios periódicos de su tono. Las olas internas se reflejan por su efecto sobre la rugosidad de la superficie y las grandes corrientes asociadas a las olas internas modifican las olas superficiales al sobreponerse a las oscilaciones, agrupando sustancias oleosas y otros materiales, formando franjas lisas o rugosas por efectos de tensiones.

La topografía de la superficie oceánica se consigue con altimetría de radar desde satélites. Estos muestran grandes relieves y depresiones de hasta 180 metros, extendiéndose sobre amplias áreas y explicadas por anomalías de la gravedad en la vecindad de montañas, dorsales, depresiones y otras estructuras submarinas de masa variable, distribuidas de forma irregular sobre los fondos marinos. También para complementar las observaciones de las masas de hielo hechas desde satélites en órbita polar con espectros visible e infrarrojo el radar resulta conveniente, pues supera las dificultades aquellos en medios oscuros y con cubiertas de nubes.

2.6.3 La observación de la Tierra.

Hoy se obtienen mapas topográficos a partir de fotografías aéreas; para la hidrología se miden coberturas de nieve, mantos de hielo y obstrucciones de hielo en ríos, y áreas inundadas por avenidas asociadas a tormentas. En estudios ecológicos se hace factible la detección a distancia de los cambios medioambientales a escala global, aprovechando satélites con órbita geosincrónica. En estudios de deforestación los sensores multiespectrales (Landsat y SPOT), ofrecen unas posibilidades para el estudio de la vegetación terrestre que ningún otro medio puede proporcionar.

Para evaluar el desarrollo urbano las imágenes de satélite hacen factible la identificación de áreas urbanas, diferentes niveles de ocupación, tasas de crecimiento económico y demográfico, recursos naturales que administrar, áreas afectadas por contaminación y sus correspondientes tasas.

El índice de refracción de las manchas originadas por vertidos de petróleo y las características de radiación en la región del infrarrojo térmico de éste producto, son un buen ejemplo de la aplicación de ésta herramienta, útil también en la detección de otros contaminantes superficiales, como de aguas residuales no tratadas y contaminación atmosférica en áreas urbanas e industriales.

2.6.4 Cartografía de recursos minerales.

Los depósitos minerales se manifiestan de diversas maneras, la mayoría son inapreciables a simple vista pero sí detectables por variedad de sensores de longitudes de onda afuera del espectro visible.

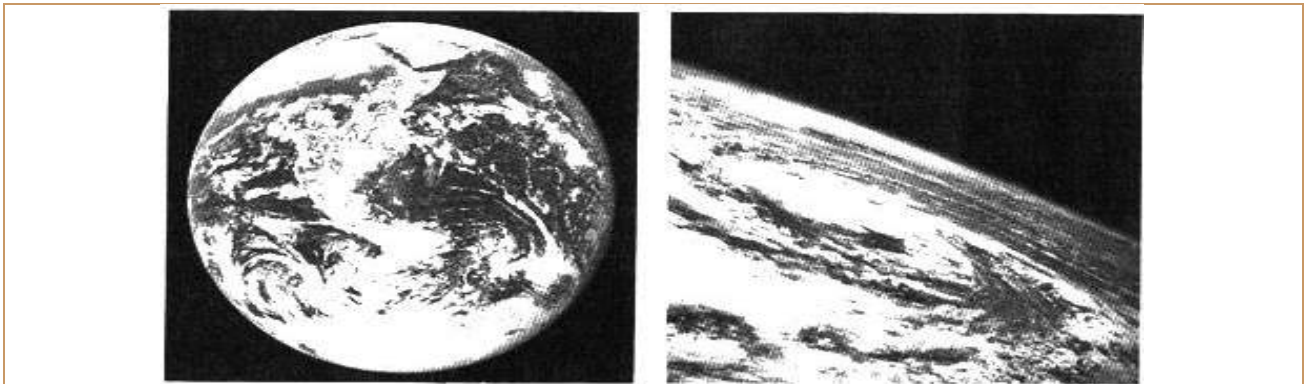


Figura 7. Imágenes desde el espacio: A. La Tierra vista desde la nave Apollo. B. Tormenta tropical a través de imagen Landsat. Tomado de Cosmos, Carl Sagan.

Con imágenes de satélite es posible perfilar fallas, zonas de fractura y contactos, que constituyen ámbitos en donde pueden encontrarse los criaderos minerales y que se reflejan en las imágenes de satélite como lineamientos de buen contraste. Rocas plegadas o domos que pueden constituirse en trampas de petróleo o gas, también son discernibles, como lo son depósitos y yacimientos metalíferos y no metalíferos por la decoloración de las rocas y anomalías en la vegetación anunciando su existencia en determinadas clases de suelos. Con el radar se pueden penetrar espesas capas de nubes y de cobertura vegetal para observar el terreno desde el espacio, lo que hace competitivo para regiones tropicales.

Las imágenes Landsat son de gran utilidad para levantar planos geológicos, debido a su cobertura regional con imágenes que abarcan 185 km. de lado. La combinación de datos multiespectrales puede hacer resaltar pequeñas diferencias en las propiedades de la superficie, con lo cual es factible la diferenciación de unidades geológicas basándose en su reflectancia y apoyando el proceso con el análisis de rugosidad superficial aportado por el radar. En la tectónica de placas, además de poner en evidencia anomalías térmicas ligadas a actividad ígnea en los márgenes de placas, es necesario medir la deriva de los continentes. El empleo del satélite Laser Range (LSR) y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), para determinar distancias, midiendo el tiempo que invierten los pulsos de luz en llegar al satélite y retornar a la estación terrestre, facilita medidas geodésicas, con errores de 50 mm en 500 km., a lo largo de los años.

2.6.5 Evaluación de recursos agrícolas.

Los planes de seguridad agroalimentaria suponen el flujo permanente de alimentos, y el alcance económico y físico a los mismos. Toda sociedad, ya se trate de una tribu primitiva o de una moderna cultura occidental, trata llegar al autoabastecimiento de sus necesidades básicas. Desafortunadamente para la mayor parte de la humanidad, la calidad de vida se ve afectada al dedicar esfuerzos para la obtención de alimentos con propósitos de subsistencia, y agotar recursos para atender otras necesidades.

El deterioro ecológico con ritmo creciente se manifiesta en la desaparición de bosques y tierras húmedas, en el agotamiento del suelo vegetal y en la desertificación. El proceso se acompaña de inadecuados métodos de riego, sobre explotación de acuíferos, y presión demográfica sobre escasos recursos alimenticios y otros recursos insuficientes.

Finalmente sobreviene la inestabilidad política y económica que agrava la situación. Es aquí donde la moderna tecnología y en especial la de los satélites de vigilancia, se constituye en una herramienta útil para obtención de información, sin la cuál el análisis y la solución de los problemas a escala mundial se hace difícil.

El desmonte y clareo de los terrenos, la evaluación de la desaparición de la capa superficial del suelo, la evaluación de áreas de sequía y de sistemas de regadío y la previsión de las épocas de hambre, son actividades que se soportan en la utilización de los sensores remotos.

2.6.6 Desastres.

Terremotos, erupciones volcánicas, grandes tormentas, inundaciones y guerras, generan áreas de desastre, donde los sistemas de información terrestre se interrumpen y para los cuales la evaluación global y oportuna de las pérdidas ocasionadas sólo se puede lograr con el apoyo de los sensores remotos.

Los satélites espías poseen un alto poder de resolución y hacen factible la escucha de comunicaciones por radio y la detección telemétrica de misiles. También permiten el cumplimiento de control de armamentos y se mantienen bajo control las actividades clandestinas. Esta tecnología al servicio de la humanidad con propósitos de mitigar los efectos de los desastres naturales, y de incorporar recursos para satisfacer las necesidades humanas, se traduce en un factor de estabilidad y desarrollo.

2.6.7 Detección del medio ambiente.

Como los objetos sobre la superficie de la Tierra interfieren con la radiación electromagnética emitida por el satélite, pueden darse fenómenos de reflexión, refracción, dispersión, absorción o reemisión. Cuando dicha radiación electromagnética es reemitida o reflejada, deberá atravesar de nuevo la atmósfera para que pueda ser captada por los sensores del satélite. No obstante, dado que la atmósfera contiene partículas tales como polvo, hollín y aerosoles, así como vapor de agua, bióxido de carbono y ozono, puede resultar alterada la intensidad y composición de la radiación.

La mayoría de los sensores electro-ópticos son dispositivos de barrido multiespectral. En estos dispositivos de barrido puede utilizarse un espejo que, con su rápida oscilación, dirige la radiación a través de un sistema óptico en donde los filtros la dividen en bandas espectrales individualizadas. La ventaja de recoger datos en distintas bandas espectrales estrechas, radica en que, al proceder al revelado, es posible diagnosticar determinadas características del terreno y variaciones experimentadas por los recursos naturales.

El tratamiento de los datos espectrales se digitaliza con el fin de identificar las pautas y resaltar al máximo los contrastes entre sus diversas clases o categorías. La transformación de los datos espectrales mediante el cálculo de relaciones o diferencias entre bandas espectrales, hace posible la cuantificación de ciertos parámetros o su representación numérica, que puede ser tratada por métodos matemáticos en los ordenadores.

En Colombia, el Ideam DEAM ha implementado el Sistema Nacional de Monitoreo soportado en información satelital, con el cual en su primer informe anual sobre Deforestación, Colombia registró que el nivel de deforestación de bosques naturales entre enero y diciembre de 2013, alcanzó a 120.933 hectáreas,

Si en general la mayor pérdida de bosque se localiza en los núcleos de Caquetá-Putumayo, Meta-Guaviare y el eje San José del Guaviare-Calamar, el Ideam también advierte sobre focos de tala de bosques concentrados en zonas claves para la biodiversidad del país, como la Amazonia Colombiana y el Parque Nacional Natural La Macarena.

2.7. DINÁMICAS Y CONTRA RUMBOS DEL DESARROLLO URBANO *

Desde su surgimiento, las ciudades han evolucionado con la sociedad que las habita: en América, Teotihuacán, la primera gran ciudad precolombina de Mesoamérica que surge hace dos mil años en México, adquiere su máximo desarrollo hacia el año 500 de nuestra era, cuando supera los 200 mil habitantes. Y en territorio Sudamericano con sus sociedades urbanas que por siglos aparecieron en suelo peruano, a mediados del siglo XV aparece Cuzco, la capital inca cuya trama urbana siguió las curvas de nivel para ajustarse al relieve y respetar el curso de los ríos.



Imagen 10. Machu Picchu. Martin St-Amant (2009), en <http://es.wikipedia.org/>

Al desarrollarse los calendarios, y con ellos la agricultura, gracias a la división del trabajo se da el surgimiento de los mercados, y la consecuente evolución de los medios de comunicación. Esa sociedad que cuenta con la escritura, crea las ciudades como escenarios aptos para establecerse, facilitando las actividades socioeconómicas propias de una economía compleja, soportada en actividades extractivas, agrícolas y comerciales, tal cual lo advertimos no sólo en las ciudades mayas con sus impresionantes monumentos de piedra y palacios de ladrillo cocido, decoradas con pinturas murales y adornos de estuco, sino también en las incas con sus trazados conformes con la topografía, donde establecieron sus magníficas edificaciones construidas en bloques de piedra pulida acoplada.

Más adelante, después del encuentro de los neolíticos del trigo y del maíz, en este continente, a lo largo de la Colonia y durante el alba de la República, nuestras ciudades, primero soportadas en la rígida retícula heredada del modelo castellano, con su plaza de armas invariablemente dominada en altura por el templo cristiano, aunque mantienen sus aires medievales, aplican las normas de Felipe II y de Carlos III para adaptarse a las demandas ambientales, adquiriendo para el efecto una morfología ventilada y soleada, que contempla calles estrechas en lugares cálidos para favorecer el sombreado, o calles anchas en tierra fría para facilitar la irradiación solar, dotando su trama urbana de variantes y características según el poblado fuese puerto, centro minero, resguardo, o núcleo administrativo y militar.

En Colombia seis décadas después de la fundación de Manizales, finalizadas las guerras civiles del siglo XIX, cuando la arriería cede paso a los vapores, cables y ferrocarriles cafeteros, conforme se empieza a consolidar una sociedad industrial gracias a la economía del café y a la electricidad como fuente motriz, se intensifican la producción en los medios urbanos y la inmigración, hasta que más adelante, con el advenimiento del automóvil crece la ciudad, para terminar concediéndole paso al transporte motorizado y a la jungla de concreto, dos hechos que si en conjunto ocasionan un nuevo modelo de ocupación del territorio periurbano, muestran la expansión en superficie y en altura de las ciudades, y otros paisajes que se corresponden con una estructura urbana social y espacialmente fraccionada, donde contrastan el centro urbano, los lujosos sectores residenciales y las barriadas para la clase obrera.

Pero hoy cuando declina la sociedad industrial, conforme surge la del conocimiento, estas ciudades y particularmente la nuestra, tienen que enfrentar profundos desafíos para resolver un modelo urbano conflictivo, relacionados con las presiones demográficas asociadas a desplazamientos y a dinámicas poblacionales generadas por la brecha de productividad entre ciudad y campo, con la fragmentación socio-espacial del hábitat, con la contaminación ambiental del medio urbano y rururbano, con una movilidad soportada en el uso desenfadado del automóvil, con la expansión incontrolada de la frontera urbana, con los riesgos geodinámicos causados por los eventos extremos propios del cambio climático, y con las falencias de la infraestructura de conectividad requerida para la integración regional, subregional y urbana.

Bajo dichos presupuestos, para lograr un medio transformado sustentable, el rumbo a seguir debería ser hacia una ciudad inteligente, educada e institucionalmente robusta, cuyos ciudadanos virtuosos y participativos configuren un tejido social sólido; una ciudad no energívora ni consumista, con un hábitat humano, verde y digno, dotada de una movilidad eficiente soportada en medios autónomos y de transporte público colectivo, que sea incluyente en su oferta de opciones de vida, e incorpore la ciencia, la tecnología y la cultura; una ciudad con identidad propia y con perspectiva de género, pensada para los niños y los ancianos, y donde todos vivamos felices.

* [Ref.: La Patria. Manizales, 2014.09.29]

2.8. PROSPECTIVA PARA EL DESARROLLO MAGDALENENSE

Posiblemente en La Dorada, como epicentro de intensas dinámicas económicas, sociales y ambientales del país, dado el valor estratégico de su ubicación sumado a la invaluable riqueza natural y cultural del Magdalena Centro, por las visionarias decisiones en materia energética sobre Miel II adoptadas por la actual administración departamental y los desarrollos de la infraestructura del transporte del país que inciden en ella, se estarían creando las condiciones para apalancar uno de los más promisorios escenarios urbano-regionales de Colombia y de los procesos de integración de Caldas, si se decide correctamente en materia de planificación urbana y con visión integracionista y de futuro.



Imagen 11. La Dorada en el entorno cambiante del río Magdalena. Web ladorada.gov.co

La cabecera porteña del oriente con sus devenires políticos y de orden público, habitada por ciudadanos de bien que de la mano del PDP-MC y otros líderes regionales enfrentan ahora la solución de los conflictos socio-ambientales más relevantes de su historia, empieza a brillar en el horizonte como el referente urbano de un territorio en construcción: el Magdalena Centro, un espacio geográfico localizado al sur del Magdalena Medio, sobre terrenos en jurisdicción de 17 municipios, del cual participan todos los del oriente de Caldas, San Miguel y Puerto Triunfo por Antioquia, Puerto Boyacá por Boyacá, y el noroccidente y centro-occidente de Cundinamarca, y en el que cabrían tres más del norte del Tolima, que son Fresno, Mariquita y Honda en virtud de sus pretéritas relaciones directas, así: con Manzanera en los asuntos de la colonización antioqueña, con Guaduas en los de la botánica de Mutis, y con La Dorada en la historia del río Magdalena, respectivamente.

El Magdalena Centro es la tierra de hamacas y chinchorros que comparte con el Magdalena Medio su historia de los vapores por el gran río, y con Cundinamarca y Tolima la de la Botánica de Mutis. Limita aquel por el norte con el Magdalena Medio, tierra de petróleo con Barranca como epicentro donde se escribe un capítulo de la historia energética de Colombia; por el este, con el fértil altiplano cundiboyacense de la capital cosmopolita, donde florece la República y se concentra el poder político y económico de Colombia; por el sur con el Tolima Grande, una de las regiones más féculdas de la Patria bañada por el Magdalena, donde resplandecen la "Ciudad Musical", la tierra de José Eustacio Rivera y el parque arqueológico de San Agustín; al noreste las montañas Antioqueñas, cuna de la cultura paisa que da origen a la Colonización Antioqueña, uno de los fenómenos sociales más importantes de nuestra historia; y por el oeste y suroeste el Eje Cafetero, con sus procesos de conurbación que podrían estructurar el eje Cali-Medellín para consolidar una ciudad región sin precedentes en el Pacífico latinoamericano.

La vertiente oriental del Magdalena Centro involucra tres zonas de vida: la alta cordillera con las féculas tierras de Marulanda, donde dominan el latifundio y los frágiles ecosistemas de páramo; el corredor de las cuencas medias donde la antioqueñidad fundó poblados y sus hijos armaron redes de caminos terciarios; y el fértil valle del Magdalena dotado de una infraestructura que favorece el desempeño de La Dorada. Y del otro lado del gran río, dos zonas de vida: la del propio valle del Magdalena que en Puerto Salgar y Puerto Boyacá también muestra la preeminencia económica, en su orden, de la ganadería, la agricultura y la pesca, y la del piedemonte cordillerano de la Cordillera Oriental donde la influencia del bosque seco del valle y del clima seco del altiplano, explican la relativa fertilidad de los suelos en poblados como Yacopi, Caparrapi, Chaguani, La Palma y Guaduas.

Cuando se consoliden la navegación por el Magdalena y el desarrollo hidroenergético, gracias a un recurso hídrico excedentario que exige buen manejo, detonará la industria en el entorno doradense para elevar el PIB de Caldas, lo que también obliga a mantener previsiones para incrementar el crecimiento en términos ambientales y sociales.

A modo de inventario, veamos el potencial natural que se suma a la riqueza cultural de la preciosa tierra: además de la oferta biótica por el continuo de pisos térmicos con variadas zonas de vida, humedales del Magdalena, ecosistemas de páramo, bosques secos y húmedos, sobresalen los suelos féculas del valle del Magdalena y de San Félix, puesto que los otros de la cuenca media Caldense tienen vocación forestal al aparecer lixiviados. De ahí las posibilidades del territorio en su conjunto para renglones como ganadería, piscicultura, avicultura, porcicultura, ovinocultura, y pesca, y para productos como café, caña panelera, caucho, papa, plátano, aguacate, maíz, yuca, algodón, frijol, cacao, legumbres, hortalizas y frutas de todos los climas. Y del subsuelo, hidrocarburos, energía geotérmica, uranio, carbón, mármol, calizas, caolín, asfaltos, esmeraldas, oro, plomo y zinc, aportados desde los flancos de las dos cordilleras.

[Ref: La Patria, Manizales, 2011-05-14]

2.9. REFLEXIONES SOBRE EL POT DE MANIZALES

Por la carencia de ideas más precisas que proyecten un futuro sustentable para Manizales, con enfoques más regionales, a pesar de los avances en planificación urbana respecto al POT anterior, y en especial en la componente rural del municipio donde lo ambiental alude al desarrollo social, al agua y a los necesarios corredores de conectividad para la biodiversidad, pero no a la cultura como factor fundamental para el desarrollo de bienes y servicios artesanales y no agroindustriales, por decisión del Honorable Concejo la saliente administración municipal le deja a la ciudad, un POT importante a revisar.

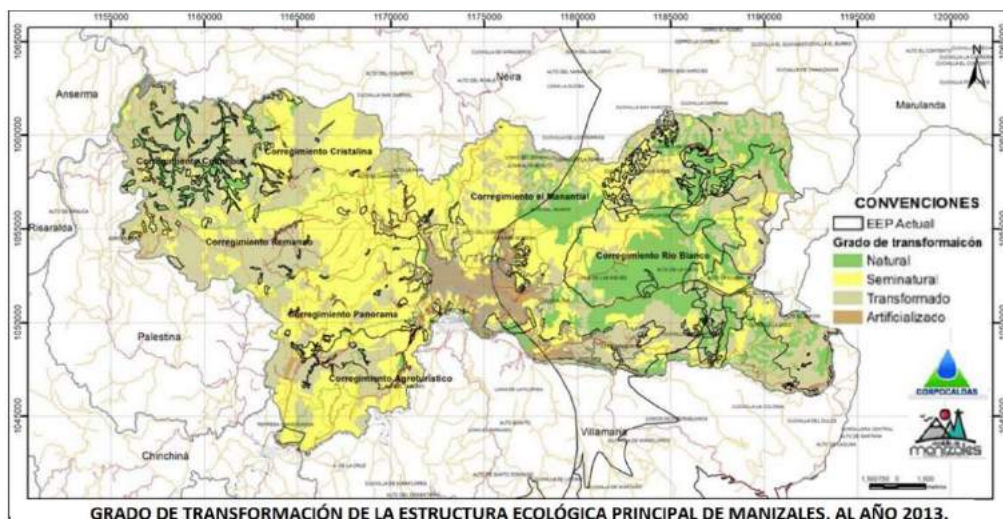


Imagen 12. Manizales: Transformaciones en la Estructura Ecológica Principal. Corpocaldas y Secretaría de Planeación Municipal.

Posiblemente gravitaron las críticas que ha presentado el Colectivo Subámonos al Bus del POT, centradas en aspectos socio-ambientales profundos, donde se recogen en parte propuestas presentadas en varios documentos y foros, dado que la propia Secretaría de Planeación en un hecho loable y sin precedentes programó ocho eventos para la participación de diferentes actores sociales y de la sociedad civil, buscando nutrir el interesante proceso. A continuación, resalto algunos aspectos del POT que ameritarían revisión.

1- El POT no consagró como política pública el cobro de la plusvalía urbana, proponiendo la creación de cargas compensatorias para la actividad urbanizadora en beneficio del municipio, al gravar a los actores que consuetudinariamente especulan con un modelo expansivo de ocupación de la “jungla de concreto” que va más allá de las propias necesidades de la ciudad. Posiblemente bajo el falso argumento de la escasez de suelo, se ha permitido que la plusvalía urbana continúe privatizada, además de presionar el bosque natural andino tal cual lo advertimos en Monte León, cuando está previsto que la población de Manizales apenas alcanzaría los 400 mil habitantes en la siguiente década. A modo de ejemplo, hacia la zona de La Aurora no se ha puesto límite a nuevos usos que entrarían en conflicto con la reserva de Río Blanco.

2- El POT no debería sostener un modelo urbano anacrónico, pensado para la sociedad industrial de ayer y para el automóvil, que inspirado en dinámicas económicas que no consultan las demandas socio-ambientales de la ciudad, además de concentrar la inversión social y productiva, sigue fragmentando espacial y socialmente la ciudad. El POT tiende a privilegiar la infraestructura vial para el transporte individual y para las grandes superficies de mercado, en lugar de propender por un hábitat sostenible, para una Manizales más humana, incluyente, segura y solidaria, al irrigar los beneficios del gasto público con más equipamiento verde, mejores medios para la movilidad autónoma, y más rutas para el transporte colectivo limpio, lo que en conjunto supone otro modelo urbano.

3- El POT debería hacer honor a su promesa de respetar las actuales zonas de reserva ambiental, cerrándole posibilidades a la explotación minera en la cuenca media-alta del Chinchiná, actividad que compromete la zona de amortiguamiento del PNN de los Nevados, y a los vertimientos industriales sobre la quebrada Manizales. Por todos es sabido que en Toldafría la canadiense Rio Novo avanza con un prospecto minero de mayor envergadura, afectando la Reserva forestal de CHEC y poniendo en riesgo los acuíferos de las quebradas La María, California y Romerales, afluentes del Chinchiná, cuenca compartida con Villamaría, que por desgracia aparece al lado de las de Marmato y Supía, y posiblemente de la del Guarinó, entre las que continúan estando afectadas por mercurio en Colombia.

4- El POT debería concretar una apuesta por la Ciudad Región, entre Pereira y Manizales, creando elementos para facilitar la construcción de sinergias económicas que apliquen la metodología de clúster urbano, además de acuerdos respecto a servicios públicos, a un sistema integrado de transporte para abrigar las potenciales Áreas Metropolitanas o sus equivalentes, a crear complementariedades entre AeroCAFÉ y Matecaña fundamentales para el Paisaje Cultural Cafetero y al desarrollo de un sistema de conectividad férrea para el transporte intermodal de carga, implementado una plataforma logística común para industrias minero-energéticas asociadas a corredores logísticos estratégicos para el país, como el Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41, el Puerto Multimodal de La Dorada y la extensión del Corredor Férreo del Cauca entre la Virginia y Urabá, propuestas de la UN-SMP que aún desconoce el nuevo Plan Maestro de Transporte Intermodal (2015). [Ref.: La Patria. Manizales, 2016-01-04]

EPÍLOGO: La agenda verde para el cambio climático, en Manizales:

1_ Declarar las Reservas FP de Río Blanco y CHEC, PNN, y establecer corredores biológicos obligatorios en los ríos y corrientes mayores, recuperando los cuerpos de agua ya afectados.

2_ Un programa de expansión de rutas, zonas verdes, parques y peatonales, que articule el Cerro Sancancio con el Bosque Popular y los eoparques y El Arenillo y Los Yarumos con Monte León y Nisa. 3_ Un Sistema de Transporte Integrado con alcance metropolitano, verde: con mas transporte público colectivo y mas ciclo rutas. 4_ Educación ambiental, fomento de la energía solar, restricción a vehículos contaminantes y apoyo a emprendimientos y empresas de desarrollos sostenibles. (Manizales, 24.01.2020.)

Soportes para la agenda propuesta <https://qodues.wordpress.com/2020/01/17/enlaces-a-temas-ambientales/>

2.10. ¿AJUSTES A LOCOMOTORA ENERGÉTICA DE COLOMBIA?

RESUMEN: El sector minero-energético colombiano es una de las locomotoras del país, necesaria para generar parte de sus rentas. En cuanto al petróleo, donde un hito histórico lo constituye la Reversión de Mares a estatal ECOPEPETROL (1951), para medir su importancia digamos que Colombia, la cuarta economía más grande de América Latina, tiene entre sus principales productos para exportación y consumo interno, el petróleo que es al tiempo el principal generador de renta externa, y los minerales y productos agrícolas. Y en relación al carbón, al igual que el Café, la “piedra negra” en Colombia ha sido por décadas, motor de desarrollo en varias regiones. Somos el principal productor de carbón en América Latina, y nuestro carbón representa el 10 por ciento del comercio mundial de este mineral, con el cual se genera aproximadamente 130.000 empleos directos formales en el país.

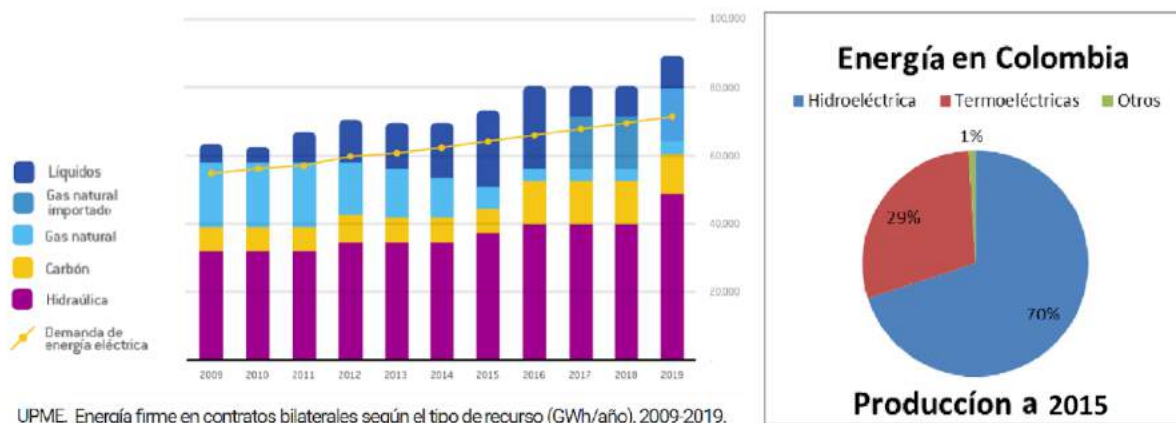


Imagen 13.: Energía en firme y Producción de energía, en Colombia al 2015. UPME

Tras cien años de haber descubierto el petróleo en Barranca y 69 años de nacionalizar nuestros hidrocarburos escribiendo así una página de oro en la historia empresarial del desarrollo económico de Colombia, al crear en 1951 la Empresa Colombia de Petróleos que luego será Ecopetrol, se logró consolidar un sector que hoy representa cerca de 5% del PIB Nacional. No obstante, el país sabe que ya no tendrá hallazgos como los de Caño Limón en los ochenta, o Cusiana y Cupiaga en los noventa, y que sus reservas de 1782 millones de barriles, equivalentes a 5,7 años de consumo, y las reservas probadas de gas cerrando el 2017 en 3896 giga-pies cúbicos que equivalen a 11,7 años de consumo, parecen obligar a que tengamos que recurrir al fracturamiento hidráulico, para extraer petróleo de los yacimientos bituminosos del Magdalena medio y piedemonte llanero.

Esta alternativa de alto riesgo por la contaminación de acuíferos y eventual inducción de sismos someros, si se emplea responsablemente en manos del Estado puede resultar confiable gracias a que aquella posee un desarrollo de 40 años, por lo que no debería descartarse: además de posibilitar los hidrocarburos requeridos para el financiamiento del gasto público y de multiplicar varias veces nuestro horizonte de autosuficiencia, manteniendo una producción del orden de 800 a 900 mil barriles diarios de petróleo, dicha política también resultaría compatible con los esfuerzos precedentes orientados a mantener actualizada tecnológicamente la Refinería de Barrancabermeja, donde se han hecho inversiones por unos U\$4000 millones en los últimos 8 años con el propósito de fortalecer la producción petroquímica, obteniendo resultados estratégicos reduciendo la importación de diésel al 50% e incrementar la producción de polietileno.

Si en los años cincuenta del siglo pasado, el país cafetero empieza a transitar la ruta de su industrialización gracias a la nacionalización del petróleo, hoy el desafío para Colombia con las reservas petroleras convencionales desabastecidas y el cambio climático acechando en contra del carbón, aunque Ecopetrol genera más del 60% de la producción nacional y el mineral disponible abunda, es aprovechar el margen temporal de estas fuentes, mientras emergen las energías renovables y reconvertimos el transporte. Para dimensionar la importancia del sector, si en 2016 Colombia exportó U\$32900 millones e importó U\$43200 millones, entre sus exportaciones sobresalieron: Petróleo Crudo (U\$8260 millones), Briquetas de carbón (U\$5440 millones) y Refinado de Petróleo (U\$1950 millones) y entre sus principales importaciones, el Refinado de Petróleo (U\$3,320 de millones). Como referente, El Café exportado valió U\$2570 millones.

Si en Colombia el sector que consume más energía es el transporte, como responsable de casi el 50% del total y la principal fuente de generación continúa siendo la hidráulica con cerca del 70%, seguida por la térmica con el 29%; y además, si nuestro arco del consumo energético al 2016, fue 38,7% petróleo, 25,8% hidroelectricidad, 23,1% gas natural, 11,2% carbón y 1,2% fuentes renovables; entonces, en un escenario de cambio climático y bajos precios del petróleo y el carbón, ¿cómo sortear las dificultades que se advierten en nuestro horizonte económico? Una opción podría ser implementar la locomotora del carbón andino como complemento, exportándolo para contribuir al presupuesto nacional y de paso hacer viable el transporte intermodal con la expansión ferroviaria, integrando la hidrovía del Magdalena y el Corredor férreo del Cauca llegando a Urabá.

Pese a que por el cambio climático, al 2050 deberá reducirse el 80% del consumo mundial de carbón, el 50% del gas natural y el 30% del petróleo, mientras el desarrollo tecnológico hace económicamente viables las fuentes alternas de energía, habrá que exportar nuestras enormes reservas carboníferas en los próximos 40 años, asunto viable gracias a que todo el mineral de Colombia es de alta calidad: esto, ya que poseemos cerca de 6700 Millones de Toneladas MT medidas- las mayores reservas de Latinoamérica-, y somos reconocidos por tener un carbón térmico de alta calidad, donde la magnitud de las existencias y poder calorífico por regiones, varían

así: en los yacimientos de la Región Caribe, el 90% y 6000 calorías por kilogramo cal/kg; en los distritos carboníferos de Cundinamarca, Boyacá y Santanderes, el 8% y 7000 cal/kg; y en Antioquia, Caldas, Valle y Cauca, donde los carbones son térmicos clase 1 A, el 2% y 5000 cal/kg. * [Ref.: La Patria. Manizales, 2018/09/10]

2.11. LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

La cultura es, en últimas, el resultado de un proceso humano de recolección y procesamiento de información útil para establecer el medio ambiente y garantizar la supervivencia. Pero lamentablemente la acción del hombre ha sido históricamente hostil hacia la naturaleza olvidando así su condición fundamental: si está en lucha con ella lo está consigo mismo (George, 1986).

En la perspectiva de un crecimiento demográfico, unido al deseo de un mejoramiento de la calidad de vida de la especie humana, parece anticiparse un sombrío panorama derivado de la reducción absoluta de los recursos naturales y de la reducción relativa de los recursos artificiales.

Así, para el año 2030, el hombre será víctima de dos mitos, el de la riqueza inagotable de la naturaleza y el de su facultad ilimitada de regeneración. También encontrará insuficiente el beneficio derivado de las tecnologías previstas a esa fecha: la informática, la biotecnología, los nuevos materiales, las nuevas fuentes de energía y los nuevos espacios (Duque, 1988).

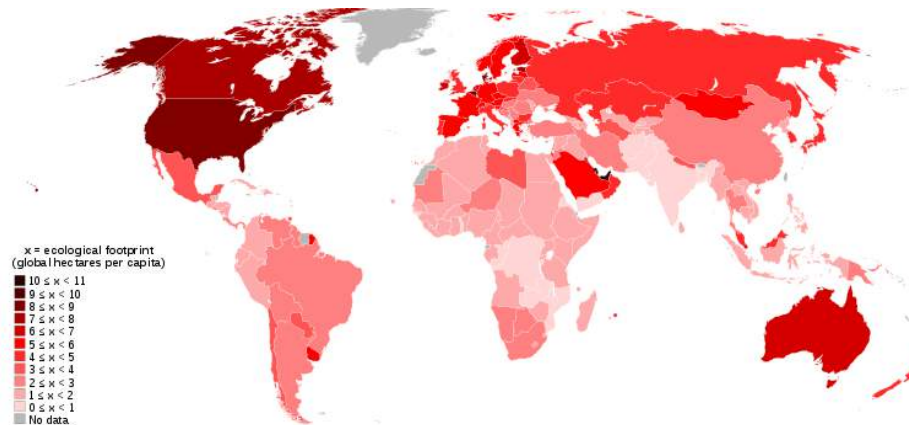


Imagen 14a. Huella Ecológica Mundial al 2007, por países: A nivel global, aunque se estima en 1,8 ha por habitante la capacidad biológica del planeta, en 2005 el per cápita alcanza entre 2 ha y 2,7. La huella depende del nivel de vida y modelo de desarrollo. Mapa HE (2007), en habitat.aq.upm.es

En los próximos cuarenta años, cuando el planeta alcance los 8.000 millones de habitantes, afrontará problemas sustanciales relacionados con energía, alimentos, vivienda y trabajo, cuya solución no podrá partir de la religión y de la técnica, sino de la cultura, la tecnología y la organización política, pero bajo el supuesto de un mundo más interconectado e interdependiente en lo económico. De las previsiones hechas surge de inmediato el problema del medio ambiente, porque, a pesar de las proezas de la ciencia y la técnica que posibilitan la transformación y el modelado de la naturaleza, la expansión de la especie humana tiene su límite natural trazado por las fronteras del Planeta azul y su propia fragilidad (George, 1986).

En el medio global se ponen en juego, suelo, agua y aire con las colectividades humanas, en una situación de relaciones dialécticas de acciones y reacciones recíprocas, que dependiendo del nivel de civilización y de la influencia del medio natural, sería un medio ambiente primordialmente obra de los hombres o bien, obra de la naturaleza. Cuando se crea el medio y los fenómenos naturales son huéspedes condicionantes de consecuencias y aplicaciones de las acciones e intervenciones humanas, la responsabilidad de los hombres toma un lugar decisivo. Contrariamente, si los factores naturales originales dominan el medio ambiente, el hombre, antes que ser amo de la naturaleza, sufre y destruye sin comprensión aunque sepa neutralizar, con destacado éxito, algunas de sus agresiones. En este medio ambiente, el suelo, o espacio para hombres, plantas y animales, tiene formas y potencialidades: el agua marina y continental se liga con un ciclo esencial para la vida y es medio o agente directo o indirecto de perjuicio, y el aire, en la máquina atmosférica, es sede del clima, es alimento y también medio o agente de beneficios y amenazas. Y es que los elementos del medio ambiente tienen su propia dinámica condicionada por las fuerzas que mueven el planeta y por las que rigen la vida de un grupo biológico, con la misma simbiosis y parasitismo. Por eso, objetivamente, el medio ambiente es un sistema de relaciones muy complejas con gran sensibilidad a la variación de uno solo de sus factores, que provoca reacciones en cadena; mientras, subjetivamente, el medio ambiente es un estado de conciencia donde se percibe la fragilidad del medio y la contingencia del medio ambiente (George, 1986).

Así nace la noción del límite a la acción humana que se debate entre la confianza a su capacidad creadora de un medio paranatural y la insensibilización frente a la gravedad de riesgos asociados a la acción antrópica y a las amenazas naturales. En resumen, un miedo a la crisis pone en entredicho la civilización o incluso la conservación de la especie. Partiendo de esa concepción que del medio tienen las colectividades humanas que lo ocupan y de la forma, tomándolo como base o vía de producción, desembocamos en el problema de la economía donde se le considera en función de su aptitud para producciones totales o por su calidad de ayuda en actividades generadoras de valores agregados según su extensión, fecundidad y posición (George, 1986).

Con ese enfoque, inevitablemente debemos abordar la problemática del medio ambiente en el terreno de la economía política para comprender en esencia la racionalidad del hombre que permite contaminar las aguas, cargar de impurezas el aire y acabar con los

suelos de cultivo y soporte del hábitat. El avance del modelo económico basado en una economía de mercado, permite, en el corto plazo, la privatización de los beneficios derivados de la explotación de los recursos, mientras los costos de esa explotación han de socializarse en el largo plazo para que los asuma el Estado o, en su defecto, la población, con el deterioro de su calidad de vida (Duque, 1989).

Que ríos del planeta sean nuestras cloacas donde se vierten desechos industriales y residenciales, que se talen en el mundo tres hectáreas de bosque por minuto, que se destruya con freones la capa de ozono, que en nuestros mares mueran bancos de coral o que los sectores urbanos con amenaza natural sean al tiempo las zonas subnormales de la ciudad, no es un problema relacionado con el nivel de desarrollo sino con el modelo de desarrollo que hemos adoptado (Carrizosa, 1990). Definitivamente no podemos olvidar que el agua limpia, el oxígeno y la fertilidad del suelo, no son el resultado de la acción humana, sino el resultado de la interacción de cientos de miles de especies de plantas, animales y microorganismos que componen nuestro ecosistema. Así, la calidad del ambiente depende de la estabilidad de los ecosistemas, hoy amenazados por el hombre que atenta contra la preservación y mantenimiento de la diversidad biológica y el equilibrio de la biosfera (El Tiempo 1990).

Si tan necesaria es la preservación de los suelos de cultivo, como la de los litorales y de todas las especies; si tan grave resulta el proceso de desertificación, como también la desastrosa contaminación del aire que calienta el clima, ¿Por qué nuestra actitud de consumismo, desperdicio e individualismo y por qué persistir en un modelo de desarrollo caracterizado por una vocación suicida? Nace entonces la propuesta alternativa de un modelo de desarrollo sostenible como exigencia de vida o muerte para la humanidad. Un desarrollo compatible con el mantenimiento de los procesos ecológicos, la diversidad biológica y los recursos biológicos. Un desarrollo que aumente el control que el hombre tiene sobre sus vidas y que rescate y fortalezca la identidad de la comunidad. Un desarrollo compatible con la cultura y los valores de los pueblos afectados. Un desarrollo de eficiencia económica con equidad dentro y entre generaciones (Carrizosa, 1990).

Ese complejo concepto, que incorpora los principios de sostenibilidad ecológica, sostenibilidad social, sostenibilidad cultural y sostenibilidad económica, define en sus metas una sociedad sostenible como una sociedad que satisface sus necesidades sin poner en peligro los prospectos de las futuras generaciones. También dicho concepto se constituye a la vez en fórmula para enfocar la solución a los futuros problemas de energía, alimentos, vivienda y trabajo, antes anunciados. Finalmente, como quiera que el problema del medio ambiente ya va entrando en el repertorio político, y ya la opinión pública, antes indiferente e inconsciente, reacciona apasionadamente contra amenazas y frustraciones de índole ambiental, resulta útil trazar los elementos de una política del medio ambiente, precisando sí, que para el cambio de actitud de los hombres y colectividades, se hace necesario el cambio hacia una mentalidad de desarrollo sostenible (El Tiempo 1990).

Los elementos básicos de esa política serían la educación y la información, como instrumentos de culturización y responsabilidad; la planeación explícita, como instrumento de prevención y regulación en el uso y manejo del medio y los recursos; la respuesta tecnológica, como instrumento de eficiencia y como resultado complementario para la debida transformación y modelado de la naturaleza; la organización comunitaria, como instrumento de adaptación y adecuación del sistema social con base democrática, y la acción legal y jurídica, como instrumento de legitimación y control de los derechos, deberes y acciones del hombre sobre el medio.

Las reflexiones anteriores no necesariamente satisfacen todos los puntos de vista de las corrientes ecologistas. Algunas persisten en la idea de reducir el problema ambiental a la cuestión ecológica, y no admiten el concepto de medio ambiente como el resultado de la interacción entre cultura y medio ecosistémico; posiblemente sea esta una perspectiva fácil de superar. Otra corriente aboga, no por un modelo de desarrollo sustentable, el que supone la explotación de la naturaleza por el hombre, sino por el ecodesarrollo, en el cual hombre y naturaleza armonizan. Evidentemente esta perspectiva viene cargada de todos los elementos de un paradigma.

Fuente: Desarrollo Sostenido en la Prospectiva de la Problemática Ambiental y la Supervivencia, GDE (1991). U. N. de Col. Bosques tropicales del mundo, en nicolebenefieldillmanees.weebly.com

...

2.11. HURACÁN IOTA: TIFÓN QUE ABATE SAN ANDRÉS.

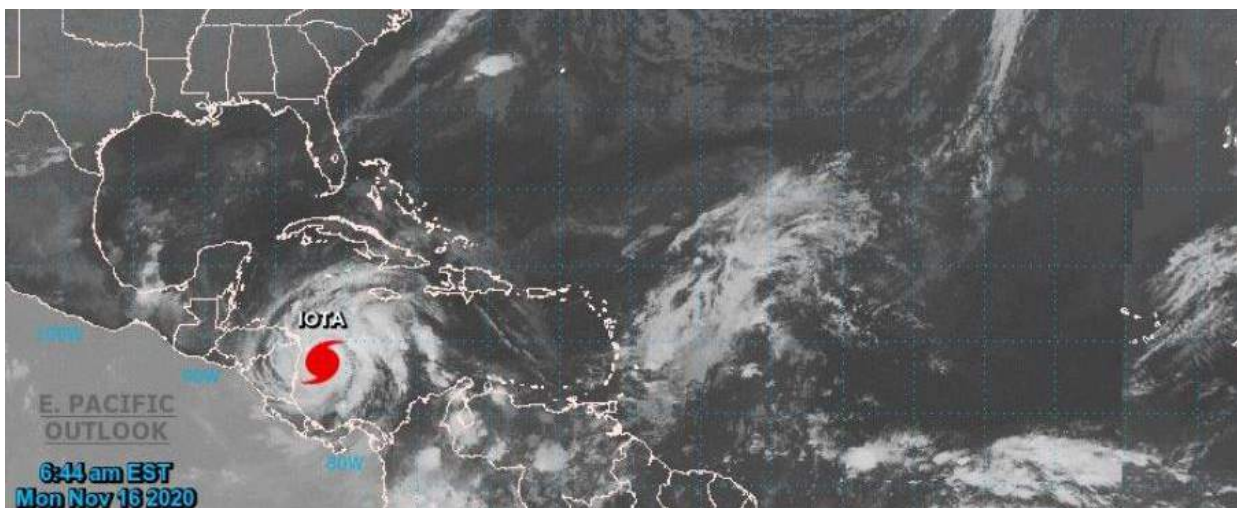


Imagen 14b1. Iota, rumbo a Centroamérica. Foto/ nhc.noaa.gov

El desastre de noviembre 16-17 pasado en San Andrés y Providencia por el huracán Iota, histórico por ser el primer evento de categoría 5 que se abate sobre el archipiélago colombiano ubicado en el Caribe, destruyendo el 80% de Providencia, hace imperioso volver sobre las amenazas hidrogeológicas y climatológicas que afectan a Colombia, exacerbadas por el cambio climático para examinar las medidas que debemos adoptar al mitigar sus riesgos.

Con su ojo transitando sobre los 13.5° de latitud N y 81.6° de longitud W, una presión mínima de 925 milibares, vientos sostenidos de 250 kilómetros por hora y ráfagas de 287 kilómetros por hora, en su desplazamiento a velocidad de 16 kilómetros por hora en dirección Este-Oeste, el huracán Iota se abatió sobre las islas Providencia, Santa Catalina y Banco Quitasueño.

Sabemos que fenómenos ciclónicos del Atlántico como éste, cuya ocurrencia históricamente con magnitudes 3 a 5 en la escala de Saffir-Simpson es de 2 eventos por año en promedio, además de dejar destrucción a su paso por el Caribe, también con sus brazos extendiéndose hasta 500 kilómetros desde el ojo del huracán, genera fenómenos colaterales en el norte de Colombia, al provocar con sus vientos y lluvias intensas: mar de leva, erosión costera, inundaciones y deslizamientos.

El departamento de San Andrés, único de Colombia sin territorio continental, está constituido por un archipiélago de islas con una superficie de 44 kilómetros cuadrados -donde habitan 80 mil compatriotas-, más cayos e islotes ubicados sobre una plataforma volcánica del Caribe suroccidental.

* Ciclones tropicales

Obsérvense la dirección Este-Oeste de Tifones y Huracanes, transitando por vecindades del Ecuador Terrestre, condicionada por aguas cálidas y la dirección E-W del viento. La trayectoria se explica por la fuerza de Coriolis, según la cual 1- no sólo las corrientes oceánicas bajando frías del polo Norte, para doblar en África hacia las Antillas donde llegan calientes, regresan por la costa Este de Norte América; y también subiendo del polo Sur frías hasta Perú y Ecuador, para doblar hacia Indonesia donde llegan cálidas, descienden por Oceanía al Antártico; y 2- sino que también, los remolinos formados en el aire y en el agua, igualmente giran todos en sentido directo en el hemisferio Norte, y todos en sentido retrógrado en el hemisferio Sur del planeta. Lo anterior, dado que la Tierra rota de Oeste a Este y que la fuerza centrífuga decrece con la Latitud, yendo del Ecuador a los polos.

Si bien gracias a la observación satelital el estudio de los ciclones tropicales permite elaborar pronósticos espacio-temporales, con días de anticipación y una probabilidad significativa, estos fenómenos que no son predecibles, desde la antigüedad fueron del interés humano, cuando la mitología griega los asociaba a la ira de los dioses.

Según el mito, Tifón hijo de Gea, un colosal y espeluznante monstruo alado, quien intentó destruir a Zeus en venganza por haber derrotado a los Titanes, además de erupcionar lava creó los huracanes con el batir de sus enormes alas. Para los griegos otros fenómenos como los terremotos ocurrían cuando Poseidón, el dios de los mares, hacía tambalear a Atlas, quien sostenía al mundo en sus hombros como castigo de Zeus.

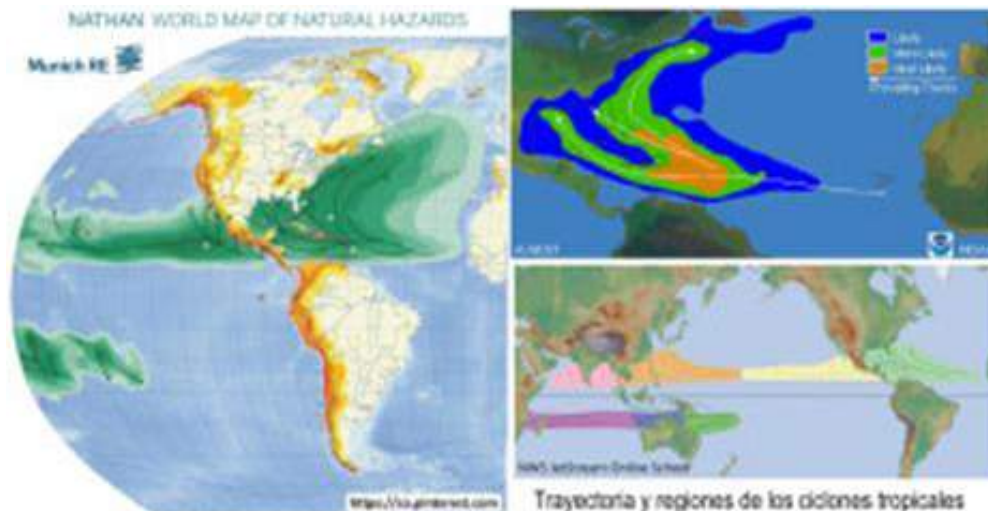


Imagen 14b2: Rutas predominantes y regiones de formación de ciclones tropicales. Fuentes: Munich RE; NOAA; NWS Jet Stream.

* La amenaza

El cambio climático del planeta explicando un aumento de la temperatura de 1,5°C a 2,5°C durante los próximos cincuenta años en tierras emergidas, según las características de las diferentes regiones de la Tierra, además de propiciar la ocurrencia de los eventos climáticos extremos durante las dos fases del ENSO, tal cual ocurre ahora con La Niña que está afectando a Colombia durante el actual invierno, también afectará los océanos y con ello la exacerbación en intensidad de los ciclones por el Caribe.

Es decir, el calentamiento global como factor de desastres hidrogeológicos, se traduce ahora en un cambio de la amenaza, provocando tormentas ciclónicas de mayor intensidad, lluvias inusuales y sequías severas, lo que se traducirá en inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, y degradación ambiental para los países ubicados en las rutas de los huracanes.

Cuadro: QUÉ HACER FRENTE A LOS HURACANES

ANTES: Elaborar un plan de contingencia de carácter participativo. Almacenar alimentos y agua. Cubrir ventanas y asegurar techos. Disponer de forma segura documentos importantes. Surtir medicamentos recetados. Elaborar directorio telefónico de contactos estratégicos. Encender la radio de pilas para recibir información. Limpiar azoteas, desagües, canales y coladeras. Podar ramas de árboles que amenacen daño. Preparar botiquín de primeros auxilios. Protege vidrios y cristales con cinta adhesiva. Realizar simulacro para ajustar el plan familiar de emergencias. Tener a la mano ropa de abrigo e impermeable. Atender directrices sobre planes para evacuaciones y refugios, incluidos los de las mascotas. Revisar el plan con los vecinos y hacer los ajustes necesarios.

DURANTE EL HURACÁN: Conservar la calma y tranquilizar a los familiares. Cerrar llaves de paso de gas y agua. Desconectar aparatos e interruptor de energía eléctrica. Mantenerse alejado de puertas y ventanas. Encender el radio de pilas para informarse. Prevenir el impacto de la tormenta eléctrica. Mantener el estado de alerta hasta el fin de la emergencia. Revisar acciones contempladas en el plan.

DESPUES: Verificar la seguridad del entorno afectado. Hacer lo propio con vecinos y amigos. Si tiene que evacuar, prepare un "kit listo para llevar" lo planeado. Asegúrese de seguir las recomendaciones de distanciamiento social por pandemia. Seguir recomendaciones de los Comités de Defensa Civil para protegerse a sí mismo y a las otras personas. Hacer ajustes post-emergencia al plan.

La intensidad de una tormenta ciclónica se califica desde 1 a 5 con la escala Saffir-Simpson – en función de la velocidad de sus vientos-, así: Cuando la categoría es 1, hay inundaciones en zonas costeras y daños menores en zonas urbanas por vientos entre 119 y 153 kilómetros por hora, y olas que pueden llegar a 1,5 metros de altura. En categoría 3, son vientos de 178 a 209 kilómetros por hora, y mareas de 2,7 a 3,7 metros. Cuando la categoría es 5, hay destrucción masiva de viviendas e infraestructuras con vientos sostenidos por encima de 250 kilómetros por hora, o por olas que pueden superar los 6 metros de altura.

*

Impactos de lota

El archipiélago, con un PIB de \$1,63 billones en 2019, movido por el turismo, por el gasto público y por el comercio, cuya participación es del 0,15% en el PIB total, reporta daños, así: en San Andrés, más de 1400 viviendas parcialmente destruidas, 60 establecimientos de comercio afectados, 110 alojamientos y 3 hoteles con algún tipo de afectación; en Providencia, donde habitan aproximadamente 6 mil personas, daño en el 98% de sus 1500 viviendas. Súmese a lo anterior la pérdida generalizada de playas ocasionada por el mar de leva.

A la problemática de la falta de agua y luz, a la escasez de comida y al daño en cultivos de caña, plátano, coco, sandía y otros productos transitorios afectados por el huracán, en un escenario en el que el 85,4% viviendas no tenían cobertura de acueducto ni alcantarillado -según el DANE-, se suma el daño funcional del hospital de Providencia, donde el alcalde Norberto Gari Hooker informa de una afectación en infraestructura del 98%, aunque sólo se registran dos personas fallecidas. El Gobierno declaró situación de desastre departamental en San Andrés, Providencia y Santa Catalina, por 12 meses prorrogables.

El costo del plan de acción y respuesta a esta emergencia y a la problemática de la pandemia, según el presidente Iván Duque -quien debió esperar en Cartagena para partir hacia el archipiélago, para atender la crisis más de 15 horas después del paso del huracán lota-, inicialmente se estima en \$135 mil millones, para acometer 118 acciones que incluyen remover escombros y restablecer servicios públicos esenciales, y proveer de forma acelerada la ayuda humanitaria, entre otras acciones de la fase de emergencia. No obstante, la reconstrucción en sí, que se esperaba duraría 100 días, será más costosa y demorada: el gobierno reconociendo luego que no hay una cuantificación suficiente de las pérdidas en materia de infraestructura, concluye que el tiempo sería mayor y planea invertir más de \$30.000 millones para el alcantarillado en San Andrés, además de \$150.000 millones adicionales para arreglar la infraestructura afectada.

*** Planeación preventiva.**

Sabemos que los daños potenciales asociados a huracanes, de conformidad con su intensidad, varían desde daños funcionales, y otros como los asociados a caída de árboles, objetos lanzados como proyectiles y afectaciones en tejados, ventanas o casas móviles y embarcaciones no amarradas, pasando por afectaciones estructurales de los edificios, al igual que por cultivos arrasados, y por efectos severos de tormentas eléctricas, flujos de lodo y deslizamientos, llegando hasta la destrucción total con pérdida de vidas.

Súmense las inundaciones en zonas costeras y tierra adentro, o incluso en plantas bajas de edificios cercanos del litoral, además de eventos hidrogeológicos, y de la erosión de bancales y playas, lo que conlleva a la pérdida de los frágiles ecosistemas costeros.

El primer elemento a considerar, además de la construcción de defensas frente a los eventos señalados, según se trate de un ambiente litoral y en montaña, es la ubicación de la vivienda en zonas de amenaza a huracanes: allí, además de contar con un mapa de amenazas potenciales a escala de detalle, señalando zonas aptas libres de amenaza severa por erosión, corrimiento de tierras, flujos de lodo y niveles de inundaciones, debe prohibirse o restringirse el uso conflictivo del suelo, además de obligarse al cumplimiento de normas constructivas seguras, contempladas en el código correspondiente. En el litoral la fuerza del oleaje obliga a considerar, además de muros con refuerzo y cimentación prever la amenaza de inundación; y frente al viento huracanado la ventaja de las viviendas de mampostería reforzada, la amenaza sobre techos no anclados y ventanas no blindadas, al igual que la caída de árboles e impacto de objetos portados por el viento a modo de proyectiles.

Sabemos que, en los ambientes costeros del Caribe, son frecuentes las edificaciones y viviendas con estructura ligera de madera, lo cual reduce las fuerzas sísmicas gracias al menor peso, pero no la vulnerabilidad al empuje del viento.

Por lo tanto, dada la fuerza del aire huracanado, se requieren conexiones dúctiles y ancladas en la envolvente, ya que el uso de muros reforzados en una construcción con envolvente de madera, puede ofrecer un comportamiento dúctil para prevenir grietas y fisuras. Adicionalmente, se debe emplear un sistema estructural redundante, dotando los edificios de envolvente de madera, que verticalmente involucre al techo y a nivel horizontal confine perimetralmente la estructura por la parte alta y sujete la estructura al piso, aprovechando para esto además de un sistema de anclaje, los encuadres repetitivos por estar ensamblados con múltiples conectores, que proporcionan vías de carga múltiples y a menudo redundantes para la resistencia a las fuerzas dinámicas. Además, los paneles de estructura de madera deben quedar debidamente unidos a la envolvente de madera, techo y pared, formando diafragmas y paredes cortantes para resistir estas fuerzas dinámicas del viento. Los códigos también establecen requisitos mínimos de sujeción para la interconexión de miembros repetitivos del entramado de madera, aplicables para la construcción de la envolvente estructural. Fuente: Razón Pública, 23-11-2020. Bogotá.

Lecturas complementarias

El Universo acelerado.

Se ha otorgado el Nobel de Física 2011, a los estadounidenses Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Riess, por las pruebas sobre la expansión acelerada del Universo. Para Newton la evidencia de un Universo infinito, se soportaba en que, de tener límites, existiría un centro de gravedad en torno al cual estuviese colapsando. Pero hoy cuando se tienen evidencias de su origen, también se encuentran la de una expansión que la gravedad no logra contener.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8295/gonzaloduqueescobar.201169.pdf>

El Bosón de Higgs.

Posiblemente ninguna experiencia puede resultar más conmovedora en el mundo físico, que sumergirse en la inmensidad del Universo o en el enigmático mundo subatómico. Entre esas pequeñas piezas del mundo subatómico al que pertenecen electrones y neutrinos, está el bosón de Higgs que es la clave para explicar los orígenes de la masa de estas partículas elementales, ahora capturado mediante investigaciones experimentales del LHC.

Ver en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9976/gonzaloduqueescobar.201231.pdf>

Elementos de astrofísica y las estrellas.

Las siguientes notas, soportadas en dos capítulos de la Guía Astronómica contienen una revisión general, de carácter cualitativo y divulgativo, con estos dos temas afines, que nos permiten conocer el Universo, desde las concepciones sobre la materia y la energía, pasando por los métodos para su estudio, hasta la evolución estelar y la cosmología moderna, para terminar en la relatividad general y la materia y energía oscura, algo de cuya naturaleza no conoce la ciencia pese a la evidencia fenomenológica que la delata

Ver en: <https://alejandria-d.unal.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/121/astrofiscayestrellas.pdf>

El desarrollo urbano y económico del Eje Cafetero.

De conformidad con las dinámicas del PIB y la grave fragmentación social y espacial del territorio, donde se advierten el rezago regional y de la economía local, y el empobrecimiento de los medios rurales de la Ecorregión, Manizales está urgida de un nuevo modelo urbano más verde e incluyente y con "crecimiento hacia adentro", para lo cual debe descentralizar la infraestructura social y económica, y aplicar estrategias regionales para conurbar su territorio. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55500/eldesarrollourbanoyeconomicodemanzales.pdf>

ENLACES ASTRONÓMICOS Y AFINES.

<p><u>Acuerdo Climático necesario pero insuficiente.</u> <u>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</u> <u>Astronomía en América Precolombina.</u> <u>Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.</u> <u>Cien años el universo relativista de Einstein.</u> <u>Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND.</u> <u>Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.</u> <u>Clima: las heladas en Colombia.</u> <u>Colombia, por un desarrollo satelital.</u> <u>Cultura y Astronomía (CyA)</u> <u>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</u> <u>Día del Medio Ambiente: El Universo.</u> <u>El Bosón de Higgs.</u> <u>El camino a las estrellas.</u> <u>El misterioso lado oscuro del universo.</u></p>	<p><u>El Universo.</u> <u>Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</u> <u>El Universo acelerado.</u> <u>El camino a las estrellas.</u> <u>Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</u> <u>F J de Caldas y J Garavito Armero.</u> <u>Guía astronómica.</u> <u>Historia de la Astronomía: Edad Media y Renacimiento.</u> <u>Isaac Newton: de Grecia al Renacimiento.</u> <u>Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar.</u> <u>La astronomía en América Precolombina: mayas, aztecas e incas.</u> <u>La astronomía en Colombia: perfil histórico.</u> <u>La cosmología de Stephen Hawking.</u> <u>La Luna.</u> <u>Los albores de la civilización.</u> <u>Los seis eclipses del 2020.</u> <u>Misiones Galileo y Cassini: viaje a los planetas Jovianos.</u></p>	<p><u>Mecánica Planetaria.</u> <u>Misiones Galileo y Cassini a los Planetas Jovianos.</u> <u>Modelo académico para el Planetario de Manizales.</u> <u>Nobel de Física a tres astrónomos.</u> <u>Observación del Cielo y Carta Celeste.</u> <u>Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.</u> <u>Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.</u> <u>Problema "ALEPH": planteamiento topográfico.</u> <u>Protagonistas de la astronomía.</u> <u>Sondas a planetas mayores del Sistema Solar.</u> <u>Sol, lunas y planetas. Periplo científico de Humboldt por América.</u> <u>Sol, clima y calentamiento global.</u> <u>Sol Lunas y Planetas del Sistema Solar.</u> <u>Tiempo y Calendarios.</u> <u>Tres décadas del Hubble.</u></p>
--	--	--

.....

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

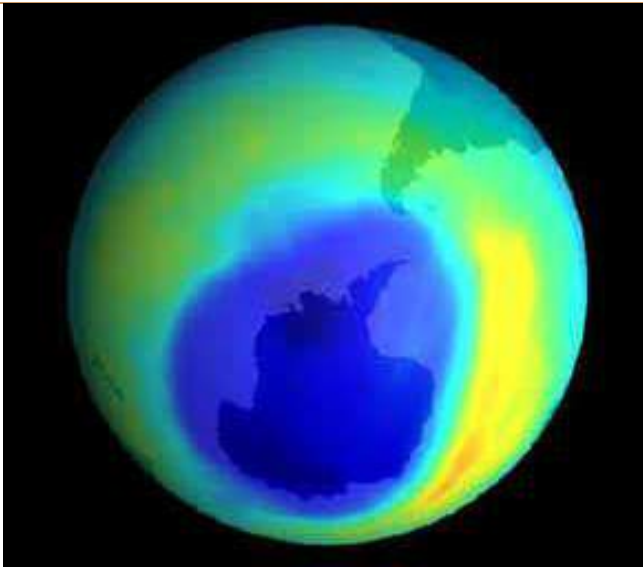
<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Agujero en ozono sobre la Antártida. ECOPORTAL

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 03

EL SISTEMA SOLAR

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

3.1. EL SISTEMA SOLAR

Está constituido por el Sol, 9 planetas, cerca de un centenar de satélites, 30 asteroides mayores entre unos 2 mil catalogados y 100 mil millones de cometas a los cuales se deben añadir nubes de gas y polvo. Al formarse el remolino primogénito, los elementos más pesados se ubicaron en el centro y los más livianos en la periferia, permitiendo de esta manera la formación de planetas rocosos en el centro y gaseosos hacia afuera. La localización del sistema solar en la galaxia y la de la Tierra en este, han sido favorables para el desarrollo de la vida. Esto apunta a las condiciones biofísicas y a la cantidad y proporción de los elementos complejos.

3.1.1 El Sol. El Sol es una estrella en cuyo interior se dan reacciones termonucleares. Tiene una composición del 70% de H, 27% de He y 3% de otros elementos; su masa de 2×10^{27} Ton (332270 veces la de la Tierra) y su radio de 1.39×10^6 Km. (109 veces el de la Tierra), explican una aceleración de la gravedad en su superficie de 2.74×10^4 cm/seg² (27.9 veces la terrestre).

La rotación es diferencial, así: período ecuatorial de 25 días y período polar de 30 días. La radiación solar de emisión es de 3.8×10^{23} Kw y la recibida en la Tierra de sólo 1.7×10^{14} Kw.

El Sol se mueve con relación al patrón local o de reposo (grupo de estrellas cercanas), a 20 Km./seg en dirección a Hércules (punto llamado APEX, cerca a Vega de la Lira). La temperatura superficial varía desde 5000°C en las manchas solares a 6000°C en la fotosfera, mientras en el núcleo es superior a los 10 millones de °C. Su densidad es de 100 g/cm³ en el núcleo y en el conjunto del astro de 1,41 g/cm³

3.1.2 La Tierra. Su figura es parecida a la de una esfera de radio, $r = 6370$ Km., la masa de la Tierra es, $m = 5,976 \times 10^{27}$ g, y su velocidad angular de rotación es, $w = 7,292115 \times 10^{-5}$ s⁻¹. No obstante, y a causa de la rotación del planeta sobre su propio eje, dada su masa, el planeta sufre el achatamiento de 1:297. La densidad media del planeta es 5,5 g/cm³.

3.1.2.1 Leyes de Keppler (1571-1630). Son las leyes enunciadas sobre el movimiento planetario continuo, y que son de gran utilidad para describir la distancia relativa entre los cuerpos celestes, las posiciones planetarias y en general el movimiento de cualquier cuerpo puntual alrededor de un centro de atracción gravitacional.

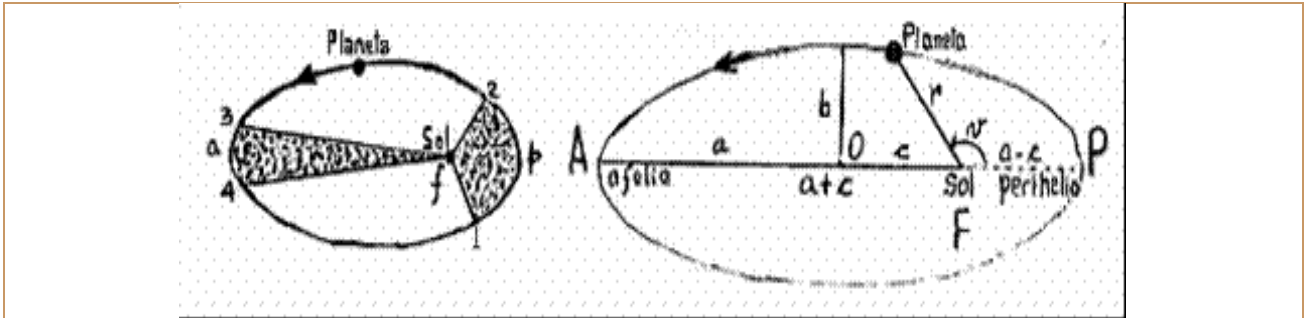


Figura 8A. Órbita elíptica de un planeta en torno al Sol. En sombreado se ilustra la ley de las áreas; además el Sol ocupa uno de los focos de la elipse. Adaptado de Eduardo Brieva, Introducción a la Astronomía.

1. Las órbitas de los planetas alrededor del Sol son elípticas; el Sol ocupa uno de los focos. La distancia planeta-Sol, es menor en el perihelio y mayor en el afelio.
2. El radio-vector que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales, por tanto la velocidad en el perihelio es mayor que en el afelio.
3. Si tomamos dos planetas con sus correspondientes períodos de revolución alrededor del Sol y las distancias medias respecto a él, los cuadrados de los períodos de revolución, T, son proporcionales a los cubos de dichas distancias, R.

$$T_1^2/T_2^2 = R_1^3/R_2^3$$

La Tierra describe su órbita sobre un plano llamado la eclíptica. Su eje de rotación está inclinado $23^\circ 27'$ respecto de la perpendicular a la eclíptica. Recorre la órbita en 365.26 días. La órbita tiene una excentricidad de 0.017. El afelio es el 2 de julio y el perihelio el 2 de enero. Por la inclinación del eje polar, existen estaciones en el norte, así: solsticio de verano el 21 de junio y de invierno el 22 de diciembre y equinoccio, de primavera el 21 de marzo y de otoño el 23 de septiembre. En el hemisferio sur, se invierten las fechas.

En el sistema solar las órbitas de los planetas son casi coplanares, las de menos son Mercurio con 7° y Plutón con 17° . La rotación y la traslación, por regla general, son del W al E; es decir, son retrógradas respecto a la estrella polar. En la rotación son excepción Venus y Urano, que la hacen en sentido directo.

3.1.3 Planetas terrestres o interiores. Son los planetas comprendidos entre el Sol y el cinturón de asteroides. En su orden son: Mercurio, Venus, Tierra y Marte, planetas duros y sólidos, de pequeño diámetro y baja gravedad, por lo que su atmósfera resulta poco densa y poco extensa. La rotación sobre su eje (día) es larga.

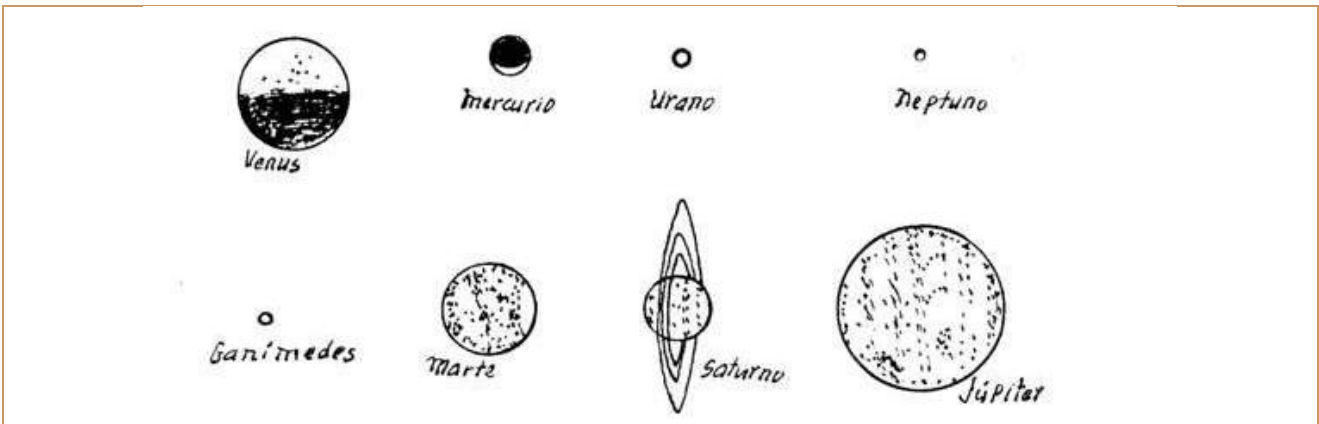


Figura 8B. Planetas del sistema solar. Tamaños relativos de las imágenes que ofrecen, vistos en condición favorable desde la Tierra. Fuente: [Guía astronómica](#).

3.1.4 Planetas mayores o exteriores. Los planetas gigantes, después del cinturón de asteroides, son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, sigue Plutón que es la excepción, por sus características: En la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (2006) se le consideró un planeta enano del Sistema Solar, creándose una nueva categoría llamada plutoide, en la que se incluye a Plutón, por ser el prototipo de una categoría de objetos transneptunianos denominada plutinos.

Aunque tienen gran masa son de baja densidad; mayoritariamente son líquidos y gaseosos aunque poseen un pequeño núcleo sólido. La atmósfera es extensa, compuesta de H, He, agua, Amoníaco y Metano; tienen alta velocidad de rotación (día corto) y muchos satélites (el de menos Neptuno), además de anillos.

3.1.5 Los satélites (lunas). La observación de Fobos y Deimos, en Marte, anuncia que parecen capturados por su forma irregular y pequeño tamaño; ello ha permitido clasificar los satélites así:

3.1.5.1 Satélites regulares. Los que tienen órbita circular, rotación y traslación W al E (retrógrada) y una órbita poco inclinada (casi coplanar con la del sistema solar). Dichos satélites y el planeta son congénitos.

3.1.5.2 Satélites Irregulares. De órbita extremadamente excéntrica y de plano muy inclinado, con rotación y traslación E al W (directa); estos satélites se asocian a asteroides capturados.

Nuestro satélite es la Luna, un satélite regular cuyos períodos de rotación y traslación son iguales, razón por la cual la Luna siempre muestra la misma cara a la Tierra. La Tierra y la Luna podrían considerarse de alguna manera como un sistema doble. Observe estos datos: Diámetro lunar 27% del terrestre, superficie 7.4%, de la de la Tierra, volumen 2.0% de la de la Tierra, masa 1.2% de la de la Tierra, gravedad 16.6% de la de la Tierra.

Por la falta de atmósfera e hidrosfera en la Luna, como consecuencia de su escasa gravedad, entre la cara diurna y nocturna la temperatura pasa de +100 °C a -170 °C.

La conformación de su superficie está condicionada por procesos térmicos internos, volcánicos, tectónicos, magmáticos e impactos meteóricos. Si bien la edad de la Luna y su condición de satélite regular anuncian su carácter congénito con la Tierra, la inclinación del ecuador terrestre (23° ½) respecto de la eclíptica serían argumentos a favor de una tesis a favor de su origen catastrófico, asociado a un cataclismo sufrido por la Tierra en su pasado remoto.

Las mareas, surgen del efecto gravitacional combinado, ejercido por la Luna y el Sol, tal cual se muestra en la Figura 10., atracción que varía según las fases de la Luna, lo que afecta las masas fluidas de la atmósfera e hidrosfera, como también a las rocas del manto con su comportamiento plástico a gran escala.

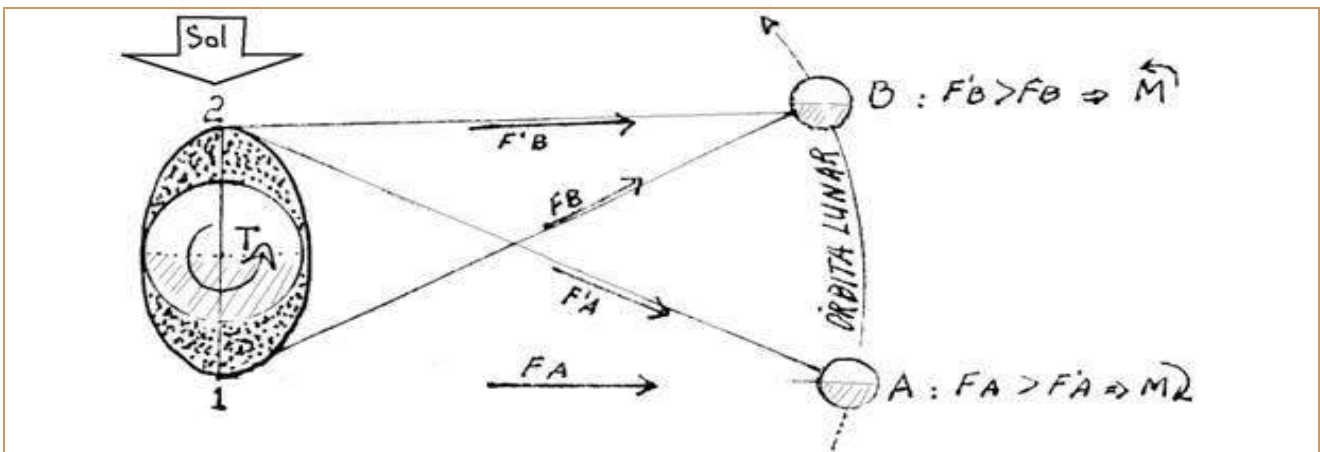


Figura 8C. Efecto de marea sobre el planeta Tierra. Las masas 1 y 2 son atraídas en A y en B, con diferente fuerza. Por ello a lo largo del mes se genera un momento, contrario en A y favorable en B a la rotación de la Tierra (vista desde el Polo Norte). La duración del día de modo diferente en cada caso según el sentido del torque que se muestra en T. Fuente: [Guía astronómica](#).

3.1.6 Los asteroides y Cinturón de Cuiper. Hoy en día se conocen 2300 asteroides con exactitud para especificar su órbita, pero se han descubierto más de 7000 planetoides o pequeños planetas. Los asteroides son bloques de roca en bruto con densidad media de 3,5 g/cm³, y de forma irregular, transitan en una órbita interior a la de Neptuno. Los mayores en tamaño son Ceres, de 1003 Km.; Pallas, de 608 Km.; Juno, de 247 Km., y Vesta de 538 Km. (magnitudes en km. de diámetro equivalente). Se distinguen tres grupos principales de asteroides: el grupo APOLO, de pequeña órbita y por lo tanto con un perihelio entre el Sol y la Tierra; el grupo AMOR, de órbita mayor cuyo perihelio está entre la Tierra y Marte, y finalmente los TROYANOS, que son los subgrupos Aquiles y Patroclo ubicados sobre las distancias Lagrangeanas ($a \pm 60^\circ$), sobre la órbita de Júpiter donde están libres de perturbaciones gravitacionales.

El **cinturón de Kuiper** lo constituye un conjunto de cuerpos cometarios transneptunianos, que orbitan alrededor del Sol a una distancia de entre 30 y 100 Unidades Astronómicas UA. UA es una Unidad Astronómica UA, equivalente a la distancia media entre la Tierra y el Sol, cuyo valor es 150 millones de km.

3.1.7 Los cometas y la Nube de Oort. Pueden ser periódicos y no periódicos; los primeros tienen varios retornos, los segundos caen al Sol o a Júpiter, o simplemente dan un paso y salen del sistema solar. Los primeros se dividen en los de período corto y período largo, según éste sea inferior o superior a 200 años. Están compuestos de un núcleo (de Metano, CO₂, hielo sucio y amoníaco) y una cola (sublimación del núcleo por radiación solar en la que las partículas del núcleo se disocian formando polvo, H, O, cianuro, etc., pero ionizados).

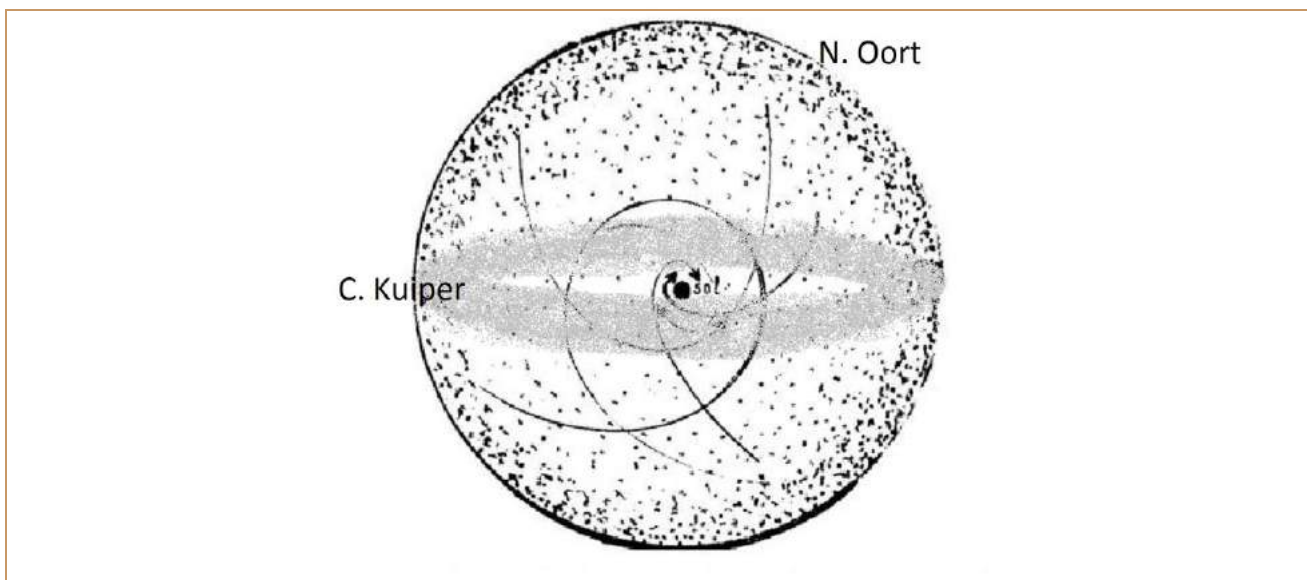


Figura 8D. Nube de Oort y Cinturón de Kuiper. La Nube de Oort, es un vasto halo que se extiende sobre distancias entre 30.000 y 100.000 U.A. constituido por cuerpos que originan los cometas de período largo, que giran en torno al Sol a una distancia de unos dos años luz. Ya sobre el plano planetario, a partir de unas 30 U.A., aparece un disco circunestelar denominado Cinturón de Kuiper, también constituido por cuerpos de hielo, fuente de los cometas de período corto. Fuente: [Guía astronómica.](#)

La Nube de Oort ubicada entre 100 mil y 200 mil UA (Alfa del Centauro dista 275000 UA), es el remanente del disco protoplanetario que se formó alrededor del Sol hace 4,6 miles de millones de años. La nube exterior se encuentra muy poco ligada al Sol, y es la fuente de la mayor parte de los cometas de período largo, mientras que el Cinturón de Kuiper, localizado más allá de la órbita de Neptuno, a una distancia entre 30 y 50 UA, provee los cometas de período corto.

Se supone que dichos cuerpos celestes constituidos por hielo, polvo y rocas, al resultar capturados por el Sistema Solar gracias a perturbaciones gravitatorias de estrellas vecinas y pasajeras, caen al Sol siguiendo diferentes trayectorias elípticas, parabólicas o hiperbólicas.

Cuadro 2. Distancia a los planetas en unidades astronómicas

Dist. del Sol a	Mer	Ven	Tie	Mar	Ast	Jup	Sat	Ura	Nep	Plu*
Serie	0	3	6	12	24	48	96	192	384	768
Constante	+4	+4 -0,7	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4
Suma÷10= dist.	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Según Boode	0,4		1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6	38,8	77,2
Valor real UA	0.39	0.72	1.00	1.52	---	5.20	9.54	19.2	30.0	39.3

Gonzalo Duque E. Guía Astronómica, Universidad Nacional, 1992. *Planeta Menor

Para calcular en UA la distancia entre los miembros del sistema solar, a la serie 0, 3, 6, 12... Boode sumó 4 y dividió por 10 el resultado. Se muestran a continuación en unidades astronómicas, la distancia según Boode y la distancia media real, desde al Sol a cada uno de los planetas.

3.1.7.1 Velocidades de escape. Son las velocidades cósmicas. La primera velocidad es la necesaria para que un cuerpo orbite en un campo de gravedad con trayectoria elíptica, y la segunda, para que escape de él con trayectoria hiperbólica. De la segunda velocidad, de escape, depende que un cuerpo celeste tenga atmósfera, pues semejante valor se compara con la velocidad térmica de las moléculas de gas, dada por la siguiente expresión que involucra la temperatura ambiental T:

$$v = \sqrt{kT/m}$$

Mientras la segunda velocidad, de escape, en la Tierra es 11,2

Km./seg, las velocidades de las moléculas de distintos gases a 300°K de temperatura, son menores: la velocidad térmica de las moléculas de hidrógeno es 1,1 Km./s; la de helio, 0,8 Km./seg, y las de nitrógeno y oxígeno, próxima a 0,3 Km./s. Esto quiere decir que la Tierra puede retener en su atmósfera cualquier gas, pues su gravedad es suficiente para retener moléculas que a la temperatura media de la atmósfera terrestre alcanzan velocidades por debajo de la primera velocidad de escape.

La primera y segunda velocidad de escape son de la forma:

$$v_1 = \sqrt{gR}$$

$$v_2 = \sqrt{2gR}$$

$$v_2 = v_1\sqrt{2}$$

Siendo g el campo de gravedad y R la distancia media del cuerpo que órbita al centro de masa. La diferencia entre la primera y la

segunda expresión es la raíz de dos, razón por la cual en la tercera expresión se expresa una en función de la otra.

Sea el momento para describir los ambientes que pueden posibilitar las atmósferas de los planetas del sistema solar, en términos de las principales variables físicas relevantes para la vida como la conocemos en la Tierra. Se incluye a la Luna como escenario estratégico para la logística y la investigación espacial. Los valores de la siguiente tabla también explican aspectos de los océanos y montañas en los planetas, particularmente la temperatura y la gravedad.

Cuadro 3. Las atmósferas y las gravedades de los cuerpos del sistema solar.

Cuerpo	Radio (m)	Gravedad Tierra=1	Densidad Tierra=1	Temp. (K)	Composición Atmósfera
Sol	7,0 x 10 ⁸	27,90	0,25	5780	e ⁻ , H ⁺ , H, He
Mercurio	2,4 x 10 ⁶	0,39	0,98	400	Despreciable
Venus	6,1 x 10 ⁶	0,88	0,95	290	CO ₂ , N ₂ , SO ₂
Tierra	6,4 x 10 ⁶	1,00	1,00	250	N ₂ , O ₂ , H ₂ O
Luna	1,7 x 10 ⁶	0,16	0,61	250	No hay
Marte	3,4 x 10 ⁶	0,38	0,71	200	CO ₂ , N ₂
Júpiter	7,1 x 10 ⁷	2,34	0,24	110	H ₂ , He, CH ₄
Saturno	6,0 x 10 ⁷	0,93	0,125	80	H ₂ , He, CH ₄
Titán	2,6 x 10 ⁶	0,13	0,34	80	N ₂ , CH ₄
Urano	2,5 x 10 ⁷	0,79	0,216	55	H ₂ , He
Neptuno	2,2 x 10 ⁷	1,09	0,286	45	H ₂ , He
Plutón	1,4 x 10 ⁶	0,06	0,36	40	Despreciable?

A. Bialko. Nuestro planeta la Tierra, MIR, 1989.

El Sol es una esfera gaseosa en su totalidad, cuya atmósfera tiene electrones (e⁻) y núcleos de hidrógeno (H), o sea, protones. Siguen al Hidrógeno en cantidad los núcleos de helio (He). Al considerar la composición del Sol en función del número de átomos y no de la masa, es probable que de cada 1000 átomos del Sol, 920 sean de Hidrógeno y 80 de Helio.

Si Mercurio, prácticamente no tiene atmósfera (la aceleración de la gravedad y la velocidad de escape son tan pequeñas), Venus, tiene una atmósfera importante de CO₂ y N₂, sobre la tierra firme, lo que atenúa las variaciones diurnas y nocturnas de la atmósfera. Titán, con un tamaño comparable a Mercurio, tiene menor gravedad pero alcanza a tener atmósfera, a causa de la menor temperatura.

Igualmente la Tierra, tiene una atmósfera importante sobre el océano y la tierra firme, compuesta de N₂, O₂ y H₂O. Casi todos los procesos meteorológicos ocurren en la troposfera, donde también se forman y están las nubes, mientras en la estratosfera reina ya una calma mayor.

La Luna, no tiene atmósfera, en razón de su baja gravedad. La temperatura en su superficie varía dramáticamente entre el día y la noche desde +118 °C hasta -153 °C, sin que sean factibles los vientos por falta de aire, pero sí la incidencia de la radiación solar por la cara iluminada de nuestro satélite.

Marte, tiene la suficiente gravedad para mantener una atmósfera débil algo similar en composición a la de Venus. Su menor gravedad explica el relieve más accidentado (mayores alturas y depresiones).

Júpiter con temperatura superficial semejante a la de Saturno, muestra una potente atmósfera que se transforma constantemente en líquido. En ambos planetas la composición de la atmósfera es la misma. Titán, por tener masa suficiente, pese al efecto de la temperatura recibida de Saturno, tiene una atmósfera de N_2 y CH_4 , sobre el océano de metano (?).

Mientras Urano y Neptuno, con temperaturas superficiales similares, tienen una atmósfera de igual composición, Plutón, con una temperatura sensiblemente igual no parece poseer atmósfera, en razón de su baja gravedad.

La superficie de Plutón hoy clasificado como planeta menor, es quizá un paisaje helado. Los gases atmosféricos más pesados que la escasa masa del planeta pudiera retener (metano y amoníaco p. ej) tienen que estar completamente helados a las temperaturas que prevalecen allí, pues el punto de congelación del metano es de $-182\text{ }^\circ\text{C}$, el del amoníaco incluso de $-78\text{ }^\circ\text{C}$ y el del anhídrido carbónico $-78,5\text{ }^\circ\text{C}$.

3.2. TEORIAS ACERCA DE LA FORMACION DEL SISTEMA SOLAR

Se subdividen en catastróficas y evolutivas. Cronológicamente son:

3.2.1 Teoría Infinitesimal (Evolutiva) Immanuel Kant, 1755. Supone la existencia de polvo describiendo órbitas. Posteriormente esta nube de materia en suspensión se compacta formando los miembros del sistema solar, tras una acreción gravitacional, es decir, un colapso de esa nube debido a que su densidad ha superado un cierto valor crítico.

3.2.2 Teoría de la Nebulosa (Evolutiva) Simón Laplace, 1796. Supone una bola de gas caliente en rotación la cual, al enfriarse la masa, sufre achatamiento y de éste modo el desprendimiento gradual de anillos del sistema. Por cada anillo ecuatorial separado de la nebulosa se forma un planeta del sistema solar, a partir de núcleos de acreción.

3.2.3 Teoría Planetesimal (Catastrófica) Chamberlain-Moulton, 1905. Supone una estrella que se aproxima al Sol para arrancarle hinchazones ígneas; estas explosiones levantan materia pero los brazos que caen chocan con brazos en ascenso, resultando de las colisiones pequeñas esferas de tamaños variables y órbitas diferentes llamadas planetesimales: del choque entre ellas se formarán los planetas.

3.2.4 Teoría de la Gota (Catastrófica) Jeans-Jeffreys, 1919. Recoge las dos teorías anteriores. La estrella invasora al aproximarse al Sol, le arranca una inmensa gota de gas en estado caliente que al enfriarse se fragmentará produciendo esferas de tamaño ordenadamente variable (planetas).

3.2.5 Teoría Magnetohidrodinámica (Evolutiva) Hoyle, 1960. Las teorías evolutivas habían perdido su vigencia porque no explicaban por qué mientras el Sol tiene el 99.9% de la masa del sistema solar, en los planetas se concentra el 98.0% del momento cinético; ello da origen a teorías catastróficas que resuelven el problema mas el principio de la magnetohidrodinámica salva la dificultad y se regresa a las teorías evolutivas.

Dice el principio de la magnetohidrodinámica que los gases responden a las leyes de la gravedad, la presión y la rotación cuando se encuentran en un campo magnético sostenido por una corriente eléctrica, y esa ley gobierna las nubes de polvo compuestas de gases ionizados en rápida rotación. Un gas ionizado es tan buen conductor de electricidad como un alambre de cobre.

La teoría supone que a través de esos gases que invadían el espacio, corrían líneas de fuerza magnetohidrodinámicas a manera de hilos largos y elásticos; en las partes internas de los filamentos el gas era más lento que en las porciones externas. Con el giro flexible se favorecen las turbulencias dentro del sistema provocándose el enroscamiento y alargamiento de los hilos en espiral y, al mismo tiempo, una transferencia del momento angular hacia las porciones exteriores, donde se formarán posteriormente los planetas, todo, a expensas de la parte central enriquecida de masa y donde se formará el Sol.

3.2.6 Nueva nomenclatura del Sistema Solar En 2006 la Unión Astronómica Internacional (IAU) redefinió las categorías de objetos celestes en tres tipos: planeta, planeta enano y cuerpo menor del Sistema Solar, por lo que el término "planeta menor" perdió su vigencia. La UAI acordó ese año definir un planeta como un cuerpo celeste, que cumpla estas tres condiciones: A) Orbitar alrededor de una estrella o remanente estelar. B) Tener masa suficiente para que su gravedad supere las fuerzas del cuerpo rígido, de manera que asuma una forma en equilibrio hidrostático y por lo tanto que sea prácticamente esférico. C) Que tenga dominancia orbital lo que significa haber limpiado la vecindad de su órbita de planetesimales.

Los planetesimales son objetos sólidos que pertenecen a los discos protoplanetarios de la nebulosa primitiva, conformada por gas, polvo y partículas sólidas masivas que actuarían como núcleo de condensación, para dar lugar en el curso de millones de años a estos objetos sólidos cada vez más grandes que son el germen de los planetas. Como consecuencia de esto, Plutón, que hasta

entonces se consideraba planeta, pasa a clasificarse como planeta enano, junto a Ceres, el más pequeño de los planetas enanos dentro del sistema solar, cuerpo celeste de 952 km de diámetro, que se ubica entre las órbitas de Marte y Júpiter. El concepto de Planeta menor sustituye ahora el de planetoide de la anterior clasificación que queda en desuso.

3.3. FORMACION DE LA TIERRA

Hace 4500 millones de años se forma la Tierra por aglomeraciones de partículas sólidas del espacio; pero el calor de la acreción (por el colapso gravitacional) y el de desintegración de elementos radiactivos, produce el núcleo de hierro líquido rodeado de materia turbulenta (calor).

Posteriormente por diferenciación de densidades de masa, el núcleo se rodea de un manto y éste de una corteza primitiva. Los gases atrapados por el manto escapan de la corteza produciendo una atmósfera enriquecida en agua. Seguidamente sobreviene la precipitación para formar los océanos, en un proceso que dura 1500 millones de años. Como resultado aparece la atmósfera en la que el oxígeno se liberará gracias a la luz ultravioleta y a la fotosíntesis de los primeros organismos vivos.

En la atmósfera inicial, tan similar a la de las actuales emanaciones volcánicas, el 75% es vapor de agua, mientras en la actual atmósfera actual es sólo del 4%.

La vida en la Tierra se inicia en los océanos hace más de 3000 millones de años. En esta historia de evoluciones el clima ha mostrado dramáticas modificaciones. El último período glaciario terminó cerca de 10000 años atrás y al retroceder los hielos, el nivel del océano comenzó a subir rápidamente, alcanzado su nivel actual 6000 años atrás.

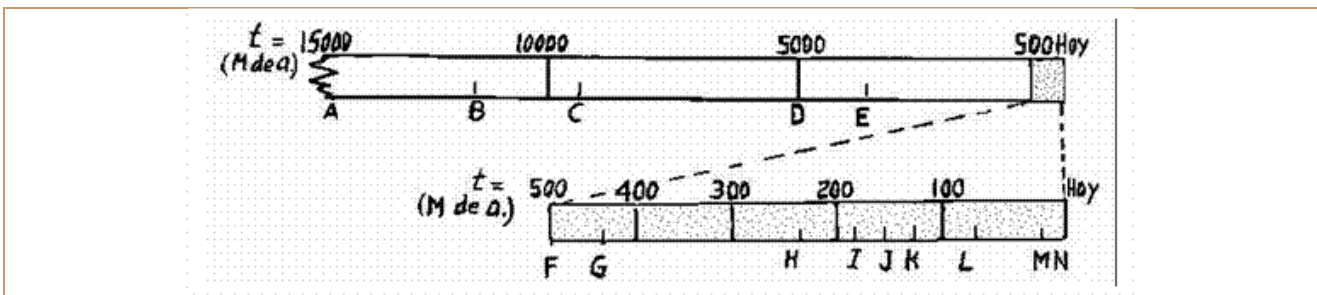


Figura 9. Diagrama temporal. El diagrama muestra cuánto tiempo hace que ocurrieron algunos acontecimientos importantes. Los últimos 500 millones de años se amplifican con un zoom. A. Big-Bang, B. formación de la galaxia, C. cúmulos globulares, D. formación del sistema solar, E. comienzo de la vida en la Tierra, F. abundancia de fósiles, G. vida en tierra firme, H. formación de Pangea, I. aparición de los dinosaurios, J. rotura de Pangea, K. aparición de los mamíferos, L. extinción de los dinosaurios, M. hombre primitivo, N. actualmente (tiempo en millones de años). Adaptado de El Universo Desbocado, Paul Davies.

3.4. EVOLUCIÓN ESTELAR

Las nubes de gas y polvo interestelares están sometidas a dos fuerzas: como quiera que la masa se encuentra en rotación y posee alguna temperatura, una fuerza centrífuga asociada a la rotación de la nebulosa y otra termodinámica por el calor que trata de expandirla. A estas fuerzas, se opone la atracción ejercida por la gravedad de la enorme masa de gas y polvo.

Si la gravedad domina a las fuerzas de repulsión, se da el colapso gravitacional de la nube, aumentando su densidad, y disminuyendo su volumen e incrementando su velocidad de rotación para conservar el momento cinético, al tiempo que se eleva la temperatura de la masa por la energía de acreción.

Tras el colapso de la nube, se forma una **protoestrella** caliente, que emite radiación infrarroja y luego, a una mayor temperatura interior se forma una **protoestrella brillante** (atmósfera enrarecida). Con el colapso sucesivo, cuando la temperatura interior supere los 10 millones de °C, aparecerá la **estrella**, al iniciarse la fusión nuclear consistente en convertir hidrógeno en helio por dos vías: la línea **protón-protón** y el ciclo **C-N-O** o del carbono. En ambos procesos la masa inicial de los cuatro protones, supera la masa final en Δm , cuantía que se convierte en la energía propia de la estrella, según la fórmula $E = \Delta mc^2$.

En la fase de gigante roja, a mayor masa, mayor temperatura y mayor escala de reacciones termonucleares, hacia los elementos más pesados (Ne, Mg, Si, S, Ca, Ti, Va, Cr, Mn, Fe); más allá del hierro no se puede dar la fusión nuclear, porque este absorbe energía estelar fisionándose en He, con lo cual, se produce el cese súbito de la presión de reacciones haciendo explotar la estrella en forma de supernova, produciéndose una onda de choque donde se podrán formar otros elementos pesados.

Mientras la estrella convierta H en He, estará en la **secuencia principal**. Las estrellas de menos de una masa solar duran más y toman la línea protón-protón; las de más de tres masas solares lo harán por el ciclo CON; en las de masa intermedia, el primer proceso de nucleosíntesis se dará en la periferia del núcleo, y el segundo en su interior. Si la masa de la nube primigenia es menor que el 7% de la masa solar, no habrá fusión nuclear (planeta), y si supera unas 75 masas solares, el sistema se hace inestable y colapsa todo o explota, porque la presión interior se debería a los FOTONES y no a los electrones y a los núcleos atómicos, para estas masas.

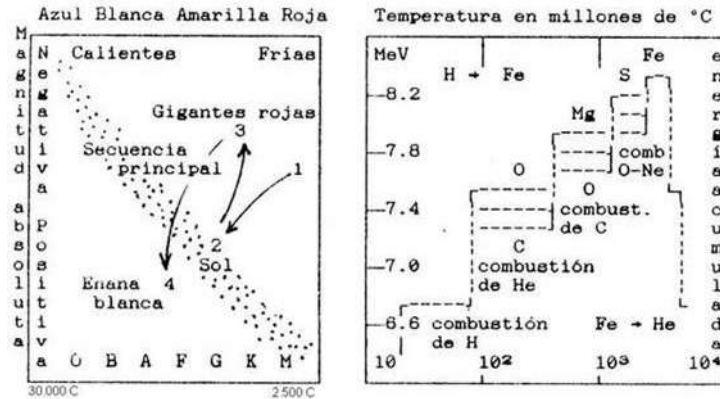


Imagen 15: La historia del Sol y la nucleosíntesis estelar. En el diagrama H-R de la izquierda observamos: 1 = protoestrella, 2 = secuencia principal, 3 = gigante roja, 4 = enana blanca. A la derecha el diagrama de la evolución nuclear estelar con la nucleosíntesis H@Fe y su fisión Fe@He. Fuente, [Guía astronómica](#).

La suerte de la Gigante Roja dependerá de si se trata de una estrella de poca masa o de una supermasiva: la primera se convertirá en **enana blanca**, cuando ya se "tranquilice" el núcleo estelar, permitiendo que la escasa envoltura gaseosa pueda colapsar: cada que se agota un combustible nuclear se pierde soporte y masa, colapsa el astro en forma de nova y aumenta su temperatura pudiendo reencender el núcleo y tomar un nuevo combustible, generándose una onda de choque que afecta la envoltura y una pérdida de masa estelar. El cadáver estelar, será finalmente una estrella densa oscura o apagada de menos de 1,4 masas solares. Pero en estrella masivas, el paroxismo es colosal: se destruye el astro, generando una supernova y quedando una estrella neutrónica o un agujero negro, dependiendo de si la masa final esta entre 1,4 y 2 masas solares, o si supera las 2 masas solares, en su orden. Los elementos más pesados que el hierro, se forman en la fase de supernova.

Si en promedio, las estrellas permanecen el 90% de su vida en la fase estable de la secuencia principal, las de gran masa solo duran algunos millones de años, mientras las de pequeña masa permanecen varios miles de millones de años. El Sol duraría 10^{10} años. El 10% restante de la vida de la estrella se desarrolla en los estadios de gigante roja o supergigantes según la masa estelar.

3.5. LA GALAXIA

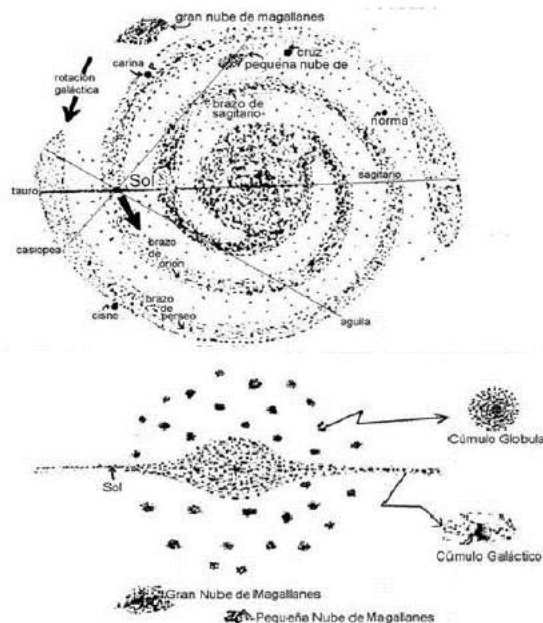


Imagen 16: La Vía Láctea: se muestran planta y perfil de nuestra galaxia, indicando la rotación galáctica, las dos Nubes de Magallanes, el Sol sobre el brazo de Orión, entre los brazos de Sagitario y Perseo, y en detalle la estructura de un cúmulo galáctico o abierto y otro globular o cerrado. Fuente, [Guía astronómica](#).

Una galaxia es una **Isla de estrellas** inmersa en nubes de gas y polvo, en cuyo su interior se organizan las estrellas en cúmulos unidos por la gravedad. Existen dos clases de cúmulos estelares: los **cúmulos globulares o cerrados** de forma esférica, constituidos por con cientos

o miles de estrellas viejas y de bajo contenido metálico (Estrellas de la población II); y los **cúmulos galácticos o abiertos**, conformados por algunos cientos de estrellas jóvenes y de alto contenido metálico (Estrellas de la población I), con su forma irregular dada la dispersión de sus miembros.

Aunque existen varias clases de galaxias (irregulares, espirales, elípticas...), nuestra galaxia, denominada La Vía Láctea, que pertenece a las galaxias espirales, muestra una estructura típica de forma barrada, constituida por tres partes bien diferenciadas: **Halo, Disco y Núcleo**.

El disco es el contorno de los brazos espirales localizados en el plano medio, donde las estrellas son jóvenes y se encuentran sumergidas en medio de gas y polvo. Las estrellas aquí, en cúmulos galácticos generalmente, están orbitando con trayectorias muy circulares y siempre perpendiculares al eje de rotación de la galaxia. Por lo tanto, si las estrellas del **halo** galáctico no comparten la rotación galáctica, las del **disco** si la comparten.

La rotación galáctica es diferencial. Los objetos del centro son rápidos y los del disco lentos. **El núcleo** galáctico se sitúa en el centro y es la región con mayor densidad de estrellas; su forma es esferoidal achatada y su rotación como la de un sólido rígido. El Sol podría pasar de un **brazo** a otro, mientras transita la galaxia con órbita casi circular.

La **Vía Láctea**, nuestra galaxia, posee una masa equivalente a 100 mil millones de soles; su diámetro es de 100 mil años luz y el espesor de 20 mil años luz; el Sol ubicado sobre el plano galáctico a 30 mil años luz del centro, **órbita la galaxia** a 250 km/seg en 225 a 250 millones de años. La Galaxia es Espiral Barrada. Los tres brazos espirales de la Vía Láctea, más relevantes, y su distancia al centro galáctico, son: Sagitario a 24 mil años luz, Orión (conteniendo el Sol) a 30 mil años luz y Perseo a 36 mil años luz.

Las dos nubes de Magallanes son pequeñas galaxias irregulares, satélites de la Vía Láctea; la mayor, con un diámetro de 35 mil años luz, está a 160 mil años luz y contiene tiene 10000 millones de estrellas; la menor cuyo diámetro es de 20 mil años luz, se ubica a 190 mil años luz y contiene tiene 1000 millones de estrellas.

La Vía Láctea, es un miembro del **Grupo Local**, nuestra hipergalaxia, conformado por unas 30 galaxias, siendo las más importantes la nuestra y la de Andrómeda; ambas ubicadas en los extremos del sistema. A dicho cúmulo pertenecen M 32 (compañera de Andrómeda), M 33 (Nebulosa del Triángulo), And I, And II, And III (compañeras de Andrómeda), Leo I, Leo II (ambas a 750 mil años luz), entre otras. Todo el cúmulo de galaxias abarca un volumen cercano a los 2.5 millones de años luz de radio.

A su vez, El Grupo Local pertenece al **Súper Grupo Local** (metagalaxias), cuyo centro es Virgo, sistema ubicado a 50 millones de años luz de nosotros y compuesto por miles de galaxias ligadas gravitacionalmente, en estructuras hipergalácticas. Entre su medio centenar de miembros, diseminados en un radio 75 millones de años luz, se destacan: Osa Mayor, Canes Venatici, Sculptor, Grupo Local, M 66, M 101, M 81, los NGC 4274, 3245, 5566, etc.

3.6. SOL, CLIMA Y CALENTAMIENTO GLOBAL *

Para las ciencias de la Tierra, uno de los dilemas por resolver, es: hasta qué punto influye la actividad solar en el clima terrestre. De conformidad con los modelos heliofísicos, es el magnetismo de la atmósfera solar quien influye en la luminosidad del Sol, y por lo tanto en los cambios en radiación solar, fenómeno cuya evolución inferida a partir de mediciones y aplicación de modelos, permite elaborar pronósticos sobre el complejo comportamiento del Sol, necesarios para estimar las tendencias del clima terrestre. Aunque astrónomos y geofísicos soportados en correlaciones, pueden afirmar que cuando el Sol está tranquilo la Tierra permanece fría, aún no sabemos el por qué de los cambios de la actividad del Sol, así en 2002 se haya logrado desentrañar el misterio de los neutrinos solares.

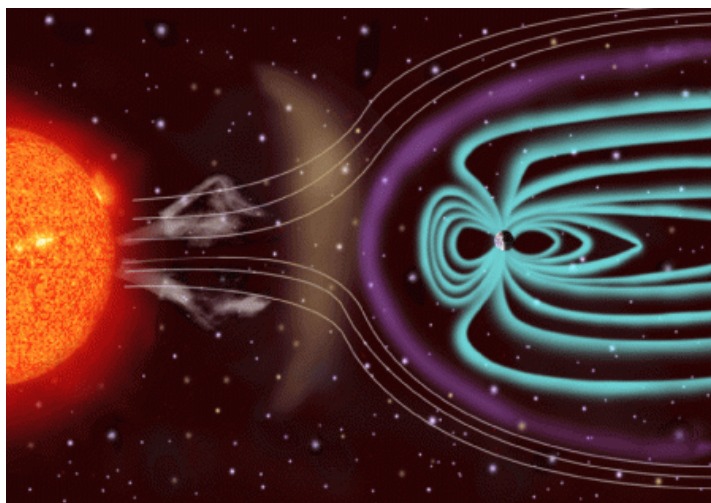


Imagen 17. Magnetósfera terrestre y viento solar, en: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

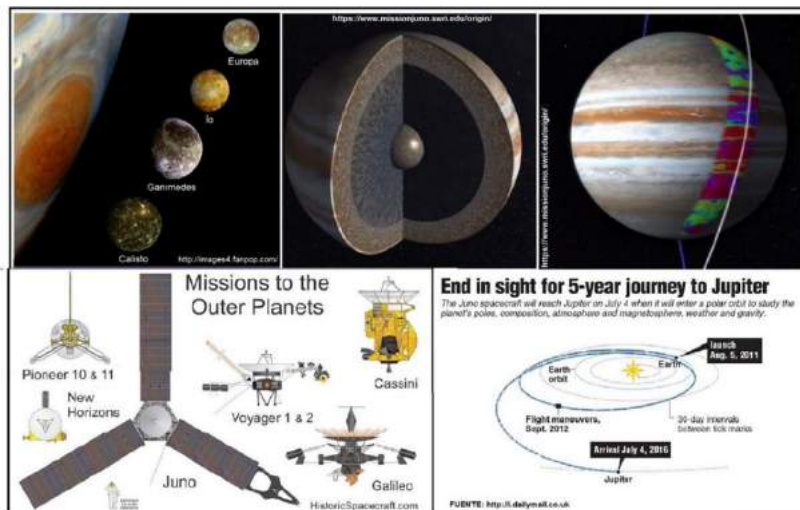
Cuando hablamos del clima, nos referimos a las condiciones de la atmósfera en una región, durante un periodo de largo plazo; no obstante a nivel global, el Sol puede influir en el clima de diversas maneras, incidiendo sobre la temperatura, la humedad, la precipitación, la presión y los vientos de un determinado territorio, así estos elementos estén determinados por factores como la latitud, la altitud, el relieve y la distancia al mar. A modo de ejemplo, el agujero en la capa de ozono descubierta sobre la Antártida en 1985, no sólo parece ser provocado por la actividad humana, sino también por los rayos ultravioletas provenientes del Sol: al debilitarse el efecto fotoquímico con la destrucción de esta capa que filtra la radiación solar, la alta energía incidente que llega a la Tierra modifica nuestro clima, de la misma forma en que lo venimos haciendo con la actividad antrópica durante el último siglo.

Con sus dinámicas estelares, tales como el ciclo de 11 años de las manchas solares, el Sol modifica la estructura del campo magnético de nuestro planeta, presentándose la expansión y contracción de la atmósfera terrestre, con las variaciones en las temperaturas y densidades de la magnetosfera. Evidentemente, la imposibilidad de una predicción a largo plazo del comportamiento solar, así sea teórica, es que al ser la actividad solar un fenómeno caótico, en lugar de predicciones lo que procede es la elaboración de pronósticos. Este tipo de estimaciones, propio para cualquier fenómeno caracterizado por las incertidumbres, se dificulta en el caso del Sol, por el desconocimiento exacto del campo magnético solar y por la falta de registros históricos sobre radiación solar y rayos cósmicos, así la relación entre cambios de luminosidad solar y energía recibida en la Tierra, sea prácticamente lineal.

Para ilustrar los cambios del clima que se han dado en todas las escalas de tiempo, a lo largo de la historia de la Tierra, tenemos además de las cinco grandes glaciaciones, cuyo último evento ocurrió en el Cuaternario, dos situaciones antagónicas y recientes: una, la “pequeña glaciación” asociada a un periodo frío ocurrido entre 1550 y 1850, en el que se presentaron tres picos fríos (1650, 1770 y 1850), pequeña edad del hielo acompañada de lluvias que coincidió con un periodo de baja actividad en las manchas solares. Y dos, el actual “calentamiento global” un efecto invernadero de celeridad excepcional ocurrido en los últimos 50 años, en el que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha alcanzado un nivel sin precedentes en los últimos de 500 mil años, fenómeno cuya característica fundamental es la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Para mostrar el alcance de la actual problemática, dos escenarios. El Ártico, está en peligro por el calentamiento global: el fenómeno facilita actividades depredadoras que amenazan esta “última frontera”, tales como prospecciones petroleras, pesca industrial y tráfico interoceánico. Degradar dicho ecosistema, traerá consecuencias insospechadas como elevación del nivel del mar, erosión costera y temporales. Y la Amazonía, donde el cambio climático y la deforestación comprometen este ecosistema que alberga el 30% de la biodiversidad de la Tierra; allí donde la selva se transforma en sabana, los apetitos del mercado presionan por los recursos del tercer reservorio de materias primas estratégicas del planeta, después del Oriente Medio y la Antártida. La degradación de la Amazonía traerá consecuencias trágicas para los pueblos indígenas que la habitan y para la biodiversidad, además de severas afectaciones climáticas globales. * [Ref. GDE. La Patria. Manizales, 2014.08.4]

3.8. JUNO AUSCULTARÍA EN JÚPITER ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR



Imágenes 18. Júpiter, en <http://i.dailymail.co.uk/> <https://www.missionjuno.swri.edu/mission> y Sonda Juno en <http://historicspacecraft.com/>

En la mitología romana, Júpiter hijo de Saturno y Ops, se desposó con Juno su hermana con quien tuvo como hijos a Marte y Vulcano. Pero Juno preocupada por las travesuras de su esposo, tendió un velo de nubes a su alrededor para ocultarlas, y mirar a través de ellas buscando revelar su verdadera naturaleza.

De ahí el nombre de la sonda Juno que, a un costo de U\$ 1.100 millones, ha tomado 5 años para recorrer el equivalente a 2,9 circunferencias de la órbita terrestre, logrando llegar a Júpiter donde espera obtener información clave sobre el origen del Sistema Solar, si es que logra examinar su atmósfera y conocer los patrones de movimiento a profundidades sin precedentes en el manto, saber de la composición y contenido de fluidos y gases, y de la proporción de agua joviana, por ser dicha cuantía un parámetro clave de su formación, además de evaluar los campos magnético y de gravedad del coloso, que por intensidad y en su orden superan 20 y 2,14 veces los de la tierra.

La exploración por la NASA del sistema ubicado 5,2 veces más lejos del Sol que la Tierra, se inició en 1973 con una primera misión espacial, sucedida por otras siete no tripuladas. Aunque la mayoría, ayudadas por la asistencia gravitatoria ha logrado observaciones sin sondas ni entrar en órbita, esta lo hace barriendo sucesivamente 37 trayectorias polares a 4667 km durante 18 meses, mientras Júpiter rota. Juno es la segunda nave espacial del programa Nuevas Fronteras de la NASA, después de la Nuevos Horizontes que alcanzó a Plutón en julio de 2015, tras un periplo de nueve años y medio.

La historia de este gigante gaseoso de 11 diámetros terrestres y 1317 veces más voluminoso que la Tierra, con 67 lunas y constituido 81% de hidrógeno y 17% de helio, composición relativamente similar al Sol, es al tiempo la historia del Sistema Solar: el objeto de la misión es penetrarlo con instrumentos como magnetómetros, gravímetros y espectrógrafos, para conocer sus procesos y condiciones fundamentales, que también son los que gobernaron nuestro entorno planetario durante su formación, ya que las estructuras jovianas no han evolucionado como sí la atmósfera y mares de la Tierra: investigar bajo la superficie de Júpiter y conocer la probable existencia de un núcleo planetario sólido y profundo, será clave para dilucidar la conformación de nuestro sistema planetario.

La superficie de Júpiter no es sólida: bajo sus nubes de amoníaco y agua, aparece hidrógeno metálico, conformando el grueso manto planetario constituido por gas a gran presión atmosférica y gravitacional; fluido que al actuar como un conductor de electricidad sería la fuente del intenso campo magnético, que en las regiones polares produce las auroras más brillantes del Sistema Solar, cuando las partículas cargadas del viento solar se precipitan penetrando la atmósfera, para chocar con la magnetosfera y generar la luz ultravioleta a expensas de la extraordinaria energía del fluido metálico.

Las teorías sobre el Sistema Solar, que comienzan con el colapso de una gigantesca nube de gas y polvo, a partir de la cual se formaron temprano el Sol y Júpiter, dándose luego la captura el resto del material de la vecindad, están en un callejón sin salida puesto que en relación al cómo sucedió en Júpiter, existen diferencias profundas entre dos escenarios: se formó a partir de un núcleo planetario masivo preexistente que gravitacionalmente captura el gas restante, o en su defecto se produjo el colapso gravitacional de la nebulosa, y luego como parte del proceso de acreción se formó el planeta.

Aún más, la composición de los protoplanetas, y la función de estos planetesimales helados en la formación planetaria, al igual que el origen de la Tierra y demás cuerpos celestes terrestres, pende de un hilo: supuestamente, los planetesimales primigenios fueron los portadores del agua y los compuestos de carbono, como bloques de construcción fundamentales de la vida. De ahí la importancia de saber más de Júpiter, que gracias a su enorme masa equivalente a 318 masas terrestres, al conservar su composición original y la mayor cantidad de agua del Sistema Solar, puede reflejar la historia de nuestro sistema solar.

* [Ref.; La Patria. Manizales, Julio 2016.07.11]

3.7. CIEN AÑOS DEL UNIVERSO RELATIVISTA DE EINSTEIN

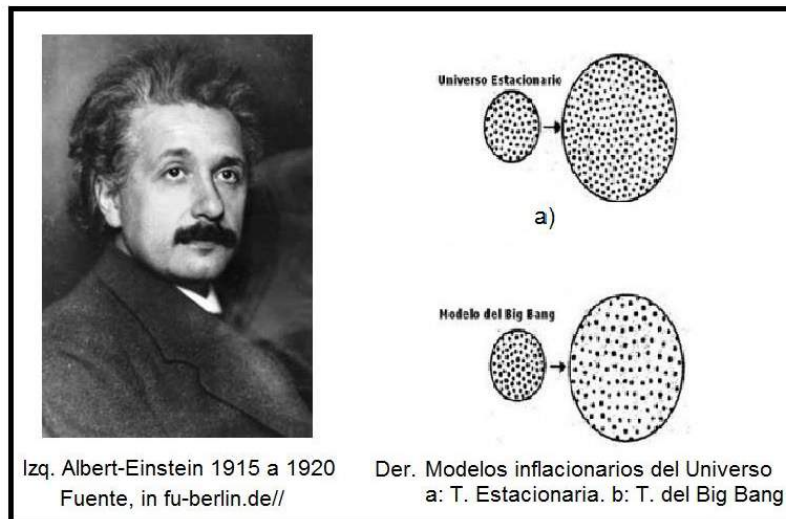


Imagen 19: [Albert Einstein](#) y Modelos Cosmológicos Inflacionario y del Big Bang, en [fu.berlin.de](#) y en [Guía astronómica](#).

Entre 1915 y 1916, tras formular la teoría de la Relatividad General, Albert Einstein desarrolla el primer modelo matemático del universo. Se trata de un universo estático, homogéneo e isótropo a gran escala, para el cual introduce la Constante Cosmológica, soportada en el Principio Cosmológico según el cual el universo observado desde cualquier lugar, siempre tiene la misma apariencia. Einstein resolvió sus ecuaciones, modelando la materia como un fluido de partículas homogéneamente distribuido en el espacio, e introduciendo su constante como una modificación a su ecuación original del campo gravitatorio, necesaria para conseguir una solución ajustada a un universo estático.

Dicha visión completamente revolucionaria sobre un universo relativista, donde la materia, el espacio y el tiempo están interconectados, y en el cual la gravedad se interpreta como una curvatura del espacio-tiempo, causa escepticismo general al presentar hipótesis que exigían mayores pruebas. El responsable de verificar una hipótesis fundamental de dicha teoría, en la que uno de los científicos más importante del siglo XX pronosticaba la curvatura de la luz en un campo gravitatorio, fue Stanley Eddington, quien a petición de la Real Sociedad observa el fundamental hecho en el eclipse del 29 de mayo de 1919, desde la isla Príncipe en la costa este de África.

Al conocerse en la conferencia de Eddington la prueba del efecto gravitacional causado por el Sol en la trayectoria del rayo de luz, el titular del New York Times del 6 de noviembre de 1919, dice: "Descubierto un nuevo universo", noticia que hace célebre a Albert Einstein de la noche a la mañana, y que consolida la Relatividad General como una teoría que resuelve de forma definitiva problemas fundamentales de la física clásica. Una década después, en 1929 el padre de la cosmología observacional Edwin P. Hubble, al encontrar el corrimiento al rojo en el espectro de las galaxias distantes descubre la expansión relativista del universo, un fenómeno que permite advertir además del movimiento propio de estas enormes islas de estrellas, otro movimiento asociado a la dinámica del espacio-tiempo que las contiene y arrastra.

Frente a la evidencia de que el universo se está expandiendo, y que los cálculos teóricos mostraban que en relatividad general un universo estático era imposible, aunque eminentes astrónomos mantenían su teoría del Estado Estacionario, afirmando que el universo al no cambiar su apariencia con el tiempo tampoco tendría principio ni fin, surge como contraposición la teoría del Estado Inflacionario del universo, propuesta de Bondi y Gold según la cual si el universo se expande como un todo, se requiere la creación continua de materia para que la densidad permanezca constante y su apariencia se mantenga.

Posteriormente, gracias a los trabajos de físicos notables como Alexander Friedmann en 1922 y Georges Lemaître en 1927, quienes utilizan la teoría de la relatividad para demostrar la dinámica del universo observada por Hubble expresada en ecuaciones que describen un universo que puede expandirse o contraerse, en 1948 el físico ucraniano George Gamow soportado en la teoría del Núcleo Primordial de Lemaître, construye la teoría del Big Bang en la que plantea que el universo había surgido de una gran explosión.

La prueba definitiva a favor del Big Bang vino con el descubrimiento de la radiación de fondo de microondas al detectarse en 1965 una radiación de fondo omnidireccional con características térmicas, y recientemente con el COBE que puesto en órbita en 1989 logra medir la temperatura residual de esa gran explosión primigenia, y con otros instrumentos que han a detectar las anisotropías de los vestigios del evento que da origen a un universo homogéneo e isótropo lleno de materia ordinaria, el cual podría expandirse indefinidamente o frenar su expansión lentamente, hasta producirse una contracción universal, denominada el Big Crunch.

Hasta acá, este centenario del "universo determinístico" de Einstein, importante hoy como punto de partida para el nuevo "universo probabilístico" de la mecánica cuántica, donde la incertidumbre consustancial a la naturaleza tiene leyes que la gobiernen, máxime ahora cuando la Constante Cosmológica incorpora un papel fundamental en la ciencia del mundo: según las observaciones obtenidas aplicando técnicas recientes se ha conseguido determinar un valor diferente de cero para dicha constante, y su papel como materia oscura en la expansión acelerada del universo.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016-02-1] <http://oam.manizales.unal.edu.co>

3.8. EL MISTERIOSO LADO OSCURO DEL UNIVERSO

Cuando se estima que el universo se constituye en un 73 % de energía oscura, 23 % de materia másica oscura y 4 % de materia bariónica o en forma de átomos, de conocerse esa materia oscura que se rastrea tanto en laboratorios desde el espacio como en complejos subterráneos, la astronomía podría dar origen a una revolución comparable a la de tránsito del Medioevo al Renacimiento, en tiempos de Nicolás Copérnico (1473-1543) quien sustituye el modelo geocéntrico por el heliocéntrico que consideraba la Tierra centro del universo, o la de hace un siglo cuando el universo pasa a describirse como un todo mediante la teoría de la gravitación de Albert Einstein (1879-1955) que sustituye la gravedad Newtoniana por la curvatura del espacio-tiempo cuya expansión relativista descubre Edwin Hubble (1889-1953) observando los espectros de extrañas nebulosas, que resultan ser otras galaxias ubicadas más allá de la Vía Láctea, alejándose de nosotros a velocidades crecientes.

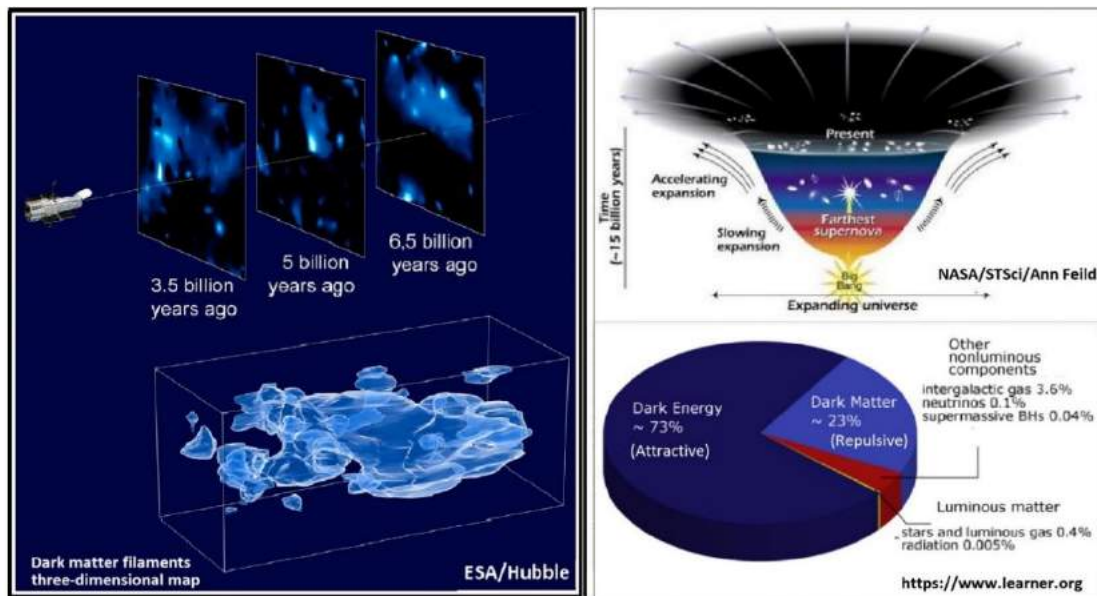


Imagen 20: Materia oscura y Energía oscura. Imágenes, en: <https://www.spacetelescope.org> and <https://science.nasa.gov> and <https://www.learner.org>

Pero ¿en qué anda la Cosmología moderna?: primero, tenemos las teorías de Stephen Hawking (1942), quien intenta aunar la relatividad general con la teoría cuántica, e instituye ideas sobre los agujeros negros y el origen del tiempo, en las que argumenta que el universo no tiene bordes y propone el tiempo imaginario, al sostener que en lugar de una singularidad del espacio-tiempo forman una superficie cerrada sin fronteras. Y segundo, la hipotética existencia de una materia oscura que no emite radiación alguna, inferida de las observaciones fundamentales de la astrónoma estadounidense Vera Rubin (1928-2016), pionera en la medición de la rotación anómala de las estrellas dentro de una galaxia, ya que si en el Sistema Solar según las leyes de Newton y Kepler la velocidad de rotación planetaria decrece conforme aumenta la distancia al Sol como centro de masa, mientras en las galaxias se mantiene.

Para conocer la dificultad de obtener evidencias de dicha materia oscura, recordemos cómo las ondas gravitacionales que predice en 1916 Einstein, apenas fueron detectadas un siglo después, en 2015, cuando esos rizados o vibraciones en el espacio-tiempo que viajan a la velocidad de la luz, pudieron ser encontrados mediante un gran instrumento óptico de precisión desarrollado por los institutos tecnológicos Caltech y MIT en el marco del proyecto de un Observatorio de Interferometría Láser de Ondas Gravitacionales LIGO. El detector subterráneo LIGO con sus brazos ortogonales de 4 km de longitud que comenzó a construirse en 1999, al lograr sus primeras observaciones entre 2001-2007 debió actualizarse para hacerlo una máquina 10 veces más potente, capaz de identificar las ondas gravitacionales cuyas variaciones equivalentes a una diezmilésima parte del diámetro de un átomo, transformarán la astronomía porque el universo es casi transparente a ellas.

Volviendo a la materia oscura: cuando otros astrónomos confirman que a nivel de las galaxias, también las estructuras estelares giraban de una manera inesperada, tal cual lo observa Vera Rubin al encontrar que la velocidad de las estrellas continúa igualmente tan alta en la periferia como en el centro de la Vía Láctea, se formula la hipótesis de la materia oscura diseminada de forma no uniforme y a gran escala, estimándose según dicha teoría que de la masa total de nuestro universo la mayor proporción estaría conformada por otra clase de materia cuya naturaleza desconocemos, ya que apenas se ha mapeado su ubicación en torno a las galaxias gracias a que con su gran masa desvía la luz procedente de objetos distantes y brillantes no visibles que las interfiere, al actuar la materia oscura como lentes gravitacionales.

Incluso, si desde principios del 2000, se propone la existencia de una energía oscura uniforme, que al ejercer una presión negativa en el espacio-tiempo similar a la de la constante cosmológica, explicaría la actual expansión acelerada del universo, también sabemos que la materia oscura, que no son neutrinos, ni átomos, ni materia oscura, es todavía un gran misterio. Al igual que el Bosón de Higgs que teóricamente desde 1964 nace para explicar el origen de la masa de las partículas elementales, solo hasta 2012 pudo comprobarse su existencia con el acelerador de partículas CERN, similarmente el tipo de partículas fantasmas que componen la materia oscura, esperan ser capturadas por sensibles detectores, para desentrañar su misteriosa naturaleza y abrir una nueva era en el conocimiento del universo.

[Ref.: La Patria- Manizales, 2017.01.16]

3.9. EL SABIO CALDAS, GONZÁLEZ BENITO Y GARAVITO ARMERO

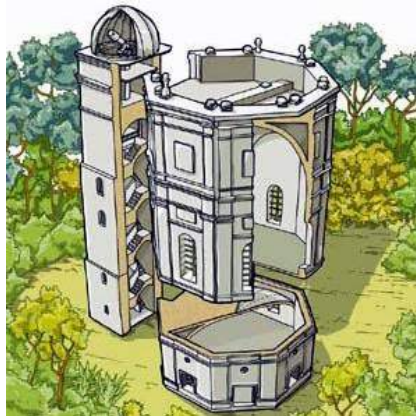


Imagen 21A: Observatorio Astronómico Nacional. Dibujo en Exposición Itinerante U.N.

CALDAS, EL PRECURSOR DE LA CIENCIA NEOGRANADINA: Así como la Expedición Botánica fue nuestro primer proyecto científico fruto de la reforma borbónica que quiso hacer de América un proyecto rentable, también Francisco José de Caldas fue el primer director del Observatorio Astronómico de Santafé, hito de una arquitectura que expresa la irrupción de la ciencia en el pensamiento ilustrado de la Nueva Granada. En 1801 gracias a Humboldt, Mutis empieza con los preparativos para la construcción del Observatorio Astronómico al descubrir para la ciencia al payanés, cuando estando Caldas en Quito el Barón tras visitar su casa en Popayán en su recorrido hacia el sur, en una breve estadía le envía una carta al eminente gaditano poniéndolo al tanto de la importancia del Sabio neogranadino, reconociendo y elogiando su obra.

Caldas, que pese a su inclinación por las ciencias exactas y naturales sólo había hecho estudios calificados en Jurisprudencia, aunque no poseía formación científica en altas matemáticas para abordar el estado del arte en la física de la época, y sin mucho conocimiento sobre los avances de la botánica consecuencia de las precarias condiciones para acceder al conocimiento científico en América, incursiona desde 1800 para cualificarse en el estudio sistemático y técnico de la biología, gracias a su estrecha relación con Aimé

Bonpland con quien se conoció en Quito hacia 1802, cuando este botánico francés acompañaba al naturalista prusiano Alejandro von Humboldt.

Deseando el Sabio Caldas acompañar a Humboldt, no quiso “El padre de la geografía moderna” compartir su gloria con el inventor del hipsómetro, instrumento que permite estimar con sorprendente precisión la altitud de un lugar observando la temperatura de ebullición del agua destilada, frustrando así al criollo ilustrado que solía hacerse a literatura mientras se dedica al comercio, y quien saciaba el interés científico desplegando su espíritu investigador utilizando instrumentos de medida como barómetro, termómetro y aparatos astronómicos, con los cuales observa una ocultación del primer satélite galileano en 1798, determina la latitud y longitud de Popayán, hace observaciones sistemáticas de alturas, trabajos cartográficos y determinaciones de posiciones geográficas en varios lugares, recurriendo a observaciones astronómicas incluidas las que sirvieron a Humboldt y Bonpland para elaborar el mapa del río Magdalena. José Celestino Mutis y José Ignacio de Pombo quienes sin lograrlo habían intercedido ante Humboldt para que Caldas lo acompañara en su expedición al Perú, primero contratan al payanés para una exploración en busca de nuevas especies por tierras caucanas y quiteñas, y luego como astrónomo a la Real Expedición Botánica. Proveniente de Quito, con mulas cargadas de diversos materiales e instrumentos que eran su tesoro, tales como anotaciones de campo, libros, biota, minerales y aparatos científicos, como un telescopio Dolland, un cuarto de círculo de Bird y un péndulo de Graham, entre otros, empezando 1806 llega a Santafé este Neogranadino de 37 años para tomar posesión como director del Observatorio Astronómico.

Ya en Santafé, se suma a la lista de próceres de nuestra independencia al permitir que las reuniones de los criollos ilustrados, pasen de la casa de José Acevedo y Gómez al Observatorio Astronómico tras percatarse de la vigilancia de los sabuesos del virrey Amar y Borbón sucesor de Pedro Mendinueta. Además de criticar la administración impuesta por España en sus colonias y de haber hecho parte del plan que detona el incidente de El Florero de Llorente ocurrido la mañana del 20 de julio de 1810, Caldas entrega su vida cuando cae fusilado por orden de Pablo Morillo el 28 de octubre de 1816, junto a Francisco Antonio Ulloa, José Miguel Montalvo y Miguel Buch.

Si bien los aportes del mártir que honramos como caldenses contemplan lo expresado, además del Atlas del Virreinato (1805-1808) y las publicaciones del Semanario del Nuevo Reino de Granada (1808-1812), su mayor legado está en sus planteamientos científicos y educativos, y pensamiento americanista como exponente del quehacer científico criollo, ya que le da importancia al reconocimiento del territorio por parte de sus propios habitantes, planteando al tiempo la necesidad de elaborar una carta geográfica que exprese su potencial fisiográfico, biótico, etnográfico y cultural como requerimientos a las demandas propias de nuestro medio, dada su importancia para resolver sus problemáticas en aras del progreso y del desarrollo comercial.

JOSÉ MARÍA GONZÁLEZ BENITO (1843-1903): José María González Benito nace en Zipaquirá, donde trabaja con don Manuel Ponce en el levantamiento topográfico de las salinas y pueblos vecinos, y de él aprende el cálculo diferencial e integral cuando la educación era un asunto de relaciones personales antes que de la enseñanza formal. Dice Jorge Arias de Greiff que González Benito, ya como ayudante de Indalecio Liévano contribuye al trazado del ferrocarril de Zipaquirá a Nemocón. Posteriormente se traslada a Anolaima y ganando interés por la geología y la paleontología recorre la cordillera de Sumapaz hasta Tunja.

En 1862 Liévano lo emplea como su ayudante en el Observatorio durante un año, tiempo suficiente para que sume a sus intereses los de la astronomía y meteorología; entonces en 1864 se traslada a Europa donde conoce a Leverrier y a Bousingault como conferencistas, tomando más entusiasmo por la mineralogía y la astronomía, y consolidándose como una de las mentes más estructuradas de los albores de nuestra historia científica.

Regresa por tercera vez, al lado de Indalecio Liévano, quien por segunda ocasión lo vincula al Observatorio Astronómico. Además recibe el título de Ingeniero en 1866 y luego entra a conformar la Oficina Central del Cuerpo de Ingenieros por llamado del poder ejecutivo de la época. También en 1868 se le nombra profesor de meteorología y astronomía en la Universidad Nacional, recibiendo del rector Manuel Ancizar el cargo de Director del Observatorio Astronómico, en el que dura poco ya que retorna a Zipaquirá para terminar los trabajos anteriores.

Después de producir una carta geográfica de la sabana y la altiplanicie de Bogotá, en 1871 retorna a la Universidad Nacional como profesor de geología y paleontología, y de ahí al Observatorio Astronómico por tercera vez asumiendo las cátedras de astronomía y meteorología. Entre sus alumnos están Francisco Montoya, Modesto Garcés, Ruperto Ferreira y Enrique Morales.

Trabajó José María González Benito con instrumentos suyos y de Indalecio Liévano en el Observatorio Astronómico sin cobrar sueldo, lo que, según dice Jorge Arias de Greiff, le hizo ganar celos y provocó su retiro en 1872. Ya desde su casa observa lluvias de estrellas que reporta a Europa, pero en septiembre del mismo año y por cuarta vez se le nombra por decreto del ejecutivo Director del Observatorio, como también profesor de astronomía y geodesia de la Escuela de Ingeniería.

Viajando a Europa como Cónsul, lo sucede Luis Lleras Triana en la Dirección del Observatorio, hasta el año de 1876. Este último morirá en la guerra de 1876 pero dejará un proyecto para instalar un ecuatorial y una cúpula giratoria en el Observatorio, y una recomendación sobre el instrumento meridiano y el péndulo sideral. También Lleras Triana, quien traduce la geometría de Legendre, pensaba intensificar el uso del sextante y del cronómetro por los ingenieros para la confección de nuestras cartas geográficas.

En 1875 regresa José María González al país como miembro acreditado de la “Royal Astronomical Society”, y el Estado le compra un instrumento ecuatorial adaptado a la latitud de Bogotá, un anteojo de pasos meridianos, un teodolito astronómico, un anteojo de 5 ½ pies de distancia focal con montura altacimutal, y un espectroscopio de prismas. Además, se le encomienda la construcción de la cúpula giratoria sobre la escalera, concebida antes por Luis Lleras Triana.

En 1880 y por quinta vez vuelve al Observatorio Astronómico González Benito como su Director, con Ruperto Ferreira como su Subdirector. Reorganizan ambos el centro y aumentan su dotación en momentos en que el ambiente nacional es de interés por la ciencia, según se desprende de la conmemoración que se hace de la casa en que habitó Francisco José de Caldas y de la remodelación del edificio del Observatorio Astronómico.

Gracias a González Benito, en 1881 el Observatorio Astronómico cuenta con cúpula giratoria, un refractor de 16 cm y una estación meteorológica completa. Ese año al Observatorio se le designa una zona para la observación sistemática entre los paralelos 40° y 55°, con declinación norte, y por intermedio del reconocido Director se participa en la unificación del manejo de la hora, asunto del cual tratará el Congreso Mundial de Washington en 1884, durante el cual se adopta como “Meridiano Cero” el de Greenwich.

En 1882, aparece el primer número de los Anales del Observatorio Astronómico Nacional OAN, en Bogotá. También aparece ahora Abelardo Ramos, director de la revista Anales de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, para atacar a González Benito y con ello lograr que no se le renueve el contrato como Director del Observatorio. Para el cargo propone al brillante joven Julio Garavito Armero, su alumno y quien se desempeña como profesor de ingeniería y geodesia en la Escuela de Ingeniería. Es que Abelardo Ramos proviene de la Escuela Americana, tiene una visión utilitarista de la profesión y encuentra en González Benito un personaje incómodo, propio del renacimiento y que no se ajusta al prototipo profesional del ingeniero “moderno” que de astronomía sólo debe conocer los requerimientos de la cartografía sin distraerse en manchas solares, en lluvias de estrellas y en colas de cometas.

En 1885 el fabricante de relojes, Ing. Rafael Nieto Paris, es nombrado director del OAN, quien fabrica un reloj eléctrico ideado por él para realizar mediciones astronómicas en el Observatorio. En 1891 es nombrado director el Matemático e Ingeniero de la Universidad Nacional de Colombia Julio Garavito Armero, considerado el científico en las ciencias exactas más destacado de nuestra historia.

Mientras, refugiado en su casa ubicada en el parque de los Mártires, González Benito construye allí un reconocido observatorio, equipado con un telescopio de 9,5 cm de diámetro y 1,65 cm de distancia focal, sobre montura ecuatorial. Luego, González Benito es presentado por Camilo Flammarion y Bouquet de la Grye a la Sociedad Astronómica de Francia haciéndose miembro de la misma en 1893 en calidad de Miembro Fundador. Pasada la Guerra de los Mil Días en 1903 González Benito propone la creación del Instituto de Colombia, reuniendo las Academias de Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciencia Morales y Políticas; y muere ese mismo año a los 60 años de edad, un día antes de la inauguración del nuevo Instituto.

La Sociedad Colombiana de Ingenieros se había instalado en 1867 cuando su primer presidente, Abelardo Ramos, objetaba asignaturas como elementos de astronomía y geodesia por contemplar el término elementos, y en su defecto reclama una astronomía práctica para que los ingenieros contribuyan a las posiciones geográficas con la debida exactitud y detalle que permitan superar al Atlas de la Misión Corográfica. Entre tanto la Sociedad Colombiana de Ingenieros publicaba en sus anales las efemérides astronómicas para lograr ese cometido. En el Número 57 publicado en 1892, Julio Garavito Armero presenta una serie de artículos titulada “Determinación Astronómica de Coordenadas Geográficas”, donde contempla los métodos más apropiados para determinaciones en latitudes bajas, usando teodolito de hilos micrométricos, lo cual modifica el método Talcott.

En 1902 se crea por decreto la Oficina de Longitudes, y entonces a partir de ahí todas las poblaciones del país referirán sus coordenadas al Observatorio Astronómico, creándose una única base para la definición geográfica del país. La Oficina de Latitudes cuenta entonces con las secciones de astronomía y geodesia, de topografía y de niveles, mientras la Oficina de Historia Natural cuenta las secciones de biología y de minería. Se usarán el Método de Talcott modificado por Garavito y la señal telegráfica con el Observatorio Astronómico, para calcular y reportar las coordenadas a lo largo y ancho del país, con errores que deben ser inferiores a 0,3 seg de tiempo en longitud y a 0,5 seg de arco en latitud. Estos resultados se publican en 1918 y 1921.

El origen de La Oficina de Longitudes parte de la necesidad de delimitar la frontera con Venezuela, como consecuencia del laudo arbitral de la Reina regente de España, en 1891. Para determinar los puntos arcifinios y naturales que servirán de hitos, en nombre de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, Ruperto Ferreira, Modesto Garcés y Julio Garavito elaboran un completo proyecto que incluye telegrafía portátil. Igualmente, la Oficina de Longitudes da posición astronómica a los hitos fronterizos con Brasil y Perú. Jorge Arias de Greiff destaca que el método de Garavito es un perfeccionamiento de uno ideado por el mexicano Díaz Cobarrubias y cuyo proceso de cálculo lo mejoró el insigne matemático venezolano Francisco José Duarte, en Venezuela.

El 20 de Agosto de 1903 en el Observatorio Astronómico se instala la Sociedad Geográfica de Colombia. En 1905 en la Escuela de Ingeniería se gradúan Tomás Aparicio, Belisario Ruiz Wilches y Jorge Álvarez Lleras. En 1934 por iniciativa de Belisario Ruiz Wilches se establece el Instituto Geográfico y Militar con el propósito de lograr la cartografía del País, a partir de la aerofotografía. Así surge Scadta abriéndose este camino pionero en América ya iniciado en Ecuador.

Aparte de los instrumentos de Scadta, llega al Ministerio de Obras Públicas de Colombia un estereoautógrafo marca Wild, y para la Facultad de Matemáticas e Ingeniería un aereocartógrafo marca Photogrametrie. Ambos equipos se instalan en el Observatorio Astronómico y más tarde se trasladan al Instituto Geográfico. De otro lado, para el soporte de la aereofotogrametría, se inicia el establecimiento físico de la red de apoyo, con lo cual la geodesia astronómica será la actividad fundamental para desarrollar una triangulación de primer orden a lo largo y ancho del país.

En 1930 Jorge Álvarez Lleras debe hacer una nueva determinación del Observatorio Astronómico para el datum, usando un antejo de pasos Gustav Heyde y un micrómetro modificado por la Casa Filotécnica de Milán, obteniendo 4° 35' 56" de latitud Norte (contra 4° 35' 55".19 de Garavito en 1897) y 74° 04' 51".30 de longitud Oeste. Hasta acá los trabajos del Instituto Geográfico Militar y Catastral, pues en adelante se recurrirá a métodos estandarizados y exógenos.

JULIO GARAVITO ARMERO (1865-1920): Volviendo a Julio Garavito Armero, este bogotano ingresa de 22 años a la Escuela de Ingeniería, y en 1891 se gradúa de profesor en Matemáticas y de Ingeniero Civil. Un año después, en 1892, es Director del Observatorio Astronómico y se le confieren las cátedras de mecánica racional y de astronomía en la Escuela de Ingeniería. Más adelante trabajará su Método Talcott y aportará a la geodesia, pero también tratará temas como la relatividad de Albert Einstein, y hará trabajos de astronomía observacional y de astronomía dinámica.

Aplica Garavito el método de Olbers para determinar las órbitas de los cometas de 1901 y 1910, usando registros de observación suyos. Preside la comisión para la observación del eclipse de Sol de 1916, visible en Quibdó, Medellín Puerto Berrío y Bucaramanga, para lo cual observa desde Puerto Berrío, y por telégrafo trabaja la parte analítica sobre esta actividad con Jorge Álvarez Lleras, Julio Garzón y Santiago Garavito y otros, en Medellín y Bogotá.

Pero señala Jorge Arias de Greiff que pasados los siglos XVII, XVIII y primera mitad del XIX, brilló Julio Garavito Armero en una de las mayores conquistas de la mente humana: la astronomía dinámica, materia que sirvió para la confección de las tablas y efemérides que prestaron apoyo a exploradores y navegantes. Según Arias de Greiff, valen las menciones de las teorías dinámicas de Jacobi y Hamilton aplicadas por Delaunay al movimiento de la Luna, así como los trabajos de Leverrier y Newcomb complementando las teorías del movimiento planetario, para ponderar el trabajo inconcluso del más importante astrónomo de la historia de Colombia, titulado "Fórmulas Definitivas para el Movimiento de la Luna".

Además de haber logrado demostraciones originales de teoremas relativos al cambio de variables canónicas y trabajos empleando estas variables al método Hamilton–Jacobi para órbitas elípticas, y de haber desarrollado una expresión para el complejo "problema de los tres cuerpos", con las "Fórmulas Definitivas para el Movimiento de la Luna", Julio Garavito quiso alcanzar un instrumento teórico de gran utilidad para preparar efemérides como complemento del cronómetro en la determinación de longitudes.

La mayor complejidad del ya difícil problema radica en la aceleración secular de la Luna, demostrada por el astrónomo inglés Edmond Halley, y en el tratamiento de los errores observacionales, dada la incertidumbre de la fuente que los explica. En 1802 el matemático francés Simon Laplace demuestra la fuente teórica de esa aceleración. En 1827 el francés Marie-Charles Damoiseau las calcula usando métodos numéricos. En 1832 el astrónomo Giovanni Plana elabora un método de rápida convergencia para obtenerlas. En 1846 el científico Pontecoulant (Louis Gustave le Doulcet) elabora otra teoría y hace lo propio por otro difícil camino.

En 1860 y 1867 el francés Charles Delaunay avanza en otro método elegante para representar el movimiento lunar instantáneamente, dado que algunos elementos de la órbita cambian continuamente. En 1864 el danés Peter Andreas Hansen se toma 30 años para desarrollar una teoría más práctica aunque menos elegante, la que se usa hasta 1920. En 1877 George William Hill trabaja una teoría usando un modelo ingenioso.

Finalmente, en 1896, aparecen los trabajos del norteamericano Ernst William Brown en los que se incluye un término empírico para ajustar los cálculos a la deriva del movimiento lunar observado, cuyas tablas finales salen apenas en 1919. Garavito Armero, que no conocía la naturaleza del movimiento, se ocupa en detallar la deriva explicándola como una función en términos del movimiento medio del Sol, y de la diferencia del movimiento de la Luna y el Sol; usa para el efecto la ecuación de la órbita variacional empleando el método de G.W. Hill que emplea coordenadas rectangulares, denominado por Poincaré "Soluciones Periódicas de Primer Género".

Hubiera alcanzado su tarea Julio Garavito, pero muere en Marzo de 1920 a la edad de 54 años. Al entrar en escena los computadores se sustituyen los cálculos de tablas lunares para las efemérides basados en el empleo de los logaritmos: Wallace Eckert como director del laboratorio de la empresa Watson, dirigió la construcción de un número de computadoras innovadoras para realizar cálculos astronómicos, incluyendo la calculadora electrónica de la secuencia selectiva SSEC (1949) y la calculadora naval de la investigación de la artillería NORC (1954). Este profesor de astronomía y pionero de la computación también se hizo famoso por sus cálculos para las misiones Apolo a la Luna.

Por recomendación del Observatorio Astronómico, organismo con el cual Colombia adhiere a la Unión Astronómica Internacional en 1967, el nombre de Julio Garavito Armero se asigna al cráter de la cara oculta de la Luna ubicado en 47°6 Sur y 156°7 Este. Hoy 5 cráteres, éste y otros cuatro más vecinos, llevan estos nombres: Garavito S, C, D, Q, y Y.

El nombre de Francisco José de Caldas no quedó incluido por la restricción de la Unión Astronómica Internacional para los héroes militares, políticos y filósofos propuestos, con menos de 200 años de muertos; y así fue como se presentó la candidatura del "Sabio Caldas" por Jorge Arias de Greiff.

A la muerte de Garavito asume la dirección del Observatorio Astronómico Jorge Álvarez Lleras, después de realizar su viaje a EE UU y Europa en 1919 para conocer sobre el funcionamiento de los servicios meteorológicos, y con el propósito de organizar el Servicio Meteorológico Nacional creado en la Ley 74 de 1916.

Pero es época del gobierno de Marco Fidel Suárez, y el Observatorio será entregado a los religiosos del Observatorio del Ebro en España, como también el Servicio Meteorológico Nacional al Padre Simón Sarasola del Colegio San Bartolomé, a pesar de la polémica surgida por semejantes medidas, entre el gobierno y la Sociedad Colombiana de Ingenieros. En 1921 empezó la observación sismológica en Colombia, por iniciativa de los padres Enrique Pérez Arbeláez quien fuera el Fundador y Director del Observatorio Meteorológico Nacional del Colegio de San Bartolomé de Bogotá, y por el Padre Sarasola.

En 1930 cambia la suerte del Observatorio Astronómico con la llegada de Enrique Olaya Herrera al poder: el Decreto N° 1806 de 1930 reorganiza el Observatorio Astronómico Nacional y asume Jorge Álvarez Lleras su dirección y desarrolla el bitemiscopio de reflexión, un instrumento de utilidad para el estudio del eje polar y la rotación terrestre. Además, concluida la II Guerra Mundial, aparecen otros aparatos de las casas europeas que se originan en este proyecto.

Este discípulo y colaborador de Julio Garavito Armero publica a lo largo de su vida, innumerables obras matemáticas, astronómicas y económicas; pero en 1947 decae la salud de Álvarez Lleras, quien muere un lustro después.

Ahora el nuevo director del Observatorio Astronómico es Belisario Ruiz Wilches, quien ha pasado por el Instituto Geográfico, como uno de sus principales gestores, y de ahí a la Escuela de Ingeniería donde creó el Observatorio Geofísico. Desde el Observatorio Astronómico emplazado en los predios del actual Palacio de Nariño, Ruiz Wilches crea una estación astronómica en los predios de la Universidad Nacional de Colombia, equipada con un telescopio Zeiss de 30 cm de diámetro y 300 cm de distancia focal, de montura ecuatorial adaptada; este instrumento comprado a Francia había pertenecido al Observatorio de Marsella.

Tomado de la [Guía astronómica](#). "La astronomía en Colombia: Perfil histórico". FUENTE PRINCIPAL: Astronomía en Colombia, Arias De Greiff, Jorge. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1980.

3.10 SINERGIA Y PERTINENCIA EN LAS CIENCIAS BÁSICAS



Imagen 21B: Mapa del Nuevo Reino de Granada, en la [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mapa_del_Nuevo_Reino_de_Granada.jpg)

A pesar de algunos desarrollos obtenidos en los campos de las Ciencias Básicas más afines a la Astronomía, como son las Ciencias de la Tierra y la Física, hay mucho por hacer en Colombia ya que tras algunas décadas de labores académicas, a niveles de Maestría y Doctorado, aún no podemos mostrar logros significativos de relevancia internacional, lo que con mayor razón nos obliga a quienes hacemos por la Astronomía a buscar fortalezas y potencialidades, mirando en esa perspectiva más amplia para no quedar reducidos únicamente al fascinante mundo de las estrellas y de paso para posibilitar la atención a nuestros desafíos con el planeta Tierra y el país.

Lo anterior dado que valoramos el aporte que puede hacerse con la ciencia y la tecnología para mejorar la calidad de vida y sabemos de las consecuencias del desarrollo tecnocientífico; y también porque según Colciencias actualmente contamos con 5 grupos académicos en el área de la Astronomía, así: en Arqueoastronomía y Etnoastronomía, en Astronomía y Cosmología, en Astronomía Galáctica, y en Astrofísica (3), y con 5 grupos más en el área de la Ciencia y Tecnología Aeroespacial.

En consecuencia, si observamos los grupos clasificados en Categoría A, tanto de Física como de las Ciencias de la Tierra según la convocatoria de Colciencias al año 2010, los de la Astronomía y de la Ciencia y Tecnología Aeroespacial podrían lograr sinergias, articulándose primero para luego buscar alianzas con algunos de aquellos campos, entre los que aparecen grupos de investigadores en Física Atómica y Molecular, Altas Energías (2), Materia Condensada, Campos y Partículas, Física Teórica del Estado Sólido, Física Teórica de Altas Energías, Geofísica, Magnetismo y Materiales Avanzados, Física del Plasma, Fenomenología de Interacciones Fundamentales, Materiales Semiconductores y Energía Solar, Óptica y Fotónica, Física Computacional en Materia Condensada, y Sistemas Correlacionados. La gran mayoría de estos, a cargo de las universidades públicas dado que los temas en sí no consiguen el interés del Mercado en Colombia.

Y para trazar el camino de las tareas comunes, señalemos temas y motivos para el diálogo de saberes en nuestro contexto. Si examinamos las grandes problemáticas del país, habría que empezar por las deficiencias en materia de investigación y monitoreo climatológico, el retraso en cartografía temática y de detalle, y las limitaciones en telecomunicaciones, tres temas que invitan a considerar la importancia de avanzar en la investigación de los asuntos de la Astronomía Atmosférica y en el Desarrollo Satelital. Si miramos en el terreno de las potencialidades, Colombia que cuenta con una posición geoestratégica al ubicarse en el centro de las Américas y tener acceso a los dos principales océanos de la economía del planeta, posee dos espacios por nosotros inexplorados: su Órbita Geoestacionaria y los Fondos Oceánicos.

Y si buscamos un nicho acorde con nuestras capacidades humanas a pesar de las limitaciones materiales, podemos aprovechar el terreno de la Cosmología en este país donde la inteligencia florece, ya que su estudio no requiere del arsenal instrumental que exige, por ejemplo, la física de partículas.

La conclusión simple de este examen llano del acontecer científico nacional en los campos de la ciencia en que nos ocupamos, invita a pensar en el importante reto que tienen los diez notables colombianos: líderes científicos, empresariales y regionales que participan del recién creado Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e Innovación, y con ellos nosotros desde la academia, para trazar en conjunto políticas que permitan romper las barreras que han impedido que la Ciencia le aporte al desarrollo económico, social y ambiental de Colombia, entre ellas las que dificultan el desarrollo de las denominadas universidades del conocimiento (y la de innovación si se quiere), que son las de la investigación científica, instituciones en sumo grado más exigentes en recursos humanos, instrumentales y presupuestales (y en especial las segundas), que las instituciones de formación profesional. Todo esto, porque la ineficiencia del trabajo aislado e insustancial no puede continuar siendo un lujo a costillas de las prioridades para el desarrollo de la Nación, donde urgen acciones pertinentes, estratégicas y fundamentales en materia de investigación científica y tecnológica que no pueden esperar ni resolverse sin el concurso del Estado. Ed. Circular RAC 599. 14 Mar 2011

Lecturas complementarias**La astronomía en Colombia: perfil histórico.**

Astronomía Muisca del Altiplano Cundiboyacense. La hazaña de Colón, La Expedición de Mutis y la Astronomía en la Nueva Granada, El primer Observatorio Astronómico para América, El criollismo científico a partir de Francisco José de Caldas. González Benito y Julio Garavito. El OAN y la Astronomía colombiana en el Siglo XX. La creación de la Escuela, la Red de Astronomía de Colombia RAC y algunos hechos notables y exponentes de esta actividad. Como nuevos desafíos: La Expedición Botánica de Mutis y la Misión Corográfica de Codazzi, vamos ahora por el conocimiento de nuestra biodiversidad, y por una nueva cartografía temática y de detalle.

Ver en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3254/gonzaloduqueescobar.20097_parte2.pdf

Descubrir el Universo desde Colombia.

Los dos hechos científicos más relevantes en la corta historia de Colombia, son la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada y la Misión Corográfica. Hoy cuando los astrónomos, entre otros asuntos que se ubican en la frontera del conocimiento, intentan conocer la geometría del espacio, la naturaleza de la materia oscura y los misterios del tiempo, en Colombia nuestros científicos tienen pendiente entre otros aportes para la construcción de la Nación, apoyar tareas fundamentales y estratégicas para continuar y complementar la labor de Mutis y de Codazzi.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3161/gonzaloduqueescobar.2009.pdf>

Cultura & Astronomía

Este periplo por los caminos de la ciencia, con información relativa a la astronomía desde las antiguas civilizaciones hasta la época actual, es un material preparado para el Taller de Astronomía que se dicta a alumnos de últimos grados de secundaria, a estudiantes de pregrado y a aficionados a la astronomía desde 1.985 por el Observatorio Astronómico de Manizales OAM, dependencia de la Universidad Nacional de Colombia

Ver en: <https://www.youtube.com/watch?v=TsksqSPMFw&t=412s>

Colombia, por un desarrollo satelital.

Colombia debe cerrar la brecha digital producto del aislamiento geográfico por extensión y relieve, resolver su retraso en cartografía temática y de detalle en mares y regiones continentales, y crear condiciones favorables para promover una conectividad incluyente el sector, incursionado a la era satelital con un sistema satelital, que contemple un satélite geoestacionario y otro de órbita polar

propósitos complementarios: expandir las comunicaciones y cubrir su territorio continental y marítimo. Ver en: <https://godues.wordpress.com/2020/09/07/colombia-por-un-desarrollo-satelital/>

Tránsito de Mercurio

El 9 de mayo de 2016 se pudo ver desde Colombia un tránsito de Mercurio, cuando este planeta entró a su Conjunción Inferior. Este tránsito comenzó a las 6:12 y acabó a las 13:40, hora local. El último tránsito de Mercurio tuvo lugar hace diez años. Los próximos se producirán en noviembre de 2019, noviembre de 2032 y mayo de 2049. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56826/transitodemercurio.pdf>

...

ENLACES A TEMAS DE ECONOMÍA

<u>Aerocafé en tiempos de pandemia. ¿Ajustes a locomotora energética de Colombia?</u>	<u>Desafíos económicos post-pandemia. Economía colombiana: crisis y retos. Ecorregión y bioturismo.</u>	<u>La economía a pique, ¿qué hacer? La economía en la era del conocimiento. Latinoamérica en crisis.</u>
<u>América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento.</u>	<u>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</u>	<u>Lo público como instrumento de desarrollo regional</u>
<u>Anotaciones para un crecimiento previsorio y con desarrollo.</u>	<u>El Río Cauca en el desarrollo de la región. El Río Grande en la Audiencia Ambiental Caribe de la PGN 2020.</u>	<u>Los peajes en Colombia están sobrecapacitados.</u>
<u>Área metropolitana de Manizales. Crecimiento con deuda social.</u>	<u>Ferrocarril Cafetero: un tren andino para integrar el territorio.</u>	<u>Manizales: El futuro de la ciudad. Movilidad y modelo urbano.</u>
<u>Crisis social por disfunciones económicas en Colombia.</u>	<u>Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia.</u>	<u>Navegando el Río Grande de la Magdalena. Plan de CT&I y TIC en Caldas.</u>
<u>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</u>	<u>Fundamentos de Economía y Transportes. Ecorregión y bioturismo.</u>	<u>Plusvalía urbana para viabilizar el POT de Manizales.</u>
<u>Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes.</u>	<u>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</u>	<u>Revolución urbana. desafío para el Eje Cafetero.</u>
<u>Colombia pos covid... ¿qué hacer? Colombia, ¿y la inequidad qué?</u>	<u>Introducción a la teoría económica. Ingeniería, incertidumbre y ética.</u>	<u>Temas cívicos para agendas de desarrollo regional.</u>
<u>Corredor Bimodal Cafetero. CTS, Economía y Territorio.</u>		<u>Tercera vía y desarrollo en Colombia.</u>

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Armero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos “verdes”*

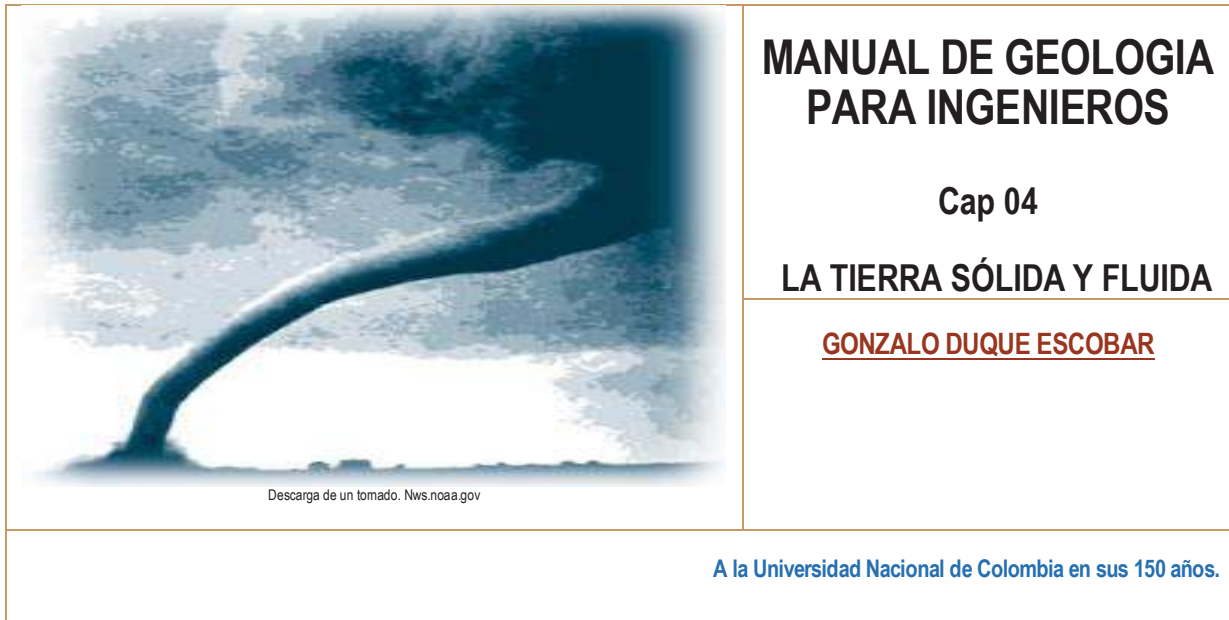
Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



4.1. ATMOSFERA

A nivel del mar la presión es de una atmósfera (una columna de 10 m de agua ó 1 Kg.f / cm²).

Tabla 4. Componentes del aire seco al nivel del mar.

Molécula	% en volumen	Molécula	% en volumen
N ₂	78,08	He	0,00052
O ₂	20,95	Kr	0,00011
Ar	0,93	H ₂	0,00005
CO ₂	0,031	CH ₂	0,00002
Ne	0,0018		

Durán-Gold-Taberner. Atlas de Geología, Edibook S. A. 1992.

La composición porcentual de la atmósfera está dominada por el nitrógeno (78.88%) y el oxígeno (20.95%). En los primeros niveles de la atmósfera (región de la troposfera), el gradiente de densidad disminuye: cada 5.5 km. en altitud se supera el 50% de la masa atmosférica, por ejemplo a 11 km. de altitud, se tiene por debajo el 75% y por encima el 25% de la masa atmosférica; también en esta región el gradiente térmico cae, pues la temperatura promedio disminuye en 6°C por kilómetro de elevación.

El nitrógeno atmosférico se recicla mediante las actividades humanas y la acción de los microorganismos sobre los desperdicios animales. El oxígeno es reciclado principalmente por la respiración de los animales y las plantas mediante la acción de la fotosíntesis. El dióxido de carbono, que se mezcla con el aire, se recicla mediante la respiración y la fotosíntesis en la dirección opuesta al oxígeno, pero también bajo su forma de H₂. El ozono es el producto de la escisión de la molécula de oxígeno en átomos individuales, por acción de la radiación solar, y que se une a moléculas de oxígeno biatómico.

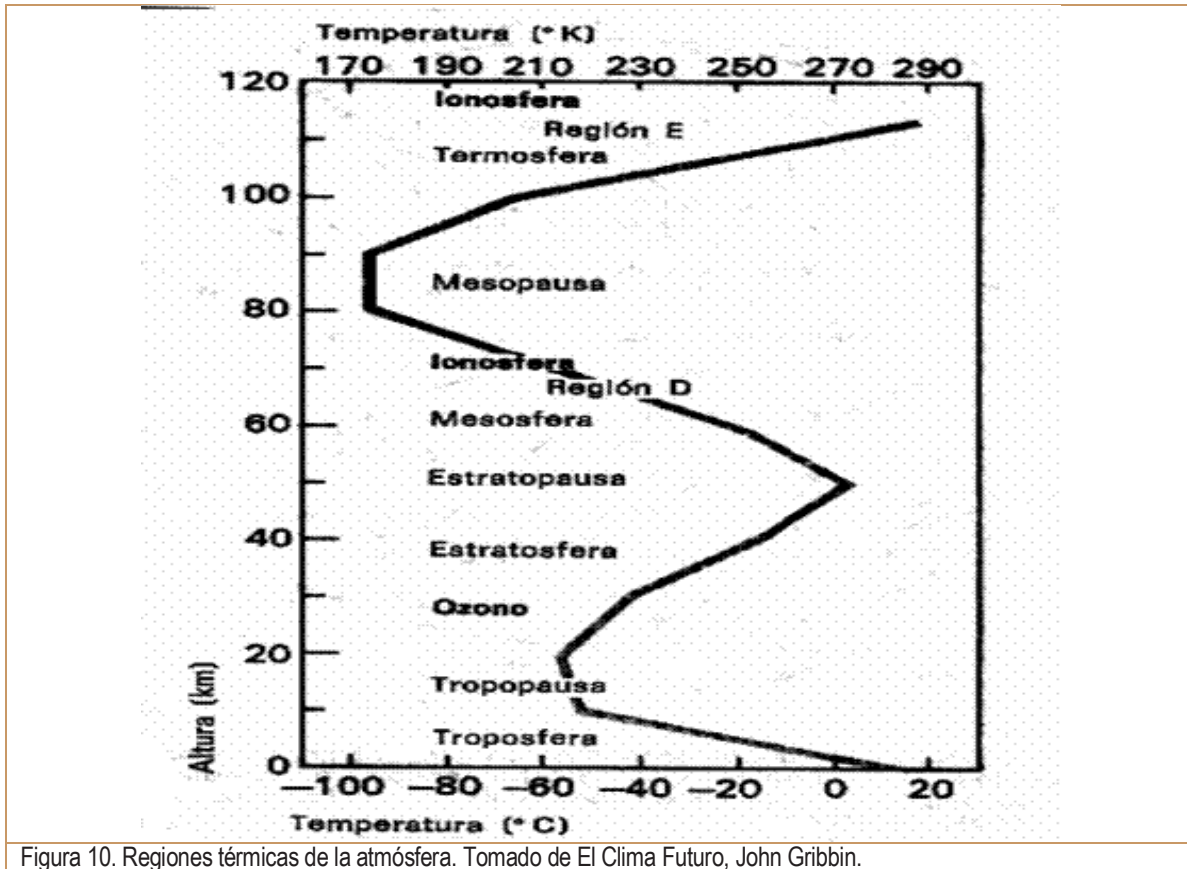


Figura 10. Regiones térmicas de la atmósfera. Tomado de El Clima Futuro, John Gribbin.

Químicamente la atmósfera se divide en tres capas: la homosfera sobre los primeros 100 km., con proporción constante de componentes; la heterosfera, hasta los 900 km., con predominio de gases ligeros, y la exosfera, donde se da el escape de las partículas ligeras.

Pero también físicamente la atmósfera puede dividirse convenientemente en capas térmicas, donde el nivel más bajo es la troposfera o esfera de cambios variables, es decir, de cambios meteorológicos; allí las nubes se pueden clasificar como bajas hasta 2500 m.s.n.m., intermedias entre 2500 y 6000 y altas por encima de los 6000 m.s.n.m. Por el color y el ambiente las nubes pueden ser de agua o de hielo; las primeras dan colores grisáceos debido al agua ya condensada, y en las segundas se trata de vapor de agua por debajo del punto de congelación, origen del granizo. Por la morfología se denominan las nubes como estratos, nimbos, cúmulos y cirros.

Por encima de la troposfera está la estratosfera, a unos 10 km. de altitud; es la región de las corrientes de chorro de la zona de interconfluencia tropical que genera los cambios climáticos de lluvia y sequedad intertropicales. A 30 km., y dentro de la estratosfera, está la capa de Ozono de la cual depende la vida en la Tierra; más arriba está la región caliente que termina en la estratopausa a unos 50 km. de altitud. El clima bimodal de Colombia está controlado por la zona de interconfluencia tropical. Se trata de un Ecuador meteorológico donde convergen los Alisios del nordeste y sudeste.

Más arriba se encuentra la mesosfera donde la temperatura cae hasta -80°C y que termina en la mesopausa a 80 km. de altitud.

Por encima de la mesopausa se da la reflexión de las ondas de radio en la noche y por debajo de ella la reflexión en el día. En la mesopausa se presenta un contraste brusco de temperaturas pese a que la densidad del aire es del orden de la millonésima de g/cm^3 .

La última región es la termosfera, llamada ionosfera porque las capas de la región están calientes y enrarecidas; allí se forman las auroras polares.

A 200 km. orbitan satélites para observar la superficie del planeta, útiles en estudios geológicos, militares y evaluación de cosechas; a 900 km. los satélites para observar el espacio exterior: es la altura alcanzada en programas tipo trasbordador. Algunos satélites de observación meteorológica se ubican a 35000 Km., desde donde obtienen una visión panorámica del planeta.

A más de 900 Km., en la exosfera, se hacen investigaciones relacionadas con los nuevos materiales y la biotecnología, dos tecnologías que entrarán en escena para el tercer milenio.

En la exosfera tenemos la magnetosfera alcanzada por los rayos cósmicos, es la zona de las fajas de Van Allen. La presión del viento solar ejercida sobre la magnetosfera genera una deformación del campo magnético terrestre y una dinámica de pulsaciones. En las épocas de tormentas magnéticas solares, asociadas a los ciclos mensuales de manchas solares, la intensidad del campo magnético terrestre muestra bruscas oscilaciones que interfieren en las medidas de prospección magnetométrica que ejecutan los geofísicos. Es importante el magnetismo terrestre no sólo por las posibilidades que genera para la navegación sino también para la prospección de recursos minerales y administración de sistemas de riego útiles en los planes de seguridad agroalimentaria.

4.2. LA TIERRA SÓLIDA

Es un geode de capas concéntricas con densidad creciente hacia el interior y radio medio de 6370 Km. La observación directa del interior de la Tierra sólo es factible para las zonas más superficiales; sobre la composición y estructura del resto se dispone de la información extraída de fenómenos naturales, principalmente del comportamiento de las ondas sísmicas.

Cuando se produce un sismo parten desde el hipocentro ondas P y S que se propagan en todas direcciones siguiendo leyes perfectamente conocidas. Así, las variaciones de la trayectoria y velocidad de estas ondas, obedecen a cambios de la naturaleza y estructura del medio por el que viajan.

En general, a profundidades pequeñas, 30 a 40 Km. bajo los continentes y 6 a 12 Km. bajo los océanos, la velocidad aumenta bruscamente. A 2900 Km. la velocidad de las ondas P disminuye en tanto que las ondas S desaparecen; estos indicios se interpretan como discontinuidades o zonas que delimitan capas en la estructura del planeta.

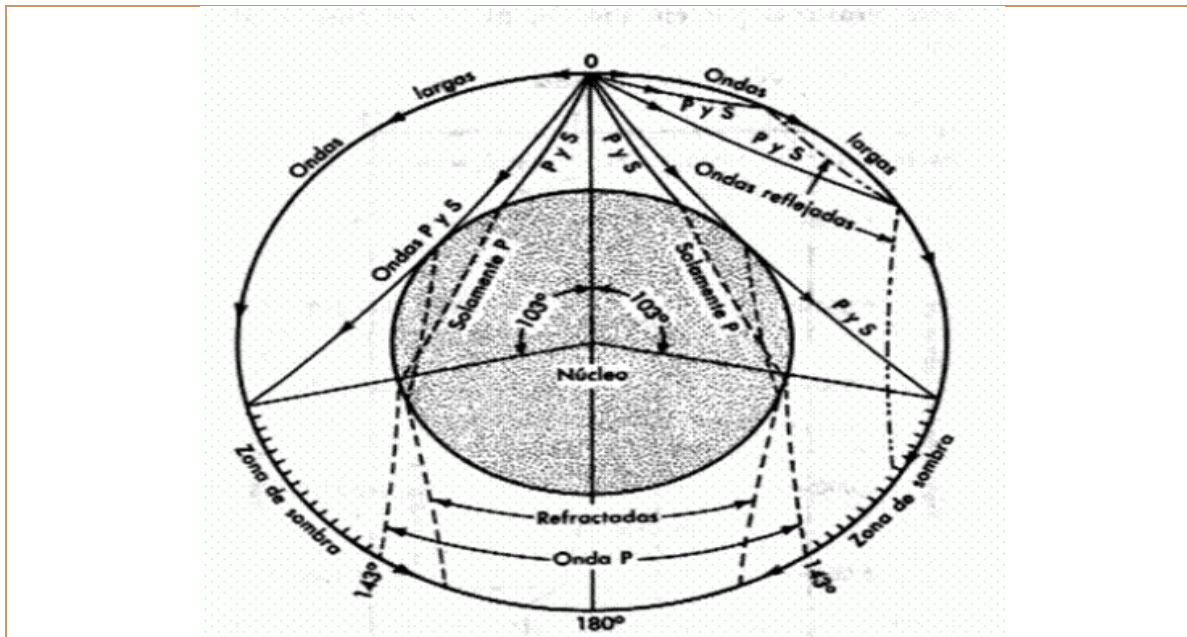


Figura 11 Trayectoria de las ondas sísmicas. A partir del epicentro las ondas marchan con trayectorias similares a las propuestas, pues la densidad de la Tierra responde a un modelo de capas esféricas concéntricas, cuya geometría se anuncia con las trayectorias críticas. Tomado de Longwell y Flint, Geología Física.

El modelo clásico resulta de la interpretación del comportamiento de las ondas sísmicas. Ninguna perforación ha llegado al MOHO, discontinuidad que separa la corteza del manto superior. En la corteza distinguimos la corteza oceánica densa (SIMA) y la continental ligera (SIAL), separadas ambas por la discontinuidad de CONRAD que explicaría el comportamiento anómalo de ondas sísmicas, probablemente por una zona andesítica entre las dos regiones.

Por debajo de la corteza encontramos el manto superior, donde se establecen las corrientes de convección; se trata de una masa en flujo plástico cuya composición presenta desorden atómico. Dentro de ella, a 480 Km. de profundidad, está la discontinuidad de los 20°, llamada así porque una estación sismológica ubicada a 2240 Km. del epicentro detecta un comportamiento anómalo de las ondas sísmicas interiores (1° son casi 112 Km. sobre la superficie).

Tabla 5. Estructura de la Tierra.

Componente Estructural	Profundidad (Km.)	Presión (kbar)	Densidad (Kg/m ³)	Temperatura (°C)
Corteza	0-50	0-100	0-3000	0-500
Discontinuidad de Mohorovicic				
Manto superior	50-400	100-150	3000-3500	500-1750
Zona transición	400-1000	150-325	3500-4500	1750-2000
Manto profundo	1000-2900	325-1325	4500-10000	2000-3000
Discontinuidad de Gutenberg				
Núcleo exterior	2900-5100	1325-3300	10000-2100	3000-3600
Núcleo sólido	5100-6370	3300-3750	12100-12500	3600-4000

Adaptado de Sydney Clark. La estructura de la Tierra, Orbis, 1986.

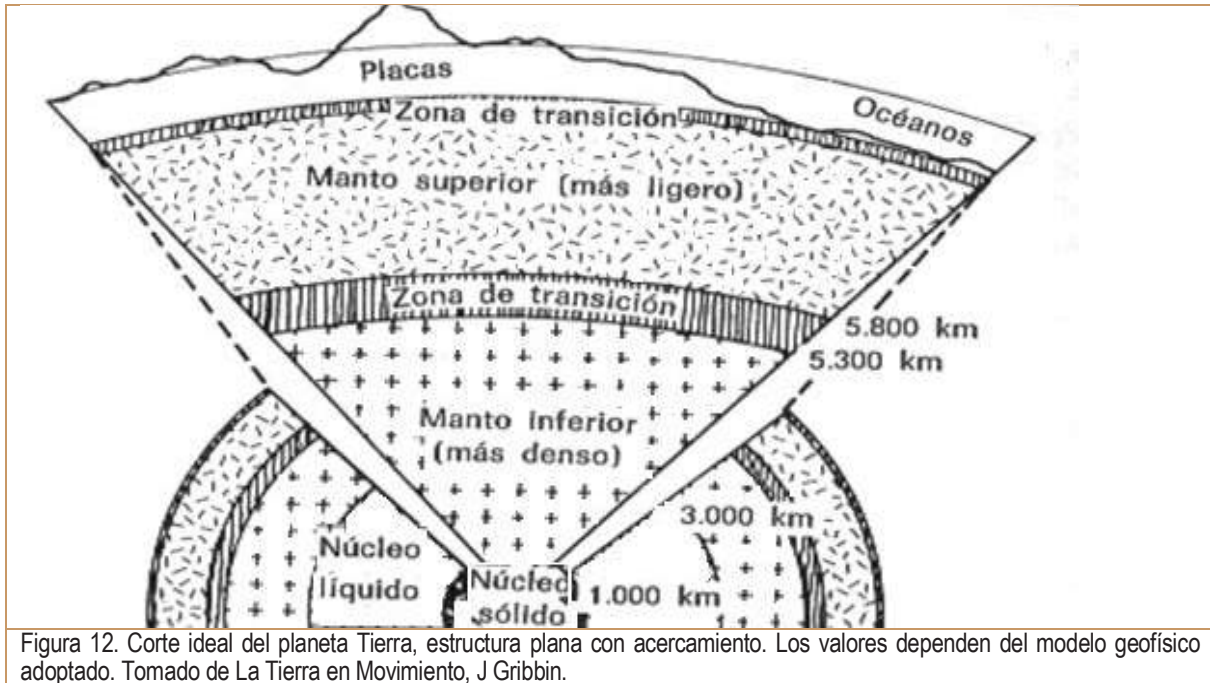


Figura 12. Corte ideal del planeta Tierra, estructura plana con acercamiento. Los valores dependen del modelo geofísico adoptado. Tomado de La Tierra en Movimiento, J Gribbin.

El manto profundo con densidad entre 4.3 y 5.5 g/cm³, termina en la discontinuidad de Gutenberg; se considera sólido y con ordenamiento atómico. Más al interior encontramos el núcleo de Fe y Ni; se supone que la envoltura exterior es líquida gaseosa puesto que puede ser cruzada por las ondas P pero no por las S. Por último está el núcleo sólido (supuesto así porque las ondas S reaparecen) con densidad de 15 g/cm³ y una temperatura del orden de los 5000°C.

No obstante, el promedio de densidad de la Tierra sólida es de 5.5 g/cm³, en virtud de la participación del manto inferior (5.0 g/cm³) y el núcleo exterior (5.7 g/cm³).

Un modelo actual de la Tierra sólida, a la luz de la teoría de la tectónica de placas y de la trayectoria de las ondas sísmicas debe asumir rangos de espesores de capas, densidades y composiciones de materiales terrestres, además de irregularidades de forma y errores de observación. Pueden compararse los de la tabla anterior con los de la figura siguiente.

La corteza está dividida en grandes placas que se generan en las dorsales oceánicas y se destruyen en las fosas oceánicas. Nacen del manto y regresan al manto.

La corteza oceánica alcanza una vida media de 150 millones de años, como si la Tierra mudara de piel. Sobre la corteza oceánica flota la continental, y cabalgándola puede alcanzar edades hasta de 3.000 millones de años. La parte externa de la Tierra o litosfera, la conforman las placas rígidas constituidas por la corteza propiamente dicha y el manto superior.

Por debajo de la litosfera tenemos la astenosfera que es el manto blando, entre 100 y 700 Km. de profundidad, donde las corrientes de convección están en concurso. Más abajo, la mesosfera equivale al manto profundo y rígido. La última región es el núcleo, ya descrito.

4.2.1 Teoría de la isostasia. Explica las raíces de las montañas, y por lo tanto, la manera como un continente flota sobre la corteza oceánica. Esta teoría de presiones iguales, en la cual se soportan las anteriores hipótesis, se vale de dos modelos isostáticos, uno vertical propuesto por Airy y otro horizontal, por Pratt.

El modelo isostático vertical, supone una superficie isostática que soporta en cada uno de sus puntos el peso de una columna compuesta de SIAL y de SIMA; en los continentes el SIAL tiene mayor espesor que el SIMA, en los ambientes oceánicos lo contrario. El modelo isostático horizontal supone que cada punto de la superficie isostática soporta el peso de una columna de SIAL en la zona de los continentes o de SIMA en las zonas oceánicas.

El proyecto MOHOLE, nacido en el año geofísico internacional (1950), propuso hacer una perforación para alcanzar el manto terrestre cuya localización se basa en las siguientes premisas: el SIAL flota sobre el SIMA y entre ambos el contraste de densidades es del 10% (2.7 y 3.0), respectivamente. Si un témpano de hielo emerge el 10% sobre el agua (pues las densidades son 0,9 y 1,0 respectivamente), lo mismo hará el SIAL sobre el SIMA.

Así, la perforación tendrá que buscar las grandes depresiones de la corteza terrestre para evitar las raíces de las montañas; si se utilizan las fosas oceánicas, obviando la profundidad del océano, sería necesario perforar 4 Km. de roca para alcanzar el manto.

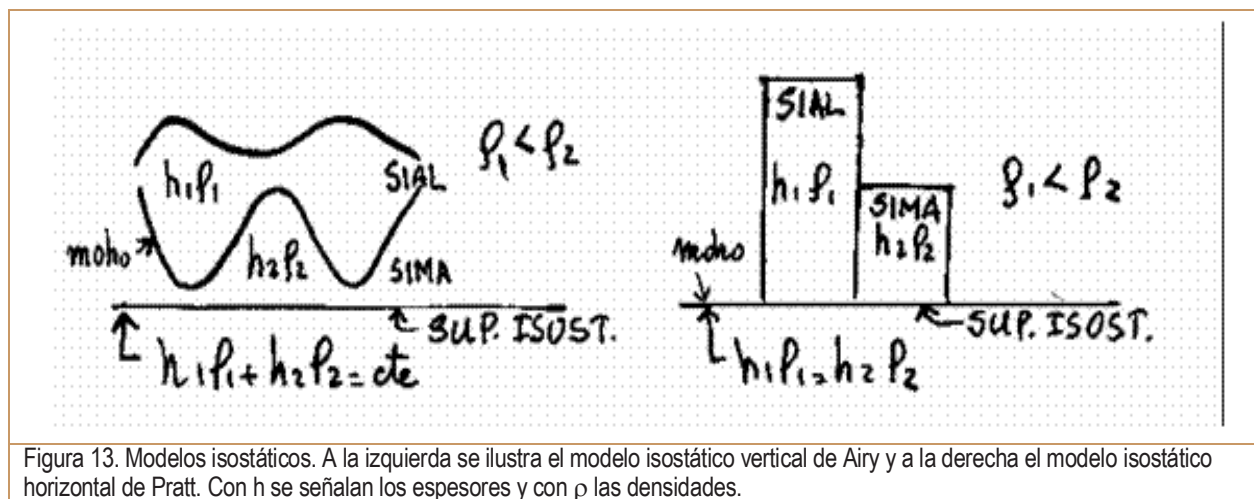


Figura 13. Modelos isostáticos. A la izquierda se ilustra el modelo isostático vertical de Airy y a la derecha el modelo isostático horizontal de Pratt. Con h se señalan los espesores y con ρ las densidades.

En la superficie isostática las presiones litostáticas dependen del modelo asumido. Deberá tenerse en cuenta que el espesor medio de la corteza en las zonas continentales es de 60 Km., contra sólo 5 Km. en las zonas oceánicas, de conformidad con el principio de la isostasia

Tabla 6. Composición promedio de la corteza, del manto y del planeta Tierra.

Manto % en peso		Corteza % en peso		Tierra % en peso	
O	44,07	O	45,60	Fe	35,00
Mg	22,61	Si	27,30	O	30,00
Si	21,10	Al	8,36	Si	15,00
Fe	6,57	Fe	6,22	Mg	13,00
Ca	2,20	CA	4,66	Ni	2,40
Al	1,87	Mg	2,76	S	1,90
Ti	0,43	Na	2,27	Ca	1,10
Na	0,42	K	1,84	Al	1,10
Cr	0,29	Ti	0,63	Na	0,57
Ni	0,16	H	0,15	Cr	0,26
K	0,11	P	0,11	Mn	0,22
Mn	0,11	Mn	0,11	Co	0,13

Durán-Gold-Taberner. Atlas de Geología, Edibook S. A. 1992.

4.3. HIDROSFERA

Definitivamente, se vive en el planeta mar. Los océanos, con una superficie de 360 millones de Km.², se constituyen en uno de los nuevos espacios para el hombre y fuente de recursos naturales. Cubren 4/5 del hemisferio Sur y más de 3/5 del hemisferio Norte. La densidad

media de la hidrosfera es de 1gr/cm³. La composición de los mares es: 96.4% de agua, 3.5% de sales (de Cl, Na, Mg, S, Ca, K, Br, B, Sr) y 0.1% de otros elementos.

El mar es una masa de agua salada que cubre la mayor parte de la superficie terrestre y cada una de las partes en que se considera dividida dicha masa.

En conjunto los mares, lagos y ríos cubren el 70% de la superficie de la Tierra y suman 1.500 millones de km.³. Los mares ocupan el 85% del volumen de las aguas de la Tierra. Por la acción de las mareas, las corrientes marinas y el oleaje, se encuentran constantemente en movimiento.

Cuadro 4. La composición del agua del mar

Compuesto	Fórmula	Gramos *	% de Sales
Cloruro de sodio	Cl Na	27,213	77,558
Cloruro de magnesio	Cl ₂ Mg	3,807	10,878
Sulfato de magnesio	SO ₄ Mg	1,658	4,737
Sulfato de calcio	SO ₄ Ca	1,260	3,600
Sulfato de potasio	SO ₄ K ₂	0,863	2,465
Carbonato de calcio	CO ₃ Ca	0,123	0,345
Bromuro de magnesio	Br ₂ Mg	0,076	0,217

Raymond Furon. El agua en el mundo, Payot, 1967 * Composición en 35 gr de sales por litro de agua de mar.

Colombia posee dos océanos y un lugar de privilegio por su posición geoestratégica. Además, es el cuarto país del mundo por su riqueza hídrica, enriquecida de biodiversidad. El fondo del mar es muy variado y posee gran riqueza de formas: fosas, dorsales, cuencas, plataformas, surcos, etc. En el mar de zócalo y en el talud continental, se continúan las formas de tierra firme. En el perfil hipsográfico, el zócalo continental se señala como plataforma continental, la cual emergió en los períodos de glaciación, y hoy se encuentra cubierta de agua; esta plataforma que llega en promedio a 150 m de profundidad, extendiéndose 200 km. mar adentro, es de interés para las naciones por sus recursos biológicos y mineros.

Mar adentro el relieve oceánico resulta muy accidentado, se presentan cordilleras cuyos picos explican arcos de islas y otras formas del relieve marino. La relación entre profundidades y alturas de las tierras sumergidas y emergidas muestra predominio de las primeras: en la profundidad media es de 3760 m (destacándose la fosa de las Marianas a 11033 m de profundidad) y en las emergidas el promedio alcanza sólo 822 m (destacándose el Everest con 8848 m). El promedio de una y otra porción da aproximadamente 3000 m sumergidos.

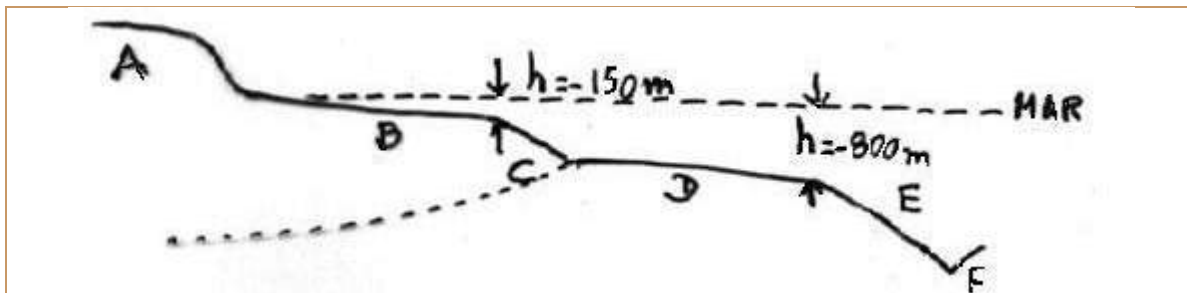


Figura 14. Perfil hipsográfico. De izquierda a derecha: A. continente, B. plataforma continental, C. talud continental, D. plataforma pelágica, E. talud oceánico, F. fosa abisal. Adaptado de Diccionario Rioduero de Geología.

4.4. EL CLIMA MUNDIAL

Las zonas climáticas de la Tierra son una de las características más importantes del planeta, que aparecen determinando el paisaje, la vegetación y la vida animal, y estableciendo un límite a la explotación humana del entorno. Tienen un profundo efecto sobre la cultura. Las condiciones climáticas determinan los niveles de actividad económica, y no es casualidad que los desarrollos industriales se localicen con preferencia dentro de la región climática templada.

El clima, o modelo meteorológico a largo plazo de una región, depende de varios factores: la latitud, que determina lo caliente o fría de una zona, como la extensión e influencia de sus estaciones; las características de las masas de aire predominantes, sean calientes o frías y

húmedas o secas, y los factores físicos tales como la distribución relativa de la tierra, el mar, las montañas, los valles, los bosques y los glaciares.

Las regiones ecuatoriales son cálidas durante todo el año porque las masas de aire llegadas a ella son cálidas, húmedas y llevan lluvias regulares a lo largo de todo el año. Los climas monzónicos de la India el sudeste asiático y China deben sus características a sus vientos estacionales provenientes de direcciones opuestas; vientos cálidos y húmedos que se alternan con otros cálidos y secos para producir veranos nublados y húmedos e inviernos secos.

Los climas desérticos propios de amplias zonas situadas a ambos lados del ecuador, están situados en las regiones anticiclónicas y estables donde el aire cálido y seco origina cielos despejados y poca lluvia.

En las altitudes medias de ambos hemisferios el aire subtropical cálido suele yuxtaponerse al aire frío subpolar, lo que da origen a frecuentes perturbaciones. Las áreas de estas zonas tienen el clima templado, disfrutando del aire subtropical en verano pero padeciendo en invierno corrientes ocasionales de aire frío subpolar.

Los climas mediterráneos de California, el sudeste de Australia y la propia región mediterránea se encuentran generalmente en las costas occidentales de los continentes con tendencia a ser secos en verano y tener inviernos suaves y poco lluviosos.

Más cerca de los polos, las regiones climáticas están controladas por las masas de aire polar, origen de tiempo frío y seco a lo largo de todo el año con breves veranos soleados.

4.4.1 El clima polar. Como el de Vostok en la Antártida y Groenlandia, muestra inviernos largos y fríos, y casi ninguna precipitación, pues los polos son desiertos.

4.4.2 El clima de taiga. Como el de Alaska, la península del Labrador y Yakutsk en la Siberia Oriental, muestra ligera precipitación, veranos cortos y fríos en inviernos largos muy fríos.

4.4.3 El clima de montaña. Como el de ciudad de Méjico y los andes suramericanos, muestra un clima que varía con la altitud, la latitud y la exposición a los rayos solares.

4.4.4 El clima de estepa. Como el de Cloncurry Australia, Irán y Nigeria, muestra ligera precipitación, veranos cálidos e inviernos fríos en algunos lugares.

4.4.5 El clima tropical. Como el de Manaos Brasil, Borneo, Java y Sumatra, muestra lluvias densas con sólo uno o dos meses secos, además calor bochornoso.

4.4.6 Clima templado. Como el de Amsterdam Holanda, la región de los grandes lagos y el sur de Chile, muestra precipitación en todas las estaciones y temperaturas variables.

4.4.7 Clima monzónico y subtropical. Como del de Madrás en la India, la Florida y los Llanos Orientales y la Costa Norte colombiana; siempre es caluroso y presenta a menudo estaciones secas y lluviosas.

4.4.8 Clima mediterráneo. Como el de Orán en el norte de África y California, es cálido, tiene precipitaciones leves, inviernos suaves y veranos secos.

4.4.9 Clima desértico cálido. Como el de Assuán en Egipto, la península de California, Namibia y el norte de Chile, que tienen precipitaciones insignificantes y todos los meses calurosos.

4.5. LOS ELEMENTOS DEL CLIMA

Son un conjunto de fenómenos de mucha variabilidad. Los más importantes en nuestro medio son la precipitación y la temperatura del aire, que se combinan con otros elementos como la humedad relativa, el brillo solar, la nubosidad, la radiación y los vientos. Los factores y elementos del clima se diferencian entre sí en que los primeros son fijos para cada lugar; como son la latitud, la altitud y la exposición, y los segundos varían continuamente, pero se correlacionan con los factores para la definición del clima.

4.5.1 La precipitación. Sin agua no existiría vida; si contribuye a la formación del suelo, también lo erosiona. Las lluvias se miden en pluviómetros, al milímetro, el cual equivale a un litro de agua por metro cuadrado. Al analizar la precipitación de un lugar debe hacerse referencia a la intensidad, duración, frecuencia y distribución de los aguaceros a lo largo del año.

4.5.2 La temperatura. Es el elemento climático que más relación tiene con la distribución de los cultivos y se origina de la energía radiante del Sol. También varía en estrecha relación con la altitud permitiendo clasificar los pisos térmicos caliente, templado, frío y páramo, conforme las altitudes varían de kilómetro en kilómetro. Importa siempre la oscilación diaria entre día y noche.

4.5.3 La radiación e irradiación. La primera alude a la caída directa de los rayos solares sobre la superficie terrestre y la segunda al desprendimiento de ondas calóricas de la superficie de la tierra para dispersarse en la atmósfera. De ellos depende la variación de la temperatura entre día y noche. Donde hay baja humedad relativa, como en la sabana, se dan heladas en la noche después de días con alta radiación. En las vertientes, donde la humedad relativa y la nubosidad es alta la radiación es baja y no se dan heladas porque la irradiación o pérdida de calor es escasa.

4.5.4 La humedad del aire. Es el agua existente en forma de vapor y se relaciona directamente con la temperatura. Por cada 15°C de temperatura se puede doblar en peso la cantidad de vapor de agua del aire y al contrario, cayendo la temperatura se pierde vapor de agua en forma de neblina, llovizna o lluvia. La humedad es absoluta si alude a la cantidad de vapor de agua, en gramos, por unidad de volumen de aire, en metros cúbicos. La humedad relativa si alude a la proporción de vapor de agua en relación con el que podría contener en el punto de saturación. Esta se da en %.

4.5.5 El brillo solar. Son las horas de Sol que llegan cada año a la superficie terrestre. Las zonas con alta nubosidad tienen bajo brillo solar. Para medirlo se usa el heliógrafo, instrumento que concentra los rayos del Sol en una esfera de cristal, y los hace incidir en una cinta de papel que quema cuando la intensidad calorífica por centímetro cuadrado y minuto alcanza más de 0.8 calorías.

4.5.6 La nubosidad. Alude a la cantidad de nubes que se presentan en la atmósfera, originadas por concentración de vapor de agua y que pueden condensarse produciendo lluvia. La presencia de nubes se debe a la circulación de vientos intertropicales y de valle a montaña. Nuestro clima es bimodal en razón de que la zona de interconfluencia tropical se desplaza en diciembre hacia el Perú y en junio hacia Cuba, generando dos épocas de lluvia en su paso por Colombia. Las zonas de laderas, contiguas a las partes altas, de la zona andina colombiana, se caracterizan por la frecuente presencia de nubes que en el día circulan desde los valles del Cauca y el Magdalena, a las cordilleras vecinas.

4.5.7 La presión atmosférica. Es el peso de una columna de aire, que a nivel del mar de 760 mm de mercurio. A nivel del nevado del Ruiz desciende a 380 mm. También disminuye la presión atmosférica con la temperatura y el contenido de humedad del aire. Por regla general el aire caliente se expande haciéndose más liviano, pero también con el calor puede aumentar la cantidad de vapor de agua en el aire, caso en el cual su densidad se incrementa haciéndolo más pesado.

4.6. Los vientos. Son movimientos de masa de aire entre zonas de alta y baja presión. La erosión eólica no es frecuente en zonas de ladera, pero los vientos persistentes traen como consecuencia el secamiento del suelo, lo que ocasiona aridez. Sobre corrientes oceánicas frías, sobre lagos y sobre valles bajos (donde la masa atmosférica sobre yacente atenúa la radiación solar), el aire es relativamente frío y suele asentarse, razón por la cual, se establece una zona de alta presión.

4.6. DINÁMICAS DEL CLIMA ANDINO EN COLOMBIA

Colombia comprende de presenta seis regiones naturales, así: la **Andina**, cuya superficie alcanza 305.000 km². Por el este, la **Amazonía**, con una superficie de 403.348 km² y la **Orinoquía**, cuya superficie es 310.000 Km². Al norte del país, la región **Caribe**, cuya superficie es 132.218 Km², y al este la región **Pacífica** con una superficie de 83.170 Km²; además, por ambos costados además de estas regiones continentales cuenta con áreas oceánicas, representada por la región **Insular**, tanto del Caribe como del Pacífico Colombiano.

En Colombia, aunque gracias a la presencia de las cordilleras se tiene todos los climas, en su zona andina predomina el de montaña tropical, mientras que en los valles interandinos el clima dominante es el de selva tropical ecuatorial. Dicha región, biodiversa por demás, muestra temperaturas medias que varían entre 28° en los ambientes cálidos y húmedos de las zonas bajas, hasta 0° C bajo cero en las cumbres nevadas.

El clima de la **Región Andina** de Colombia es bimodal: las lluvias se inician con los equinoccios y los veranos con los solsticios; además está condicionado por la temperatura del Océano Pacífico: en consecuencia, para la región andina, las temporadas de lluvias inician con los **Equinoccios**, en Marzo 21 y Septiembre 22, mientras las temporadas veraniegas lo hacen con los **Solsticios**, a partir de Junio 21 y Diciembre 22.

Durante los años de **El Niño** las temporadas veraniegas son en promedio más secas, arrecian los incendios forestales y los huracanes en el Caribe. Y durante **La Niña**, las lluvias y deslizamientos son el común denominador, lo que se refleja en aumento inusitado de los caudales de los ríos e inundaciones en las zonas bajas mal drenadas, además de pérdidas económicas por bloqueo de vías.

Los **Llanos Orientales**, salvo en la Serranía de La Macarena, presentan un clima intertropical lluvioso de sabana, con una estación de lluvias muy marcada y otra de sequía. La temperatura media anual es de 27° C, con máximos y mínimos anuales de 33° y 22° C, en su orden.

En tanto, al sur se pasa del clima de sabana al Clima húmedo y lluvioso, para continuar con el de selva súper húmeda en **La Amazonía**, donde el clima húmedo y cálido, con 28°C de temperatura promedio, presenta lluvias abundantes durante todo el año.

Mientras en la **Región Pacífica** prevalece un clima cálido con temperatura media de 28°C y un régimen pluviométrico intenso, en la **Región del Caribe** colombiano predomina un clima cálido donde alternan épocas de sequía y lluvias continuas, y una marcada influencia de los vientos alisios del Nor-Este, en la zona más norte.

En la región insular del Caribe, el **Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina**, muestra un clima cálido semi-húmedo, con un período de lluvias que se concentra entre octubre y noviembre, al estar influenciado por los alisios del Nor-Este. La temperatura media anual es de 27,3°C.

4.6.1 Eventos climáticos extremos en Colombia *

Nuestra problemática contempla la amenaza del cambio climático con sus graves consecuencias hidrogeológicas, en un escenario de cuencas deforestadas y frágiles montañas, con usos conflictivos del suelo como las de la zona andina colombiana.

Mientras La Niña hace más húmedos o agudos los inviernos, en temporadas del Niño tendremos veranos más intensos con riesgo de sequías e incendios forestales, dado el carácter bimodal del clima de la zona andina colombiana.

Con el calentamiento global, se han exacerbado los eventos climáticos extremos, incrementándose su intensidad y frecuencia. Esto es, se ha dado un cambio en la amenaza hidrometeorológica, conforme los períodos de retorno de los eventos extremos se han acortado por el calentamiento global, lo que también incrementa el riesgo, y por lo tanto la necesidad de emplear diseños que conducen a obras más costosas para mantener el mismo estándar en los factores de seguridad.

Al observar las dos últimas Niñas 2000/7/8 y 2010/11, pese a su condición intrínseca similar y moderada, los efectos dejan ver una dinámica creciente del calentamiento global, que anuncia consecuencias cada vez mayores, tal cual lo advertimos al observar la Sabana de Bogotá convertida en una “Venecia” y la lista de 30 municipios colombianos como Gramalote, que afectados por las pasadas olas invernales de la segunda Niña, requieren reasentamiento.

Mientras en la primera Niña se afectaron solo 100 municipios y decenas de miles de colombianos, en la segunda Niña fueron 400 los municipios y millones los colombianos que resultaron damnificados. Se puede calcular el **Riesgo R**, para una obra civil con una **vida útil determinada** de **n** años, en función del **Período de Retorno Tr** de una amenaza dada. Veamos cómo se hace esto:

En la siguiente fórmula: **R** = Riesgo de falla, **Tr** = Período de retorno de las amenazas y **n** = vida útil de una obra. **Tr** y **n**, en años. La conclusión es que las obras se diseñan del lado de la falla, donde **R > 50%** pues de lo contrario la ciudad no sería viable: obsérvense los valores de la diagonal.

Como fundamento, **1/Tr** es la probabilidad temporal del evento.

$$R=1-(1-1/Tr)^n$$

Valores de R	Años	n = Vida útil de una obra						
		10	25	50	100	250	500	1000
Tr = Período de retorno de la amenaza	10	0,65	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	25	0,34	0,64	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00
	50	0,18	0,40	0,64	0,87	0,99	1,00	1,00
	100	0,10	0,22	0,39	0,63	0,92	0,99	1,00
	250	0,04	0,10	0,18	0,33	0,63	0,87	0,98
	500	0,02	0,05	0,10	0,18	0,39	0,63	0,86
	1000	0,01	0,02	0,05	0,10	0,22	0,39	0,63

TABLA. Cálculo del riesgo $R=1-(1-1/Tr)^n$

Obsérvese el incremento de R de **0,63 a 0,98** para una obra con una vida útil “n” de 100 años, cuando el período de retorno “Tr” de la amenaza cambia de 100 a 25 años: es el caso de los eventos hidrometeorológicos, exacerbados por el calentamiento global.

Para la amenaza sísmica en Colombia, las obras fundamentales se diseñan con una vida útil de 100 años, considerando un evento sísmico de diseño con un período de retorno de 475 años.

Ahora, respecto a la confiabilidad de los diseños, mientras las obras subterráneas como en el caso de túneles y cimentaciones sometidas a grandes cargas, comportan una incertidumbre del 30%, las estructuras de concreto suelen tener incertidumbres del 6%. En los ambientes tropicales, donde los suelos residuales y macizos rocosos presentan mayores complejidades (tectonismo, vulcanismo, suelos especiales...), la incertidumbre suele ser aún mayor.

En las obras subterráneas, dicha incertidumbre está asociada a la disposición aleatoria de las discontinuidades y variaciones litológicas imponderables, y a los cambios en el macizo rocoso de la cimentación por la nueva carga que altera el flujo subterráneo. En las estructuras de concreto, si bien la disposición y resistencia de los materiales se conocen, la incertidumbre se explica, sobre todo, por los cambios de rigidez entre placas y columnas, y por las asimetrías estructurales.

* Ref: [Dinámicas del clima andino colombiano](#)

4.7. AMENAZA CLIMÁTICA EN EL TRÓPICO ANDINO

A pesar de los acuerdos internacionales legalmente obligatorios que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las evidencias que deja el dramático deshielo de las cumbres nevadas de Colombia y las lluvias anticipadas de julio tras un verano prolongado para la región andina del país, permiten afirmar que definitivamente han resultado insuficientes las acciones para prevenir los efectos del calentamiento del planeta, fenómeno explicado con un 90% de certeza por la actividad humana, y en especial por el uso intensivo de los combustibles fósiles.

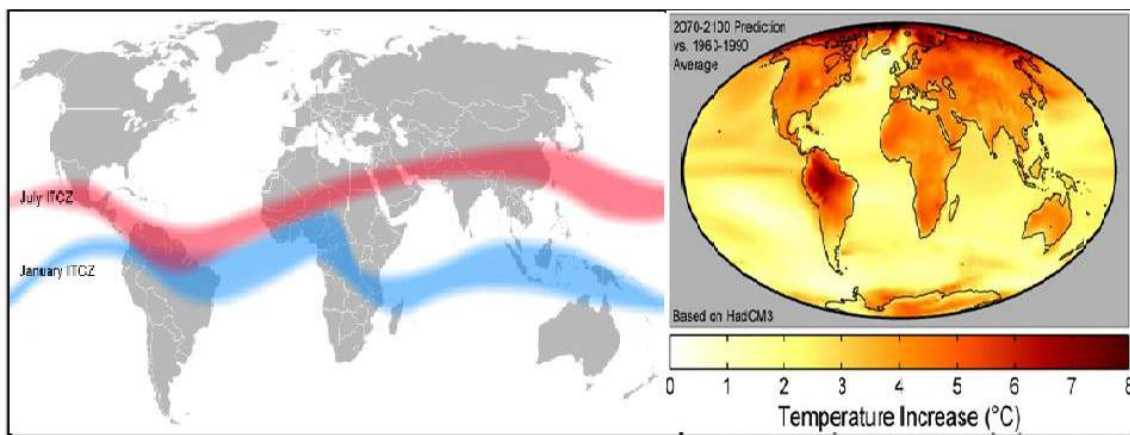


Imagen 21: Dinámica anual de la Zona de Confluencia Intertropical ITCZ mostrando los cambios en Julio y en Enero (Fuente: Canal Clima), y pronóstico del incremento de temperaturas a nivel global asociado al cambio climático (Fuente: fondear.org).

Pero lo grave de esta modificación del clima global que surge de un modelo de desarrollo éticamente perverso, donde se proponen investigaciones en ahorro energético y desarrollo de nuevas fuentes de energía, solo para no detener una máquina industrial que desperdicia recursos naturales para mantener un consumo desmedido, son las graves consecuencias resultantes sobre el medio ambiente. De ahí que, frente a la impotencia que se advierte para enfrentar las causas del problema, habrá que considerar fórmulas de adaptación más locales, a fin de mitigar las consecuencias de un fenómeno que se traduce en desastres naturales y mayor pobreza para pueblos enteros, como contrapartida a los apetitos del mercado. Si bien el papel del Estado y la austeridad como valor están de por medio, la preservación y extensión de los bosques, las prácticas agroforestales y silvopastoriles, y la mitigación de la vulnerabilidad del hábitat frente a amenazas como flujos de lodo, deslizamientos e inundaciones, hacen parte de esa adaptación.

Al subir la temperatura del planeta este siglo, entre 1,8° y 4° C de acuerdo a las características que presenten diferentes zonas, como consecuencia de la fusión de los glaciares también se incrementará el nivel medio de los océanos entre 18 y 59 centímetros dependiendo la cuantía de la gravimetría de cada lugar. Las cuantías esperadas para Colombia son del orden de +3° C en la Región Andina y de +4° C en nuestras regiones costeras y de la Orinoquia y la Amazonía; además de un incremento alto del nivel del mar en el Caribe. Estos valores estimados para un escenario moderado, que serán definitivos para la pérdida de los ecosistemas glaciares de la patria, y graves para nuestras ciudades costeras y ecosistemas del litoral Caribe, afectarán el territorio mediterráneo. En la región andina las condiciones para las zonas de vida cambiarán en unos 500 m hacia niveles de mayor altitud, generando conflictos entre el tamaño de los predios y la nueva aptitud del suelo: por ejemplo, la actividad cafetera de estructura minifundista invadirá el escenario de las tierras templadas, y estas el de los bosques de niebla que emigrarán a las praderas de los actuales páramos.

Pero esto no es todo, también se modificará la temperatura de las aguas de los océanos, fenómeno que a su vez provocará una mayor inestabilidad en la dinámica de la atmósfera y por lo tanto el desequilibrio generalizado en la máquina atmosférica, cuyas turbulencias se expresarán con olas de calor causantes de extensas sequías y frecuentes huracanes y vendavales cuando arrecie El Niño, o con lluvias violentas de mayor intensidad y promedios históricos más altos, desencadenando riadas, inundaciones y deslizamientos en las temporadas de La Niña.

No siendo despreciable el impacto de los fenómenos climáticos exacerbados para el medio urbano colombiano, para dimensionar su perjuicio en el medio rural, esta puede ser una cadena típica de eventos: al arreciar las lluvias, se incrementarán las tasas de erosión de las laderas de fuerte pendiente, conforme avance la socavación de los torrentes, causando la sedimentación de ciénagas y demás humedales en los valles de salida de los ríos, valles que también resultarán inundados. Igualmente colapsará el transporte rural y con él la economía del campo, pues se reducirá la movilidad y conectividad de estas comunidades a causa de la destrucción de los escasos caminos de montaña, como por el anegamiento y destrucción de los carretables en las zonas llanas. Y con la mayor turbulencia de las aguas del mar a causa de la carga en suspensión aportada por los ríos e incrementada por la erosión costera dado el mayor ímpetu del oleaje, se reducirá la eficiencia de la fotosíntesis marina y por lo tanto el potencial de pesca, e incluso el de las cosechas de las tierras de cultivo fertilizadas con menos guano proveído por las bandadas que encontrarán menos peces. [Ref: LA PATRIA, Manizales, 2010-07-19]

4.8. COLOMBIA Y SUS MARES FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL DESARROLLO

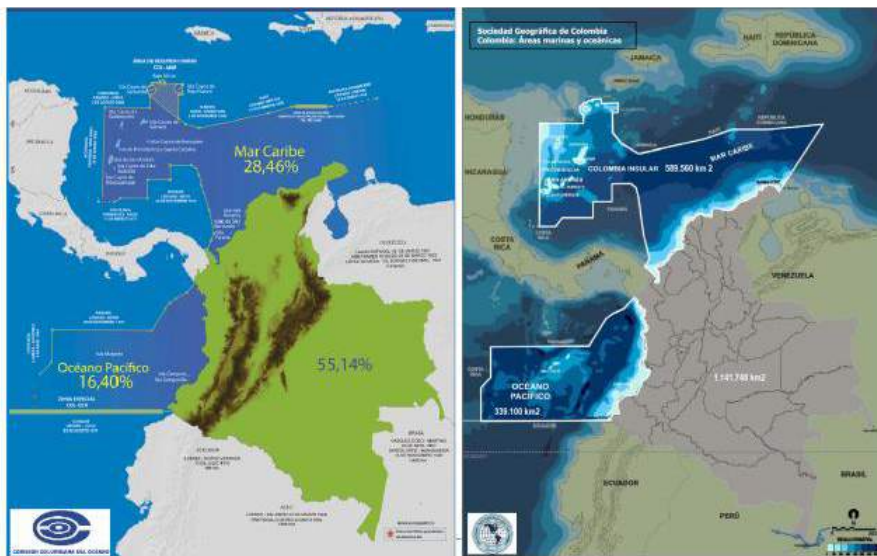


Imagen 22: Extensiones y fronteras marítimas de Colombia. Comisiones Colombiana del Océano y Geográfica de Colombia.

Cuando el 90% de las mercancías del planeta se desplaza por mares y el protagonismo de la economía planetaria ha pasado de la Cuenca del Atlántico a la del Pacífico, los colombianos, que por no haber tenido una visión marítima perdimos a Panamá y hemos sido sorprendidos por las decisiones sobre los límites del territorio insular, podemos resolver esa “anemia económica” típica de las regiones mediterráneas del planeta, entrando al Siglo XXI con políticas públicas y acciones estratégicas orientadas a sacar provecho de la posición geoestratégica de nuestro territorio, llevando el desarrollo a nuestras costas.

Además de una superficie continental de 1'141.748 km², cuenta con 928.660 km² de áreas marítimas separadas por una línea de costa de 2900 km, 1600 kilómetros en el Mar Caribe y 1.300 km en el Océano Pacífico. Limitamos por mar con Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Jamaica, República Dominicana y Haití, y a pesar de no haber mostrado interés conquistar esta frontera para satisfacer las necesidades de la nación, nuestras reivindicaciones marítimas comprenden la zona contigua de 24 millas náuticas, una plataforma continental de 6.528 km de extensión, la zona económica exclusiva de 200 millas náuticas y el mar territorial de 12 millas náuticas.

Mientras el Caribe colombiano con 589 mil Km² de extensión brilla por sus ecosistemas coralinos, manglares, playas, lagunas costeras y estuarios, y una plataforma con praderas de pastos marinos y fondos rocosos y blandos de arena y fango, con variada fauna y flora, lo que incluye las islas, cayos, bajos y el mar abierto que rodea al Archipiélago de San Andrés y Providencia, también el Pacífico colombiano con 339 mil Km², y sus costas húmedas de arena, acantilados y manglares, hace parte de un sistema insular que parte de la Isla Cocos en Costa Rica, pasa por Gorgona y Malpelo en Colombia y cierra en las Islas Galápagos de Ecuador, para conformar un corredor marino utilizado por ballenas, tortugas, atunes y especies migratorias.

Para empezar, el país que tiene una deuda histórica con poblados y comunidades costeras, en especial con las del Pacífico, por no haber mirado a nuestros mares para traducir las actividades tradicionales como la pesca y transporte marino en términos de su desarrollo, además de prevenir enclaves como el de Buenaventura, debe ahora avanzar empleando la ciencia y la tecnología al conocimiento de las dinámicas ambientales de nuestros mares y de su relación con la atmósfera, vigilando de paso el patrimonio biótico y proyectando el potencial aprovechamiento de los recursos oceánicos en sus aguas, los fondos y el subsuelo de esta frágil y desconocida frontera, donde debemos la conservación y el conocimiento de sus lugares más biodiversos.

Aún más, si por el medio ecosistémico brillan nuestros mares, por lo cultura aún más: la del Caribe que tiene profunda huella en el desarrollo de la modernidad colombiana, pasa por “cien años de soledad”; por la Cumbia, el Porro, el Vallenato, el Bullerengue y el Mapalé, resultado de la argamasa de elementos indígenas, africanos y españoles; por el arroz con coco y las murallas de Cartagena; o por el sombrero “vueltaio” y la mochila arhuaca. Y en el Pacífico, la tierra de los Currulaos como Mi Buenaventura de Petronio Álvarez, su cultura evoca la Marimba de chonta, el Cununo macho y hembra y la Tambora o bombo; por la Chirimía y los Bailes de Pellejos; pasa también su cultura por la cestería y sombrerería de pajillas obtenidas de la vena del chocolatlillo y del amargo, y la orfebrería de Itzmina elaborada en metales finos.

Lo anterior, asunto que obliga a emprender un ordenamiento territorial y geopolítico que haga visible lo étnico y lo cultural de Colombia, que valore la componente estratégica de nuestros mares, empiece por el fortalecimiento institucional y el desarrolle la infraestructura social y productiva de las regiones y territorios económicamente más pobres. Sólo llevando el progreso a los pobladores de nuestras costas y regiones insulares de la patria, podremos ejercer como Nación soberanía y dominio sobre nuestros mares, y abrir las puertas a los dos mayores océanos del planeta desde la mejor esquina de América.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015.06.22]

4.9. INTEGRACIÓN DEL MAR DE BALBOA

Calificado como “el proyecto más ambicioso de Latinoamérica y una puerta de entrada al mercado de Asia y Oceanía” por el Presidente Santos, surge Alianza del Pacífico como un acuerdo que, además de contemplar el libre comercio entre Chile, México, Perú y Colombia, gradualmente desmontaría aranceles y, según el Presidente Peña Nieto de México, traería el bienestar al propender por el libre flujo de personas, servicios y capitales, en dicha región. El Presidente de Perú, Ollanta Humala, señaló: “el gran reto es cerrar la brecha de desigualdad; no somos la región más pobre del mundo, pero somos la región más desigual”.

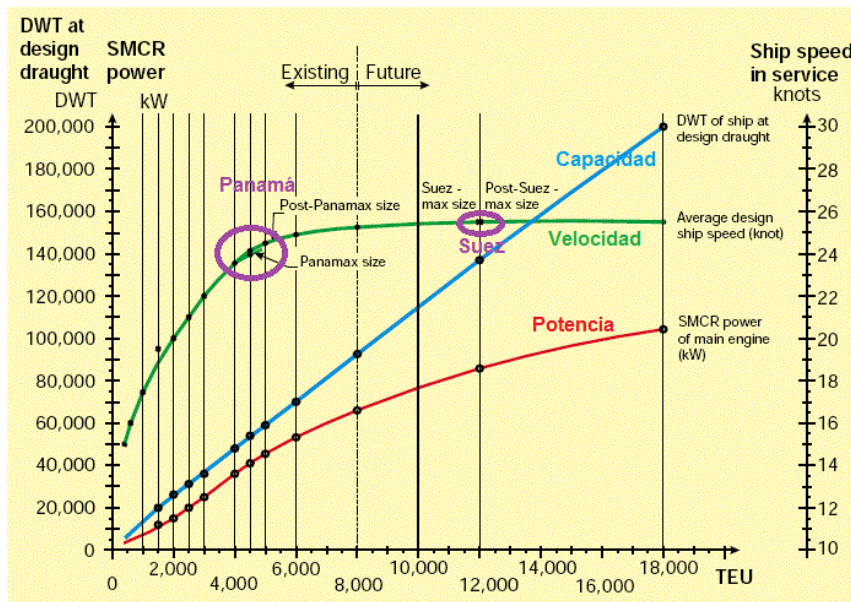


Imagen 23: Barcos Clases Panamá de 4500 TEU y Suez de 12000 TEU. Con los súper barcos, los fletes caen 5 veces gracias a las economías de escala. Adaptada de vinamaso.net

Los Congresos de Chile y Colombia, ya aprobaron eliminar aranceles para el 90 por ciento de los productos. Sin duda alguna ese sería el potencial del acuerdo de lograrse una integración económica, pero orientada al incremento de una producción que complemente sectores estratégicos en función de ventajas comparativas, para buscar el desarrollo de la competitividad a parir de sinergias culturales, que permitan elevar el nivel de vida de estos pueblos relativamente similares en términos de desarrollo y que representen un mercado de 209 millones de personas con un Producto Interno Bruto PIB de dos billones de dólares, equivalentes al 35 por ciento de la población y al 35 por ciento del PIB de América Latina y el Caribe, región cuya población alcanza 589 millones de habitantes y donde se genera un PIB de 5,6 billones de dólares.

En el Financial Times, el columnista Samuel George de la Fundación Bertelsmann, calificó el modelo de integración comercial, de capitales y de cooperación de estos cuatro países, políticamente estables, como “un referente para los países en desarrollo”, pero subraya atributos que lo diferencia del Mercado Común del Sur -Mercosur-, argumentando pesadez y lentitud de los países miembros, y desestimando que sólo Brasil cuenta con 196 millones de habitantes y un PIB de 2,2 billones de dólares y que el Mercosur, del que Colombia es sólo “país asociado”, permite la libre circulación de los ciudadanos del bloque. Ahora, si la Cuenca del Pacífico, donde la nueva organización tiene ventajas de posición geoestratégica que no posee Brasil, es el nuevo escenario de la economía planetaria al estar habitada por cerca de la mitad de la población del planeta y generar 2/3 de la economía mundial, ninguno de los países de la costa pacífica de Latinoamérica -salvo Panamá con el nuevo canal, posee puertos dotados para barcos de más de 12 mil contenedores, ni genera carga contenedorizada suficiente, con destino a Asia-Oceanía.

Además, si bien los temas de la globalización comportan controversia por los desequilibrios en las negociaciones -de forma inequívoca por ampliar la brecha entre la economía urbana y la rural, y posiblemente entre las economías desarrolladas y emergentes- también en el caso de Colombia, mirar a los mares, aunque sea un suceso más que relevante, nuestra bicentennial historia viene siendo mancillada por otro episodio tan nefasto como el de Panamá (1903), con San Andrés (2012), lo que pone en evidencia una Colombia con dos mares pero sin visión marítima. En primer lugar, porque mientras en el litoral del hemisferio norte aparecen puertos notables cada 200 km, en 2900 kilómetros de costa colombiana -1600 en el Caribe y 1300 en el Pacífico- apenas contamos con diez puertos, cinco destacados, pero profundas asimetrías de desarrollo portuario entre mares y una capacidad limitada para operar sólo en el escenario del Atlántico o en las costas del Pacífico americano. En mercancías diferentes a carbón y petróleo, mientras nuestras exportaciones con valor agregado van y vienen por el Atlántico, por el Pacífico operamos con Buenaventura moviendo importaciones. Y en segundo lugar, dado que para entrar al Pacífico tenemos un retraso de 100 años: en el contexto regional, mientras en Panamá avanza una nueva ruta que complementará a la del Canal de 1914, buscando el tránsito de embarcaciones tipo Suez de 12 mil contenedores, que ofrecen fletes 5 veces menores que las del tipo Pánamax de 4 mil quinientos contenedores, Colombia considera haber “modernizado” a Cartagena y Buenaventura, al dragar dichos puertos para admitir embarcaciones tipo Pánamax, cuyos fletes no hacen rentable transitar el extenso Pacífico hasta Asia.
 [Ref: La Patria, Manizales, 2013-05-27]

4.10. DEUDA HISTÓRICA CON EL PACÍFICO COLOMBIANO

Las causas de la perenne crisis humanitaria y ambiental del Pacífico Colombiano, donde miles de ciudadanos han estado reclamando la atención de demandas legítimas relacionadas con derechos fundamentales, parten no sólo de la expropiación de su riqueza minero-forestal, de las consecuencias de un modelo de desarrollo caracterizado por una economía extractiva y de enclave, de la destrucción de su biodiversidad y del desaprovechado potencial hídrico y marítimo, sino también del centralismo vallecaucano, del desconocimiento de sus culturas ancestrales indígena y afrocolombiana, y de la ausencia del Estado que ha favorecido la ilegalidad y la presencia de grupos armados.

Pese a que Buenaventura, aunque responde por el 53% del comercio marítimo y le tributa \$5,5 billones anuales al país, con su crisis expresa las contradicciones del Pacífico colombiano, región de 83 mil kilómetros cuadrados con baja movilidad social, aislamiento geográfico y debilidad institucional ubicada en medio de la densa selva tropical húmeda, en cuyo territorio limitado por la cordillera Occidental que actúa como barrera natural, vive cerca de un millón de personas, el 90% negra y el 4% indígena, la mitad habitando el Chocó, casi un tercio Nariño y el resto el Valle y Cauca. Allí sobresalen tres centros urbanos que suman 700 mil habitantes (Buenaventura, Tumaco y Quibdó).

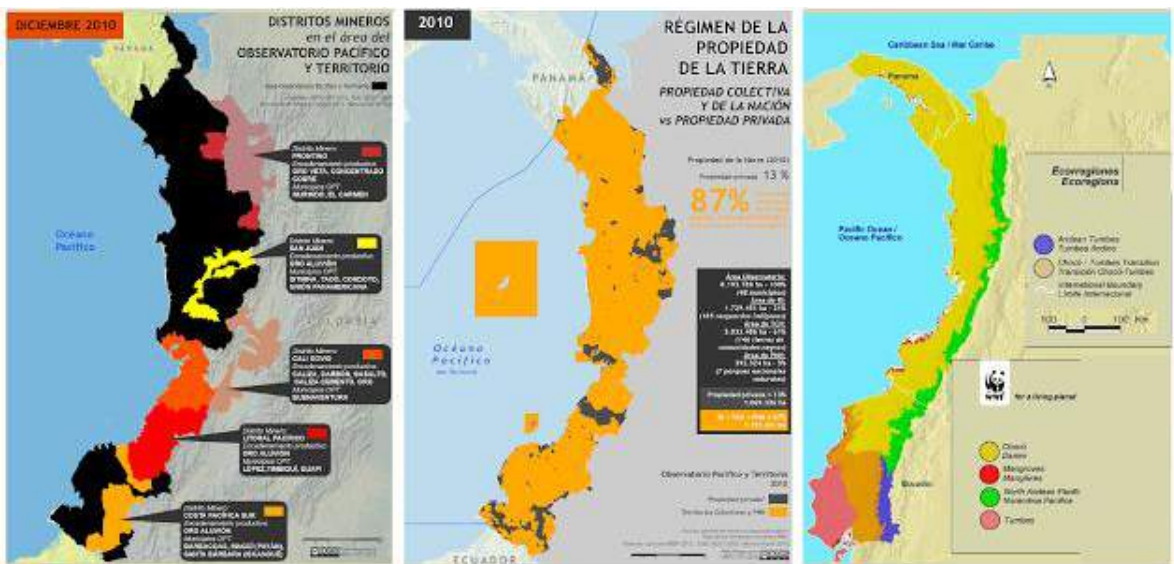


Imagen 24A. Pacífico colombiano: Distritos mineros y Propiedad de la tierra en el (OPyT), y Ecorregiones (WWF).

Respecto a los movimientos sociales, en primer lugar, hace una semana, luego de 17 días de justos reclamos, Chocó logró un acuerdo de inversiones con el Gobierno y levantó el paro. En segundo lugar, contrariamente hace una semana con el movimiento cívico que se adelantó en Buenaventura casi a la par, no se logró concretar el preacuerdo logrado entre el Comité de paro y una comisión del Gobierno, consistente en la creación de un fondo exclusivo con manejo autónomo local, en lugar de la declaratoria de una emergencia económica, social y ecológica, dado que sobre las fórmulas gravitan, de un lado la ineficiencia del Estado e injerencia de una clase política corrupta, y del otro la ineficacia de los órganos de control garantizando el manejo impoluto de \$10 billones que entregarían en 10 años.

Aunque lo fundamental obliga a fortalecer las instituciones, combatir las actividades ilegales extractivas, poner fin al conflicto armado, y mejorar tanto la cobertura como la calidad de la educación y la salud, habrá que impulsar una mayor conectividad con el resto del país superando las barreras naturales que lo impiden con inversión en infraestructura estratégica, para luego desarrollar la estructura productiva de la región orientada a generar valor agregado, empleo formal y un mayor aprovechamiento del sistema portuario en Tumaco, Buenaventura y Cupica articulando su desarrollo a la Cuenca del Pacífico, además de recuperar la cuenca y la hidrovía del Atrato, como la carretera a Quibdó desde Antioquia y el Eje Cafetero.

Antes que criminalizar la protesta social, de enviar el Esmad a reprimir brutalmente el movimiento contradiciendo el espíritu de una Colombia en posconflicto, debemos combatir la desesperanza para prevenir conflictos, mitigando factores detonantes como pudieron ser: la pérdida de \$21 mil millones del contrato de 2014 pactado en obras para la carretera Quibdó–Ánimas–Nóvita entre la Gobernación de Chocó y la Unión Temporal Istmina; o el presunto desfalco del hospital de Buenaventura que maneja un presupuesto cercano a \$40 mil millones, situación relacionada con la muerte de un concejal y la destitución de un alcalde.

Finalmente, habrá que enfrentar la crisis del Pacífico no solo mirando a Buenaventura, donde las inversiones en infraestructura al igual que los desarrollos portuarios cada vez menos intensivos en mano de obra, sólo benefician al capital exportador, pero no a una población ni a un territorio donde la crisis se extiende de sur a norte: primero, porque la tragedia parte de Tumaco donde sus habitantes en medio de una gran riqueza natural que se subraya por el potencial para industrias asociadas a mariscos y cacao, viven con unas NBI del 60 por ciento; y segundo, porque Belén de Bajirá, estratégico territorio del Urabá Chocoano para el Corredor de la Américas y la integración de nuestros mares, con sus ricos yacimientos mineros y enorme potencial agropecuario, espera ver transformadas en oportunidades dichas bondades, antes que la desmembración y colonización de su territorio disputado por Antioquia.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2017/06/5].

4.11. TRIBUGÁ: ¿ES POSIBLE EL DESARROLLO SOSTENIBLE?



Imagen 24B. Ensenada de Tribugá. Fuente, Blog SMP Manizales.

RESUMEN: además de advertirse sobre el fuerte impacto de un puerto sobre los ecosistemas vecinos a la ensenada de Tribugá, se propone hacer socias del proyecto a las comunidades ancestrales del territorio para prevenir un modelo de enclave, y como opción ambiental a Cupica para articular los mares de Colombia mediante un ferrocarril interoceánico que llegaría al complejo portuario antioqueño y se complementaría con el Atrato. Este tren transitando por Vigía y Chigorodó para no interferir el tapón del Darién, empalmaría el proyecto a un sistema intermodal de carga para Colombia soportado en ferrovías e hidrovías. Es la oportunidad para hacer bien una obra que impulse el crecimiento económico, les sirva a las comunidades y resguarde el medio ambiente. Esta sería la manera.

Un proyecto peligroso

Mejorar la infraestructura y el transporte es esencial para expandir el sector productivo, más ahora que nuestra economía se fundamenta en la minería extractiva, el petróleo crudo y el carbón. Para eso, es fundamental (1) articular con un sistema intermodal de carga más eficiente el Altiplano con el Caribe, Buenaventura y Urabá, y (2) conectar el océano Pacífico con el Atlántico por el Chocó Biogeográfico.

La construcción de un puerto en el Golfo de Tribugá busca mejorar la conectividad y, por lo tanto, aumentar las exportaciones. Para que eso suceda, es necesario además utilizar el potencial de las hidrovías y construir túneles para ferrocarriles cruzando nuestras cordilleras, lo que reduciría los fletes seis y tres veces respectivamente, generando un crecimiento en mayor proporción de las exportaciones.

Mientras que en Europa hay un puerto cada 100 kilómetros, en Colombia los principales puertos están concentrados en cuatro ciudades: Barranquilla, Cartagena, Santa Marta y Buenaventura. Por eso, otro gran puerto en el Pacífico podría ser un instrumento de desarrollo para conectar esa región con el resto del país.

Sin embargo, aunque sean necesarios para conectar los mares, los puertos no son suficientes para crear desarrollo –los mejores ejemplos son Buenaventura y Cartagena–. Por eso, el puerto de Tribugá puede no tener un impacto positivo si su construcción no se

acompañía de políticas públicas, planes y estrategias para reducir la pobreza y para respetar los derechos bioculturales de ese territorio y sus poblaciones.

Lamentablemente, en Colombia la ley y las políticas ambientales se han adaptado más a los desafíos del mercado que a los retos del desarrollo sostenible. Con el enfoque erróneo, los megaproyectos como el del puerto de Tribugá pueden amenazar seriamente ciertas áreas sensibles ecológica y culturalmente.

...
¿Desarrollo o protección del medio ambiente?

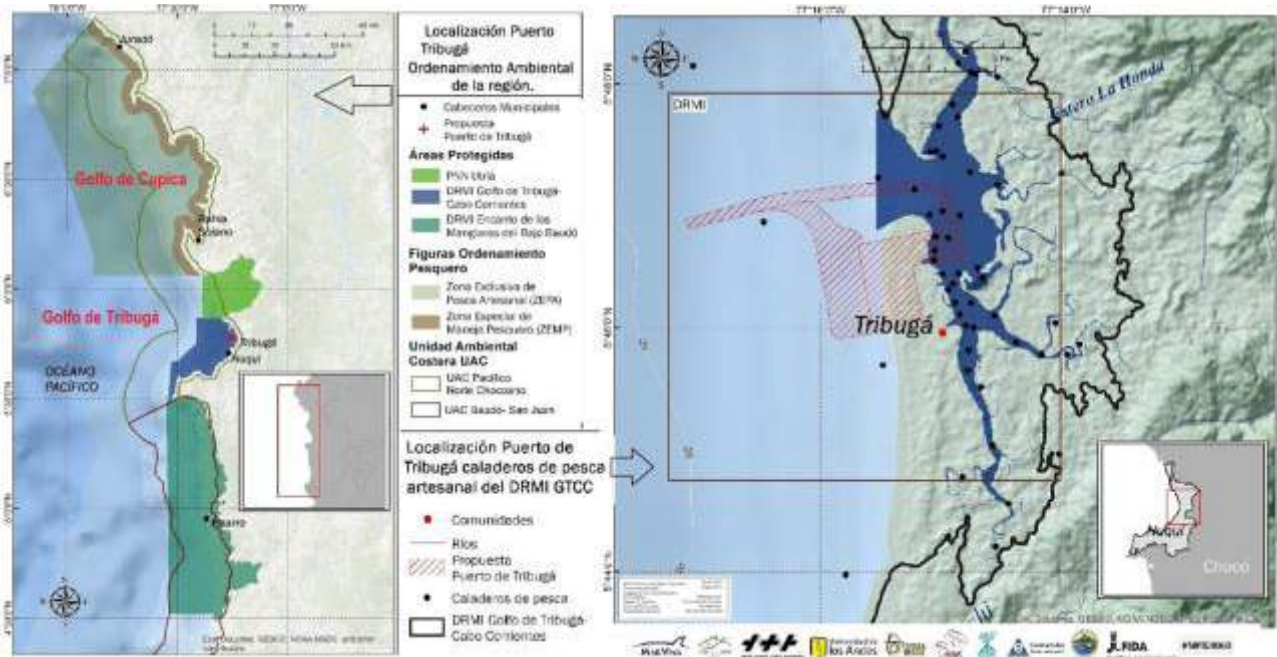


Imagen 24C. Izq. Localización del puerto y caladeros de pesca artesanal. Der. Ordenamiento ambiental de la región. Fuente: Organización MarViva.

La construcción del puerto de Tribugá ha interesado durante mucho tiempo a políticos y empresarios del Eje Cafetero –que buscan conectarse con el Pacífico– y del Chocó –que pese a tener costas en dos océanos buscan puertos y vías para accederlos–.

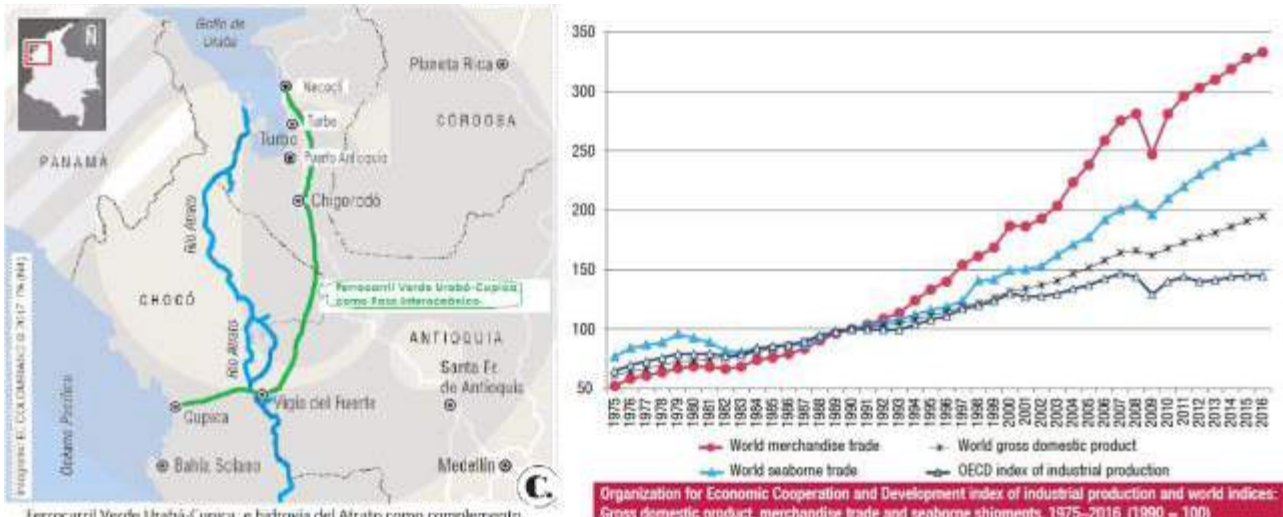
En 2006 se creó la organización Promotora Arquímedes S.A, con el propósito de construir y operar el puerto de Tribugá. Desde entonces, Arquímedes ha buscado ajustar su diseño a las condiciones ambientales del entorno. Por eso propuso construir el 80 por ciento de su infraestructura en mar, para lograr el licenciamiento ambiental. También se ha contemplado construir un ferrocarril a Quibdó y terminar la vía terrestre a Risaralda, con el propósito de crear una “Ciudad-Puerto”.

Sin embargo, muchos ambientalistas han advertido que la construcción del puerto tendría impactos funestos para el medio ambiente por:

- La amenaza para los cientos de hectáreas de manglares que hay en el golfo;
- El impacto del dragado y de los vertimientos sobre las playas donde anidan las tortugas;
- El daño a la ruta migratoria de las ballenas jorobadas, que todos los años llegan a esta región, y
- La pérdida de biodiversidad que implicaría construir carreteras y trenes en medio de la selva.

Además, la Academia de Ciencias de California, el Instituto Carnegie de Ciencias, la Institución Central Clima y la Universidad de California en Berkeley señalan que en el presente siglo los bosques de coníferas tropicales y subtropicales tendrán que adaptarse a una velocidad de 80 metros por año, mientras que los manglares tendrán que hacerlo a 950 metros por año.

...
 ...
¿Hay otras alternativas?



En caso de que no se cuente con la voluntad de la comunidad o que se encuentre que los manglares del Golfo, la ensenada o el Parque Nacional Natural Utría resultarían afectados por el puerto, es necesario contemplar otras alternativas:

Una opción es construir el puerto en el extremo sur del Golfo, donde el medio es rocoso y la morfología costera protegería el puerto de la corriente oceánica de dirección Noreste. A diferencia de la barra de la ensenada de Tribugá, donde existe una alta vulnerabilidad sísmica, esta zona parece más apta para la construcción de un puerto profundo.

Y si no fuera en Tribugá, 90 kilómetros más al norte se encuentra el Golfo de Cupica. Esta alternativa favorecería un paso transoceánico más corto, siempre que se construya el Ferrocarril Verde Urabá-Cupica propuesto desde la Sociedad de Mejoras Públicas de Manizales. Esa línea pasaría por Vigía del Fuerte y Chigorodó, hasta llegar al complejo portuario antioqueño, de manera que se complementaría con la hidrovia del Río Atrato.

En todo caso, la construcción de un nuevo puerto en la región del Pacífico no debe desconocer los derechos de este territorio biodiverso y pluricultural. Las comunidades indígenas y afrodescendientes que allí habitan no han recibido nada en más de 200 años de olvido y desconocimiento de su cosmovisión. Por eso, la clave está en no repetir la historia de Buenaventura, el puerto vallecaucano que le representa a la Nación impuestos por 5,5 billones de pesos al año.

Si se busca un verdadero desarrollo, es necesario partir del enorme potencial pesquero del Pacífico colombiano. Eso implicaría dotar a la comunidad de un astillero para embarcaciones pesqueras, equipos para el procesamiento de pescados y mariscos, fuentes de energía y unidades térmicas para refrigerar la cosecha marina, sistemas de conectividad para sacar dichos alimentos, y programas integrales de formación y capacitación en estas materias. Lo anterior podría traducirse en decenas de miles de empleos dignos y remunerados para los habitantes del Pacífico.

Sin embargo, para llegar a ese objetivo también es necesario:

Ordenar el territorio y blindar el patrimonio natural y cultural en áreas estratégicas;

Convertir las rentas de los recursos primarios y megaproyectos en capacidades humanas;

Fortalecer el quehacer de las instituciones ambientales y la sociedad civil;

Fortalecer los procesos culturales endógenos y construir paisajes resilientes en los ecosistemas, y

Proteger las comunidades rurales de pescadores y artesanos de las agresiones de un modelo "de enclave".

La importancia de otro puerto Pacífico

En la cuenca del Pacífico se producen dos tercios del PIB mundial y habita cerca de la mitad de la población del planeta. Allí está el nuevo escenario de la economía planetaria.

Por eso, el eje Urabá-Tribugá puede ser un complemento de la nueva troncal transoceánica entre Europa y Asia que ha llegado a Panamá, y convertirse en una forma de acceder desde Colombia al Pacífico el siglo XXI.

La ampliación del Canal de Panamá aumentará entre 300 y 600 millones de toneladas-año su capacidad de carga. Con esa ampliación, se permite ahora el tránsito de embarcaciones tipo Suez de 12 mil contenedores (TEU) cuya economía en fletes supera cinco veces la de los Panamax de 4500 TEU.

Ante ese nuevo panorama, habrá oportunidades para que Colombia construya un paso de cabotaje desde el complejo portuario antioqueño hasta Cupica o Tribugá. Nuestro país puede aprovechar (1) las limitaciones del Canal de Panamá, cuyas esclusas deben reutilizar el 40 por ciento del agua, y (2) el hecho de que el comercio contenedorizado *ha crecido* en el largo plazo a tasas que varían entre 1,5 y 2 veces el PIB global.



Imagen 24D. Izq. Colombia: red ferroviaria actual y propuesta. Fuente: ANI. Der. Corredor Bimodal Cafetero por el Norte del Tolima por el Túnel Cumanday de 42 km a 1250 msnm, conectando el Magdalena Centro con el Corredor del Cauca. Fuente: La Patria.

Un puerto en Tribugá con ferrocarril de conexión al Atrato, o un puerto en Cupica articulado con el complejo portuario antioqueño mediante el ferrocarril Urabá-Cupica con mayor ventaja, pueden ser oportunidades para atraer carga de cabotaje y crear un paso interoceánico por Colombia.

Además, el Ferrocarril del Atrato que llegaría al complejo portuario de Antioquia contribuirá a la estructuración de un sistema intermodal de carga mediante corredores logísticos que integren con líneas ferroviarias el Altiplano, Buenaventura y Urabá-Chocó. En ese escenario, la hidrovía del Atrato, cuya capacidad es de 150 millones de toneladas-año o 50 trenes de 10 mil toneladas-día, resulta necesaria.

La locomotora del carbón andino exportado a Asia, gracias a la alta calidad y abundancia de dicho mineral, puede sustituir la caída del precio de los hidrocarburos cuyas reservas amenazan agotamiento. Esas exportaciones además de hacer rentable la hidrovía del Magdalena, pueden financiar la variante Loboguerrero dotada de viaductos y túneles, el corredor férreo para salvar la cordillera Central y la extensión del tren a Urabá y el Chocó, lo que conformaría los grandes corredores y las plataformas logísticas de nuestra región Andina.

En suma, un proyecto de este tipo con el enfoque correcto puede traer enormes beneficios para la región si las comunidades propietarias de las tierras participan como socias.

[Ref: Razón Pública. Bogotá, 2019-06-10.]

4.12. HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA

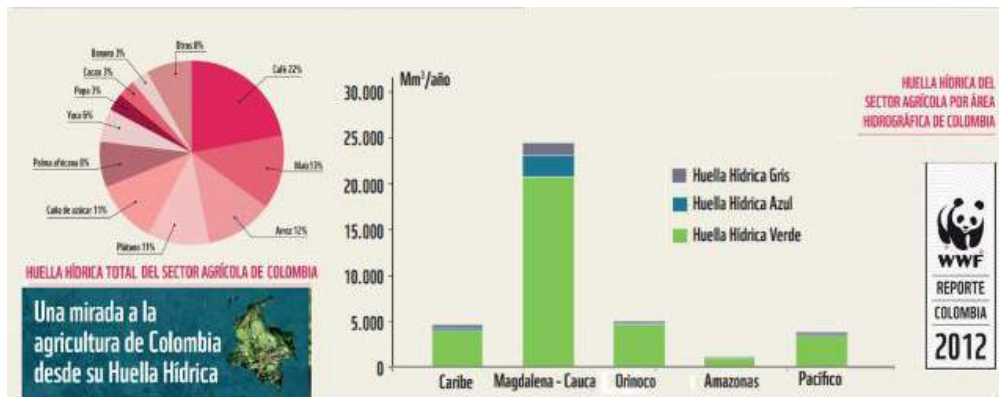


Imagen 25. Huella Hídrica en Colombia. Huella Hídrica de la agricultura en Colombia según La WWF 2012.

RESUMEN: Al cuantificar la huella hídrica azul, verde y gris de las actividades agrícolas y pecuarias de Colombia, se pone en evidencia una grave problemática en la Región Andina, relacionada a la concentración de la población y del PIB nacional. La magnitud de dicha huella, alcanza los 25000 Mm³ al año, cuantía en la que el 85% es HH verde, el 10% es HH azul y el 5% HH gris. Al respecto, debe considerarse que la cuenca Magdalena-Cauca, aunque concentra 32,5 millones de habitantes equivalentes al 65% de la población del país, sólo posee el 12% de su patrimonio hídrico subterráneo y el 13% de las escorrentías. En cuanto a la huella hídrica total del sector agropecuario, las mayores contribuciones provienen del café, el maíz, el arroz, el plátano, la caña de azúcar y la palma africana.

El Estudio Nacional del Agua ENA (Ideam 2014) se ocupó de la Huella Hídrica en Colombia. Como herramienta que permite estimar el contenido de agua oculta en cualquier bien o servicio consumidos, la huella hídrica HH, además de tener en cuenta el agua consumida y contaminada, y sus usos directos e indirectos en procesos antrópicos, se basa en un desarrollo de tres conceptos previos: el Agua Verde, que mide el agua dulce superficial o subterránea incorporada y que no retorna a la cuenca origen; el Agua Azul, si se valora solo el agua de precipitación; y el Agua Gris, si trata del volumen de agua contaminada en la cadena de suministros.

Según el ENA, en la demanda hídrica nacional, que en 2012 alcanzó 35.987 millones de metros cúbicos, la participación de usos por sector fue: 46,6% agrario, 21,5% energético, 8,5% pecuario, 8,2% doméstico, 5,9% industrial, 4,6% acuícola, 3,4% minero e hidrocarburos y 1,3% servicios. De dicha demanda, el 67% se concentró en el área hidrográfica de los ríos Magdalena y Cauca, el 16% en el Caribe y el 12% en la Orinoquía. En los cultivos permanentes, el de mayor HH azul fue la palma de aceite, seguido del plátano y la caña de azúcar; por su parte el de menor HH azul fue el café, que constituye también el cultivo permanente con la mayor HH verde de Colombia, seguido de caña, palma de aceite y plátano, mientras que el de la menor HH verde se encontró en flores y follajes.

En los cultivos transitorios la mayor HH azul le correspondió al arroz de riego, seguido de la papa y el maíz, mientras la menor estuvo en el arroz seco. La mayor HH verde la presentó el maíz y el arroz de riego nuevamente, seguidos de la yuca y la papa, en tanto que la menor estuvo en los cultivos de trigo. En la Orinoquía y Amazonía los pastos de corte y forrajeros no presentaron HH azul por comportarse como cultivos transitorios de seco. Se denomina agricultura de seco la que en lugar de irrigación, utiliza la lluvia. En pastos ganaderos, mientras por áreas sobresalieron Vichada, Meta, Casanare, Antioquia, Arauca y Córdoba, al abarcar cerca de la mitad del pasto de Colombia, contrariamente, la superficie destinada a la ganadería extensiva en el Eje Cafetero solo representó el 2,3% y en el Tolima el 3%.

Al cuantificar la HH verde y azul para el sector agrícola y pecuario, como único sector con las dos huellas hídricas, el ENA estima a nivel nacional, una participación porcentual de 11% de HH azul, contra el 89% de HH verde. Pero otra cosa ocurre en la cuenca Cauca-Magdalena que cubre el 24% del área continental. Al respecto, dada la concentración del 70% la actividad agrícola y del 80% del PIB del país en dicho territorio, allí se generó el 68% de la HH verde agrícola y el 66% de la HH azul agrícola; a esto se añade, que pese a la gran oferta hídrica de Colombia, la cuenca Magdalena-Cauca, aunque concentra 32,5 millones de habitantes equivalentes al 65% de la población del país, sólo posee el 12% de su patrimonio hídrico subterráneo y el 13% de las escorrentías. Si en la gran cuenca del Cauca-Magdalena sobresalen los valles del Cauca y Alto Magdalena por la abundancia de aguas subterráneas, dicha disponibilidad resulta precaria en el Magdalena Medio y Bajo y en el cañón del Cauca. Esto es fundamental para las previsiones sobre los efectos del ENOS (El Niño y La Niña), donde se prevén variaciones de caudales con respecto al periodo de referencia (2010), según los escenarios proyectados por el IMAT, así: Para el Magdalena Alto, reducciones del 1% al 42% durante el Niño e incrementos mayores del 30% durante La Niña; para el Magdalena Medio, con El Niño se presentarían disminuciones entre 1% y 35%, y con La Niña incrementos del 7% al 30%; para el Bajo Magdalena durante El Niño reducciones entre 20% y 46%, y con La Niña incrementos que superarían el 20%; en tanto que para la Cuenca del Río Cauca, con El Niño las disminuciones excederían el 30%, y con La Niña los incrementos serían del 12% al 60%.

* [La Patria. Manizales, 2018-08-27]

4.12. DESARROLLO URBANO Y HUELLA ECOLÓGICA

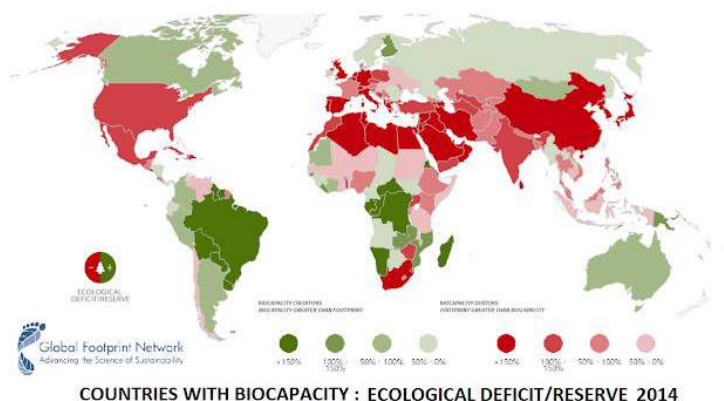


Imagen 26. Biocapacidad V.S. Huella ecológica per cápita por países, al 2014. En verde, superávit, y en rojo déficit. Fuente: Global Footprint Network

RESUMEN: La creciente huella ecológica de Colombia, consecuencia del crecimiento de su población y de un modelo de desarrollo que privilegia el crecimiento económico a costa de los ecosistemas y del bienestar social, amenaza la capacidad biológica y la estructura ecológica del país. Dado el peso de la deforestación, de la contaminación del agua, del uso intensivo del automóvil y de una expansión urbana irresponsable, los retos para la sustentabilidad ambiental de Colombia no solo pasan por las políticas urbanas, del agua, y del agro, sino también por las del transporte y del sector energético. Mientras a nivel global la biocapacidad per cápita es de 1,8 ha y en Colombia de 3,4 ha, nuestra huella per cápita en 2014, llegó a 1,9 ha.

Entre 1960 y 2017, mientras la población de los centros urbanos del mundo pasó del 33,5% al 54,7%, en Colombia en dicho período el porcentaje varió del 45% al 77%. Si las demandas al planeta continúan con un horizonte en el cual al 2030 tres cuartas partes del consumo energético mundial provendrá de combustibles fósiles, la huella ecológica cuyo per cápita en Colombia alcanzando 2 hectáreas excede el per cápita de 1,2 hectáreas como límite de la capacidad del planeta, en el 2035 se requerirá el equivalente a dos Tierras, salvo que modifiquemos el actual modelo de desarrollo consumista. Si además de las actividades agrícolas e industriales, también la expansión urbana continúa presionando la estructura ecológica, se generarán impactos al medio ambiente en las áreas urbanas, al romperse el equilibrio territorial y desestabilizar el hábitat.

Si un concepto central en la conservación ambiental mundial, es “el desarrollo sostenible” descrito en el Informe de la Comisión de Brundtland (1987), como un “desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”, además de combatir la contaminación como problemática de la cual todos somos responsables, debemos propiciar una estructura urbana compatible con una movilidad sostenible en materia de emisiones, y un urbanismo soportado en un modelo de ocupación territorial no conflictivo que se adapte al cambio climático. De ahí la necesidad de una política pública orientada a la silvicultura urbana y al cuidado de las áreas protegidas que en la ciudad no hemos tenido.

En Colombia, donde 735 de los 1122 municipios talan al menos una hectárea de bosques al año, un tema fundamental en la estabilidad del territorio lo constituye la conservación de los ecosistemas, máxime ahora cuando la amenaza del calentamiento global arrea: si destruimos los bosques, no sólo estamos arrasando sumideros de carbono -dado que la captura de dióxido de carbono CO₂ por metro cuadrado al año es de 212 gramos en el follaje y de 646 gramos en las raíces-, sino que también estaríamos generando riesgo de suministro de agua a través del descontrol hídrico y pluviométrico, incrementando de paso el mayor riesgo de sequías e inundaciones.

No olvidemos que el cambio climático está comprometiendo al 63% de las ciudades del mundo, y que 1600 millones de habitantes del planeta son pobres que enfrentan la carencia de alimentos, agua y medicinas, entre otros recursos que provee el ecosistema que estamos degradando para satisfacer los apetitos del mercado en un modelo de desarrollo consumista e irresponsable; esto, en un mundo con 60 mil especies de árboles, en el cual a pesar de que cerca del 46% de los bosques han sido arrasados, la deforestación como amenaza continúa: para el caso de Colombia, donde tenemos 7500 especies arbóreas y las dinámicas deforestadoras continúan, hemos reducido el 80% del hábitat de algunas, entre las cuales aparecen: abarco, caobas, cedros, palo rosa canelo de los andaquies, con amenaza severa.

La huella ecológica, como indicador de in-sostenibilidad que mide la superficie requerida, no sólo para obtener los recursos y el aire que respiramos, sino también para absorber los residuos de una determinada población -entre ellos el CO₂ como gas con efecto de invernadero que vertido a la atmósfera puede reducir la nubosidad y las precipitaciones-, obliga a mirar el tema de la energía y los combustibles: en Colombia según la UPME (2015), el consumo de energía se concentra en los sectores transporte (40,90%), industrial (29,36%), residencial (16,72%) y sector terciario (5%). Si bien en el Transporte la principal fuente son los combustibles fósiles; en cuanto a la industria, el cambio en la actividad económica desde la producción artesanal a la agroindustria y a la producción de bienes de capital, ha intensificado el uso de energía; y respecto los hogares, el 70% de la energía eléctrica lo consumen aire acondicionado, ventilación y electrodomésticos.

Finalmente: al 2030, Colombia debe establecer como meta, tres ejes fundamentales: incrementar las energías renovables no convencionales, apostarle a mejorar la eficiencia energética, y a reestructurar el transporte para bajar el uso de hidrocarburos, apostándole a un transporte intermodal de carga con trenes e hidroviás en lugar de tractomulas; y desarrollando sistemas colectivos limpios de transporte urbano, en lugar de una movilidad motorizada basada en automóviles particulares. * Profesor Universidad Nacional de Colombia.

[Ref.: La Patria. 2018-10-8]

Lecturas complementarias

Las Cuatro Estaciones para reflexionar sobre cambio climático.

El estilo de sentir y pensar que entrega con sus violines la inmensa fuerza de la música vivaldiana, tal cual ocurre con su libro de cuatro conciertos para orquesta y violín titulado Las Cuatro Estaciones, guarda proporciones con la vivacidad antagónica del cambio climático, gracias a una propuesta que parece emular El Niño cuando muestra la energía y sensacionalismo de la sequía estival, o La Niña al interpretar el gélido y melancólico invierno. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7148/gonzaloduqueescobar.201124.pdf>

Visión retrospectiva y prospectiva del desarrollo regional.

Consideraciones sobre el pasado presente y futuro del desarrollo del Eje Cafetero, en la región del Antiguo Caldas: para este trabajo cuyo hilo conductor es la historia, primero se presentan algunos hechos asociados a la Conquista y la; luego se señalan algunos aspectos relevantes de la economía a partir de la fundación de Manizales ocurrida en el marco de la Colonización antioqueña; enseguida se señalan los impactos del formidable período de los ferrocarriles cafeteros; y se sigue con otro período de verdadero, para culminar con un período de verdadera crisis social y ambiental, cuyo inicio coincide con la segregación del Departamento de.

Ver en: https://alejandria-d.unal.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/143/Eje_Cafetero_-_retrospectiva_y%20prospectiva_del_desarrollo..pdf

La erosión del suelo y su relación con el agua.

La erosión es la degradación y el transporte del suelo y de la roca, ocasionados por diferentes procesos físicos y químicos que se dan en la superficie de la Tierra gracias a la acción combinada de varios factores, como el agua, la temperatura, la gravedad el viento los gases y la vida vegetal y animal. Aquí se centra la atención en la erosión hídrica. Ver en

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/erosiondesuelos.pdf>

La sed de los cafetos.

En el área de influencia del Macizo Ruiz - Tolima habita cerca de 3 millones de personas, por las hoyas de los ríos Cauca y Gran Río de la Magdalena. En ambos costados se desarrollan dos ciudades discontinuas, el Eje Cafetero con centro en Pereira y un sistema dipolar configurado por Honda-Dorada e Ibagué. Posiblemente hacia el futuro la conurbación del Eje Cafetero interactúe sobre la otra conurbación entre la Dorada e Ibagué. Este fenómeno demográfico y urbanístico, relacionado con la zona cafetera, exige previsiones de muy largo plazo y extrema urgencia con relación al uso del Parque de Los Nevados, como fuente reguladora de agua. Ver en:

http://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines_ambientales/boletin6.pdf

Una política ambiental pública para Manizales

Esta ponencia en el Marco del Foro "Políticas Públicas Ambientales", pretende contribuir a las reflexiones de la sociedad civil, interesada en una respuesta estructural a los conflictos que ha vivido la ciudad, en el ocaso de la ola invernal de las dos Niñas de los últimos años. Entre los asuntos públicos uno de los principales problemas de Manizales, se relaciona la problemática del riesgo asociado a los fenómenos naturales, aunque pese a su fragilidad la ciudad ha logrado sobreponerse y emprender una ruta de aciertos tecnológicos en los temas ambientales.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9586/gonzaloduqueescobar.201217.pdf>

TEXTOS DEL AUTOR

Laudato sí: El Cuidado de la Casa Común. Memorias. Book. Luis Guillermo Restrepo Jaramillo · Emilio Chuvieco · Paola Andrea Calderón Cuartas · Monseñor Gonzalo Restrepo Restrepo · Rafael Fayos Febrer · Andrés Salazar Arango · Gunter Pauli · Antonio Elio Brailovsky · Gonzalo Duque Escobar). U. Católica de Manizales. (2020)

Manual de geología para ingenieros. . . Book. (20 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales

Guía astronómica. Book. (13 Book Section) Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia.

Geomecánica. Book. (10 Book Section) Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2016) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.

Geotecnia para el trópico andino. Escobar Potes, Carlos Enrique and Duque Escobar, Gonzalo (2016) Book. (10 Book Section). U.N. de Colombia, Sede Manizales, Colombia.

Mecánica de los suelos. Book. (15 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2002) Universidad Nacional De Colombia.

Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera. Book. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Ruben Darío and Ortiz Ortiz, Doralice (2014) Carder- Corporación Aldea Global, CARs Socias del Proyecto

Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia. Book. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice and Vela Murillo, Norma Patricia and Orozco Muños, José Miguel (2014) Carder- Corporación Aldea Global, CARs Socias del Proyecto.

Sistematización de Experiencias y Estrategias de los Planes de Acción Inmediatos PAI de la cuenca del río Guarínó y la Charca de Guarinocito. Vela Murillo, Norma Patricia and Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice (2012) Editorial Blanecolor Ltda. Manizales, Colombia.

Agricultura sostenible: reconversión productiva en la cuenca del río San Francisco. Aguirre D. Carlos Mario, Ortiz O. Doralice, Duque E. Gonzalo. (2014). Corporación Aldea Global. ISBN 978-958-57223-4-7.

Elementos para la construcción de una visión estructurada del desarrollo de Caldas. Book. Duque Escobar, Gonzalo (2014) U.N. – SMP Manizales. Manizales.

La logística del transporte: un elemento estratégico en el desarrollo agroindustrial. Book. Sarache Castro, William Ariel and Cardona Alzate, Carlos Ariel and Giraldo García, Jaime Alberto and Duque Escobar, Gonzalo and Orrego Alzate, Carlos Eduardo and Tamayo Arias, Johnny Alexander and Builes Ocampo, Sabina and Cardona Jaramillo, Adriana and Granados Ortiz, María Luisa (2007) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Caldas, Colombia.

Fundamentos de economía y transportes. Book. Duque Escobar, Gonzalo (2006) Universidad Nacional de Colombia.

Introducción a la teoría económica. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Museo Interactivo Samoga, Manizales.

CTS, Economía y Territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2018). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. Book. (5 Book Section). Duque-Escobar, Gonzalo (2015). Museo Interactivo Samoga. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Esmeralda. Muzo Colombia. Esmeral.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 05

LOS MINERALES

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

5.1. DEFINICION

Son los principales constituyentes de las rocas de la corteza terrestre; se trata de sustancias sólidas naturales, y homogéneas de composición química definida, disposición atómica ordenada y fruto de procesos inorgánicos.

Pocos minerales forman rocas a pesar de que se conocen cerca de 2000 especies diferentes, pues los silicatos y los óxidos son los principales constituyentes de la corteza, en razón de que ocho elementos lo hacen casi todo en la naturaleza. Los minerales pueden formarse con base en un sólo elemento, como el diamante con el carbono; con dos elementos, como la pirita (oro de los tontos) con el hierro y el azufre, o con tres o más elementos como los feldspatos o los piroxenos y anfíboles. También se pueden generar varias especies minerales con un mismo elemento, como el diamante y el grafito con el carbono, o con dos elementos como la pirita y la marcasita constituidos por el hierro y el azufre.

5.2. ELEMENTOS CLAVES

Los ocho elementos más importantes de la naturaleza, por su participación, son:

- **Oxígeno.** Elemento no metálico que por ser altamente reactivo forma óxidos con casi todos los demás elementos. Hace parte sustancial del aire y del agua.

- **Silicio.** Elemento metaloide; siempre aparece en los silicatos y en los aluminio-silicatos, el más abundante de los cuales es el cuarzo. El silicio se utiliza para aleaciones de ferrosilicio.

Cuadro 5. Elementos más abundantes en la Tierra.

SIMBOLO ELEMENTO	NUMERO ATOMICO	VALENCIA CARGAS	RADIO IONICO	PESO ESPECIFICO	PESO	VOLUMEN
O	8	-2	1.4	---	46.60%	93.77%
Si	14	+4	0.4	2.40	27.72%	0.86%
Al	13	+3	0.5	2.70	8.13%	0.47%
Fe	26	+2	0.7	7.88	5.00%	0.43%
CA	20	+2	1.0	1.54	3.63%	1.03%
Na	11	+1	1.0	0.97	2.83%	1.32%

K	19	+1	1.3	0.86	2.59%	1.83%
Mg	12	+2	0.7	1.74	2.09%	0.29%
Total participación en la corteza					98.59%	100.00%

Adaptado de Leet y Judson. Fundamentos de geología física, Limusa, 1980.

- **Aluminio.** Elemento metálico; siempre aparece en combinación con otros elementos. Es uno de los principales constituyentes de los silicatos. Resiste a la corrosión, es ligero y buen conductor eléctrico. Es el principal componente de las aleaciones ligeras.

- **Hierro.** Elemento metálico constituyente de óxidos, silicatos, óxidos hidratados, carbonatos y sulfuros. Se encuentra también nativo y en aleaciones con níquel. Es el principal constituyente del acero lo que lo hace el metal industrial más importante.

- **Calcio.** Elemento metálico; aparece en silicatos, carbonatos, sulfatos y fosfatos. Es aditivo en la fundición de metales para separar el oxígeno, el azufre, el fósforo y los halógenos. Es útil como agente reductor o deshidratador, en la química orgánica.

- **Sodio.** Elemento metálico; aparece en los silicatos y en los carbonatos hidratados. Se inflama al contacto con el agua. Es útil como núcleo de los cables eléctricos.

- **Potasio.** Elemento metálico; es el más común en los silicatos y aluminosilicatos. Útil como fertilizante en forma de cloruro, sulfato o en combinación con nitrógeno y fósforo.

- **Magnesio.** Elemento metálico; aparece combinado en silicatos, óxidos, hidróxidos y carbonatos. Se utiliza en aleaciones ligeras de aluminio.

5.3. CRISTALIZACION

Un cristal es un sólido, por regla general homogéneo, que posee un orden interno tridimensional de largo alcance. Los cristales se forman a partir de fundidos, disoluciones y vapores. Estos fluidos, caracterizados por un estado de desorden atómico, se solidifican por variaciones en la temperatura, presión y concentración. El producto final, por regla general, resultará con estructura cristalina, dado que los átomos, iones y moléculas, aparecerán ordenados y ligados por fuerzas electromagnéticas de enlace químico.

La cristalización a partir de un fundido, como el hielo a partir del agua o las rocas ígneas a partir del magma, se genera por el descenso de la temperatura a un punto en el cual las moléculas, iones y elementos disociados, conforme pierden la movilidad, se orientan y aproximan favoreciendo los enlaces de reacción.

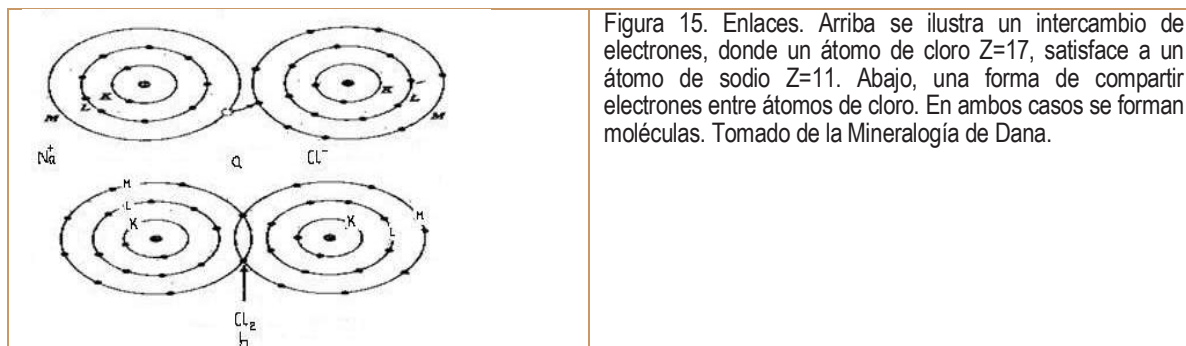
La cristalización a partir de una disolución, como la sal en agua, se produce por sobresaturación del solvente. Si se evapora el agua, si pierde temperatura y presión, los iones de sodio y cloro se van separando de la solución para edificar un cuerpo sólido cristalino.

La cristalización por un vapor de enfriamiento se presenta por la interacción de sus átomos o moléculas que se aproximan entre sí hasta solidificarse (desublimación o previa condensación del vapor). Es el caso de la nieve formada a partir del vapor de agua.

Si la velocidad de los procesos de solidificación es alta, el ordenamiento interno, y con mayor razón el crecimiento cristalino, será deficiente. Algunas sustancias solidificarán como agregados y por lo tanto sin estructura cristalina (vidrio); semejantes sólidos son amorfos por lo que su estado debe ser considerado más bien como de líquido de elevada viscosidad. Minerales sin estructura cristalina reciben el nombre de mineraloides.

Los cuerpos amorfos tienden a cristalizarse; en algunos de ellos la velocidad de transformación es muy baja, en tanto que en otros es tan rápida que se convierte en explosiva.

5.4. ENLACES, ESTRUCTURAS Y ALEACIONES



La estructura cristalina se mantiene por fuerzas de naturaleza electromagnética, así como los protones sostienen eléctricamente la nube electrónica, intra-atómica. La unión entre átomos es posible por el estado eléctrico de cada átomo constituyente, expresado en su último orbital. El tipo de enlace químico puede ser predominantemente de una de las siguientes formas, las que permiten estados de transición.

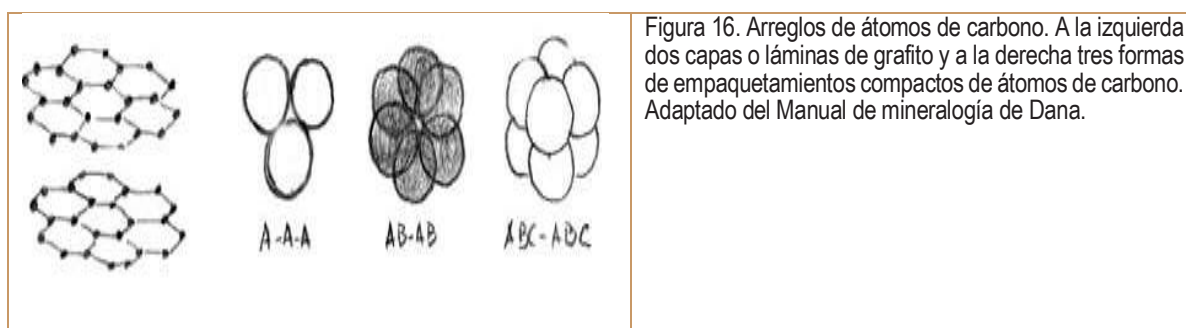
5.4.1 Enlace iónico. La falta de electrones en un átomo y el excedente en otro, pueden generar una configuración estable. El catión de sodio, monovalente, y el anión de cloro, monovalente, dan como resultado una configuración estable cuando se comparte el electrón mediante un enlace electrostático.

5.4.2 Enlace covalente. La inestabilidad del anión de cloro, monovalente, hace que el elemento sea altamente reactivo en su estado monoatómico; por lo tanto dos iones de cloro pueden prestarse el servicio uno a uno compartiendo una pareja de electrones para hacerse inertes gracias a un enlace covalente. Este enlace, en el que se comparten electrones, supera en fuerza al iónico, de carácter electrostático.

5.4.3 Enlace metálico. Los metales, átomos cuyos núcleos tienen bajo control sobre los electrones más externos, son conductores de la electricidad debido a su movilidad. Del mismo modo los átomos de los metales pueden sostener enlaces metálicos de intensidad moderada gracias a una nube de electrones que circunda el conjunto.

5.4.4 Estructuras de carbono. En su última órbita, que se satura electrostáticamente con 8 electrones, sólo se encuentran presentes cuatro. En esa segunda nube electrónica es difícil conseguir que el átomo pierda o gane electrones, por lo cual el carbono no se ioniza; prefiere la combinación con un máximo de cuatro átomos compartiendo electrones. No obstante tal limitación, el carbono forma más de un millón de compuestos, si se rodea en forma de tetraedro como el metano. Pero cada átomo, de hidrógeno por ejemplo, puede ser sustituido por otro al cual le falte un electrón, para estabilizarse. Podrá entonces el carbono sustituir 1, 2, 3, ó 4 hidrógenos por flúor, cloro, bromo y yodo con 39 combinaciones distintas.

Pero el Carbono puede ligarse consigo mismo para formar el diamante, el grafito o el carbón vegetal. En el diamante los átomos de carbono se ordenan tridimensionalmente en tetraedros: cada átomo está rodeado por cuatro compartiendo con cada uno un par de electrones (el suyo y el de él).



En el grafito los átomos se disponen en capas bidimensionales formando anillos de seis átomos, cada uno de ellos con 3 vecinos cercanos (2 de su anillo y uno del otro), por lo que el número de electrones compartidos por átomo es 6, mientras los dos restantes quedan sin compartir (uno de cada átomo); eso sí, su papel es contribuir a la firmeza de los anillos.

En el carbón vegetal la sustitución tiende a ser la del grafito y no la del diamante; también existen allí capas de anillos hexagonales pero la extensión de cada arreglo es reducida y por lo tanto el espacio de movilidad de los electrones no apareados también lo es.

Los casos anteriores explican la mayor densidad del diamante, su dureza (más átomos y a menor distancia por unidad de volumen), y la propiedad lubricante del grafito, material conductor de la electricidad, de brillo metálico y exfoliación perfecta, gracias a la movilidad de electrones no compartidos sobre un arreglo espacial ineficiente.

5.4.5 Estructuras de silicio. El silicio, con idéntica estructura electrónica a la del carbono y extendida variedad de compuestos, prefiere la unión con átomos no idénticos, como en el carbono, sino con otros que lo hacen más estable, por ejemplo, rodeándose tetraédricamente con oxígeno. En este caso se forma un anión de silicato estable con cuatro valencias negativas.

Los cuatro electrones no apareados sirven para que el ion del silicato ligue cationes metálicos. Esta estructura de tetraedros individuales es el grupo de silicatos denominado nesosilicatos. Pero esas cargas (de los 4 electrones) sobre el silicio, pueden considerarse sobre los oxígenos. Si se hace que uno de los oxígenos comparta su electrón con el oxígeno de un tetraedro adyacente, el nuevo ion silicatado tendrá seis electrones disponibles para ligarse con iones metálicos que compensen su carga.

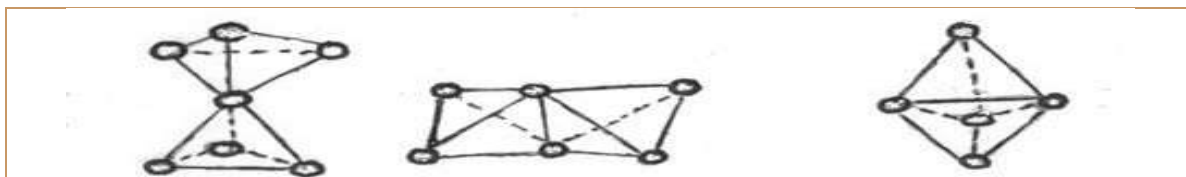


Figura 17. Tetraedros de silicio. Compartiendo vértice (iz), compartiendo arista (ce) y compartiendo cara (de). Adaptado del Manual de Mineralogía de Dana.

Ese desarrollo general en el cual los tetraedros de silicio-oxígeno se ligan compartiendo átomos de oxígeno en una versión ampliada, puede hacerse por los vértices, para degenerar en anillos (ciclosilicatos) o en cadenas (inosilicatos); por las aristas, degenerando en láminas (filosilicatos), y por las caras, degenerando en volúmenes (tectosilicatos).

5.4.6 Aleaciones. Una masa metálica está constituida por iones metálicos, en los cuales los electrones que sostienen el conjunto transitan sin sujeción a un núcleo específico (enlace metálico). La variedad del metal se da principalmente por la diversidad del elemento ionizado que participa de la masa. El Mercurio, elemento líquido, por lo general forma amalgamas ya que la sustancia resultado de la unión del Mercurio con otros metales es amorfa o es líquida.

Las aleaciones, sólidos con estructura cristalina, son factibles entre metales dependiendo del tamaño de sus iones, de la fuerza con que atraigan a los electrones y del número de electrones cedidos por cada metal a la nube comunitaria.

Si en sus espacios intra-iónicos participan iones de gran tamaño, éstos permitirán que se deslicen y acomoden iones de pequeño radio, aprovechando los agujeros para aumentar la densidad, resistencia y dureza de la masa. Es el proceso de fabricación del acero: se introduce carbono al hierro y a veces otros metales (vanadio, cromo, volframio), caso en el cual se tiene la aleación con mejor resistencia mecánica.

Otra forma de aleación se obtiene entre dos iones metálicos, el primero con mejor control sobre los últimos electrones que el ejercido por el segundo. El enlace que predominará entre los iones de ambos elementos emulará el enlace iónico entre cloro y sodio. Esos electrones de baja movilidad harán de la aleación una sustancia mala conductora de la electricidad. Como ejemplo se tiene la aleación entre estaño y magnesio.

Los metales, por lo general con tres electrones lejanos en su último nivel, tienen un enlace químico que los tipifica. Si se analiza el zinc que cede dos electrones y el cobre que fácilmente cede uno, uno y otro con estructura diferente, se formará el latón (a veces enriquecido con Fe, Si, Sn, o Al) en una proporción de una parte de zinc por dos de cobre, en la cual se presentarán dos estructuras cristalinas mezcladas que en conjunto le darán características diferentes a la masa final.

5.5. PROPIEDADES FISICAS DE LOS MINERALES

Las propiedades físicas pueden ser generales o específicas.

Las **generales**, propias de los minerales con estructura cristalina, son:

- Los minerales forman cristales, esas unidades macroscópicas que representan la cristalización de su estructura atómica.
- La forma externa, es función de la estructura cristalina; no obstante, una especie puede mostrar hábitos debidos a variaciones en el número, tamaño y forma de las caras.

Las **específicas**, útiles para la identificación del tipo de mineral, son:

- Crucero o Clivaje.

- Fractura.
- Dureza.
- Tenacidad.
- Peso específico.
- Propiedades ópticas.
- Propiedades electromagnéticas.

5.5.1 Crucero o Clivaje. Un mineral no amorfo tiende al crucero o clivaje, cuando por presión, se separe en planos de posición con una geometría definida. Se hablará de exfoliación cuando se generen láminas (la mica), o de partición cuando se originen cubos o prismas (la magnetita). El crucero se califica según su grado, de perfecto, bueno o imperfecto.

La mica y el cinabrio tienen exfoliación perfecta, pero el berilo y el apatito la tienen menos definida, y la anhidrita no la presenta. Los cristales maclados, fácilmente se separan a lo largo de los planos de composición, produciendo superficies de rotura en forma de partición.

La magnetita muestra partición octaédrica, el piroxeno partición básica y el corindón partición romboédrica y la calcopirita, que generalmente se presenta en masas, puede presentarse en cristales que parecen tetraedros.

5.5.2 Fractura. Es el carácter de la superficie de rompimiento que muestra un mineral que no presenta exfoliación o partición, sea el mineral amorfo o cristalino (en el segundo caso la ruptura podrá estar controlada por el crucero del mineral).

Según el tipo de superficie (no plana), se hablará de fractura concoidea (en concha) como el vidrio, la pirita y el cuarzo; fibrosa (en astilla) como la plata, el hierro y el cobre nativos; ganchuda (dentada); irregular (desigual) como el oro nativo, etc.

5.5.3 Dureza. Se define como la capacidad que tiene el mineral para rayar o dejarse rayar por otros minerales u objetos; depende de la estructura cristalina, y por lo tanto de la fuerza de enlace químico. La escala de MOHS (1824), de uno a diez, califica la dureza con prototipos, del más blando al más duro así:

Tabla 7. Escala de Mohs.

Mineral	Dureza	Composición	Sistema	Observación
Talco	1	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Mon	Tacto graso, séctil
Yeso	2	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Mon	Brillo vítreo o sedoso
Calcita	3	$CaCO_3$	Rom	Fosforescente
Fluorita	4	CaF_2	Iso	Exfoliación octaédrica
Apatito	5	$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$	Hex	Exfoliación mala
Ortoclase	6	$KAlSi_3O_8$	Mon	Feldespató potásico
Cuarzo	7	SiO_2	Rom-Hex	El más abundante
Topacio	8	$Al_2SiO_4(F, OH)_2$	Ort	Exfoliación perfecta
Corindón	9	Al_2O_3	Rom	Alterado pasa a mica
Diamante	10	C	Iso	Brillo adamantino

Adaptado de R. Brauns. Mineralogía, Labor, 1927 y Cornelius & Cornelis. Manual de mineralogía de DANA, Reverté S. A. 1985.

Pero la escala de Mohs es más cualitativa que cuantitativa; de lo contrario el diamante debería estar en 40. Utilizando la escala con éste nuevo concepto, el geólogo se vale de las siguientes herramientas de trabajo para el chequeo de la dureza: la uña tiene 2.5 y raya el talco y el yeso pero no la calcita; la moneda de cobre tiene 3.5, la navaja 5.5 y la lima 6.5; ninguna de las anteriores puede rayar al cuarzo, siendo éste un mineral que raya al vidrio y al acero.

Para las perforaciones se usan las siguientes brocas:

- En rocas blandas y rocas meteorizadas, son de común uso las *brocas de carbono artificial*, como son la de silicio de dureza 14.0, la de boro con dureza 19.7 y la de tungsteno con dureza 17.6.

- En rocas duras o cristalinas se emplean las *brocas de mayor dureza*, que son la de diamante Bort de 36.4 y la de diamante carbonado de 42.4.

5.5.4 Tenacidad. Concepto que califica la resistencia cohesiva del mineral a diferentes tipos de esfuerzos; alude a como el mineral se deja romper, desgarrar, moler o doblar. Las clases de tenacidad son: frágil (sí rompe), como la calaverita, la margarita y la pirita; maleable (sí da láminas), como el cobre, la plata y el platino; séctil (sí se deja rebanar), como la acantita y el bismuto; dúctil (sí da hilos), como el oro y el cobre; flexible (sí se deja doblar), como el grafito y la molibdenita; y elástica (sí recupera su forma después de un esfuerzo), como la moscovita, la flogopita y la biotita.

5.5.5 Peso específico. Este concepto es diferente al de peso unitario (peso sobre volumen) o a la densidad absoluta (masa sobre volumen). El peso específico se conoce también como gravedad específica.

Tabla 8. Peso específico y dureza de algunos minerales.

Nombre	Composición	Sistema Cristalino	G	D
Calaverita	AuTe ₂	Monoclínico	9.35	2
Berilo	Be ₃ Al ₂ (Si ₆ O ₁₈)	Hexagonal	2.65 - 2.80	7 ½ - 8
Cerusita	PbCO ₃	Ortorrómico	6.55	3 - 3 ½
Cobre	Cu	Isoclínico	8.90	2 ½ - 3
Grafito	C	Hexagonal	2.23	1 - 2
Halita	NaCl	Isoclínico	2.16	2 ½
Magnesita	MgCO ₃	Romboédrico	3-3.2	3 ½ - 5

Datos tomados de Cornelius & Cornelis. Manual de Mineralogía de DANA, Reverté, 1985.

Se entiende por peso específico el peso de la muestra sobre el peso del agua a 4°C, cuando de ambas sustancias se contrastan volúmenes iguales. Dicho valor depende de dos parámetros: la clase de átomos y la estructura cristalina. Algunos ejemplos de minerales con su composición, sistema cristalino, peso específico (G) y dureza (D):

En caso de materiales porosos (con cualquier cantidad de espacios vacíos) se toman los pesos de la muestra, seca (D), saturada (S) y en suspensión sumergiéndola en agua (F).

El peso específico aparente será:

$$P_a = D/(S-F)$$

El peso específico verdadero será:

$$P_v = D/(S-F-A)$$

Siendo $A = (S-D)$, el agua que satura los poros de la muestra.

5.5.6 Propiedades ópticas. Son las que dependen de la luz, como la diafanidad, el brillo, el color, el espectro y la raya.

- **La diafanidad.** Depende de la capacidad refractante del mineral: si la refracción es coherente la muestra será transparente (a las frecuencias que ordenadamente la atraviesan); ejemplo el diamante y el espato de Islandia.

Si la onda luminosa que cruza el cuerpo es incoherente, el mineral será translúcido; como ejemplo la baritina. Finalmente, si la luz se refleja o queda absorbida, sin poder cruzar el material, la muestra será opaca; ejemplo la galena.

- **Brillo.** Es el grado de reflexión que experimenta la luz en los cuerpos opacos. Si la reflexión es coherente (la superficie de rebote es pulida), el brillo será máximo (metálico). Si la reflexión es incoherente (la superficie de rebote es rugosa), el brillo será nulo (mate).

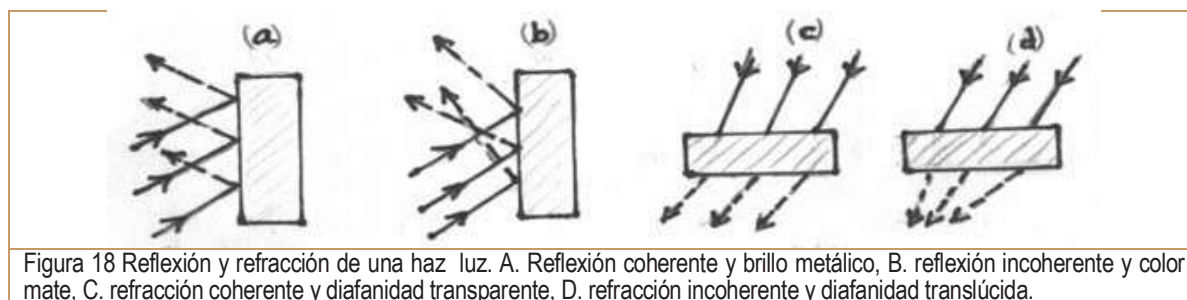


Figura 18 Reflexión y refracción de una haz luz. A. Reflexión coherente y brillo metálico, B. reflexión incoherente y color mate, C. refracción coherente y diafanidad transparente, D. refracción incoherente y diafanidad translúcida.

La luz es un frente de ondas multispectral. Algunas frecuencias se refractan y otras se reflejan, en uno y otro caso, con diferente nivel de coherencia. Así, el brillo podrá ser: metálico, como en la galena y la pirita; adamantino, en la cerusita y la anglesita; vítreo, en el cuarzo y

la turmalina; sedoso, en el yeso fibroso y la serpentina; nacarado, en la superficie de exfoliación del talco; graso, en algunas especies de blenda; resinoso en la blenda y el azufre, y mate, en la acantita, que siendo gris acerada cuando la superficie es fresca, se vuelve gris mate al aire.

- **Color.** Sea el material opaco o transparente, el color depende de la longitud de onda de la luz que llegue al ojo. En los opacos, la luz se absorbe o rebota; pero en otros se da una combinación de refracción-reflexión-dispersión, por frecuencias. Así, los colores pueden variar de claros a oscuros y los tonos, del azul al rojo.

Además el color puede ser el propio de la sustancia o el que adquiere aquella en virtud de materias extrañas. Suelen estar entre los primeros los minerales opacos, metálicos y transparentes, por ejemplo, blanco la plata, gris la galena, amarillo el oro, rojo el cobre, amarillo el azufre, rojo el cinabrio, verde la malaquita y azul la azurita. En los segundos, la coloración no es propiedad característica del mineral, porque esta varía extraordinariamente en una misma especie y aún en las distintas partes de un mismo ejemplar.

- **Espectro.** Es la forma de la descomposición de la luz que se refracta oblicuamente. Cada onda penetra el material con diferente dirección; por la anisotropía algunas pueden reflejarse sobre caras internas del cristal, otras pueden quedar absorbidas y otras pueden atravesarlo. De lo anterior se desprende que el mineral presente iridación, como en ciertos piroxenos y feldespatos y birrefringencia (doble imagen por doble refracción), como en el espato de Islandia.

- **La raya o huella.** Es el color del polvo resultante de frotar o triturar una muestra sobre la superficie de un objeto de porcelana áspera blanca (dureza alrededor de 7), sin hacer mucha presión. Ordinariamente el color de la raya es más claro que el del mineral, y muchas veces de distinto color; así, el oligisto, que es negro, da raya roja, la pirita de hierro amarilla, la produce negra.

5.5.7 Propiedades electromagnéticas. Son las que tienen que ver con la respuesta del mineral a las fuerzas eléctricas y magnéticas.

Conductividad eléctrica. Los minerales con enlaces puramente metálicos, como los metales nativos, son excelentes conductores eléctricos; aquellos en los que el enlace es parcialmente metálico y hay pocos electrones móviles, como en algunos sulfuros, son semiconductores. Las cerámicas, los silicatos y los diamantes, por su estructura interna (minerales iónicos o de enlace covalente), son no conductores. La sal no conduce la electricidad porque está compuesta de iones y los iones son fijos, sólo vibran, pero no se desplazan.

- **La piroelectricidad** se produce cuando se desarrollan cargas positivas y negativas en los extremos de un eje cristalino por variación de la temperatura en el mineral, por ejemplo, la turmalina.

- **La piezoelectricidad** se presenta cuando se produce electricidad al presionar un cristal sobre un eje, por ejemplo el cuarzo.

- **El magnetismo:** si con imanes o electroimanes potentes pueden ser o no atraídos ciertos minerales. La magnetita, La pirrotita, la ilmenita y la hematites, son imanes naturales.

NOTA:

El coltán¹² un mineral metálico negro y opaco que es una solución sólida los minerales columbita y tantalita, que se combinan en proporciones no definidas no es una denominación científica que se corresponda con un elemento químico en concreto. Su denominación corresponde a la contracción del nombre de dos minerales que lo conforman: la columbita (COL), óxido de niobio con hierro y manganeso (Fe, Mn) Nb₂O₆, y la tantalita (TAN), óxido de Tantalio con hierro y manganeso (Fe, Mn) Ta₂O₆.

El coltán, que es relativamente escaso en la naturaleza ha pasado a ser estratégicos para el avance tecnológico, debido a sus aplicaciones en dispositivos electrónicos.

El interés de la explotación del coltán se basa fundamentalmente en poder extraer tantalio; por lo tanto, el valor del coltán dependerá del porcentaje de tantalita –normalmente entre un 20 % y un 40 %– y el porcentaje de óxido de tantalio contenido en la tantalita, que puede estar alrededor del 10 % y el 60 %.

5.6. FORMA Y SISTEMAS CRISTALINOS

Cuando la sustancia no es amorfa, cristalizará; es decir, tomará forma característica. Las formas de los minerales presentan siete sistemas cristalinos que generan 14 redes espaciales (7 con la geometría de las esquinas y 7 de repetición), tomando lugares interiores del cristal. También algunos minerales tienen la posibilidad de presentar estrias (bandas) o maclas (formas de empotramiento de uno con otro), propias de cada especie.

5.6.1 Los sistemas cristalinos. Los siguientes son las células elementales posibles de los cristales, es decir, los sistemas que dan origen a las 32 clases cristalinas, y estas a su vez, a 230 grupos espaciales según su disposición. Con A, B, C y D se definirán los ángulos y con a, b, c y d los ejes de los cristales.

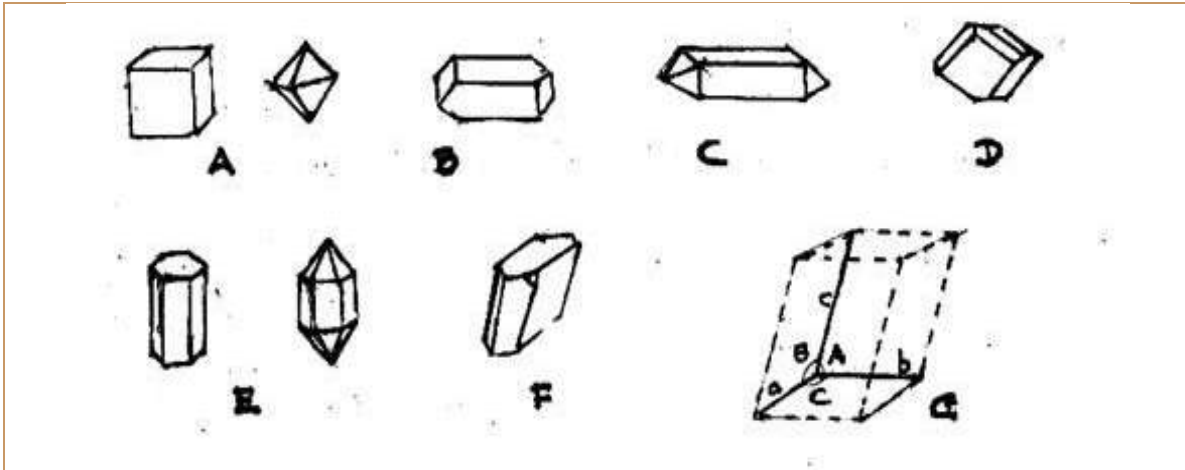


Figura 19. Ejemplos de cristales sistema por sistema. A. Halita y fluorita (cúbico), B. aragonita (Ortorrómico), C. circón (tetragonal), D. calcita (romboédrico), E. Nefelina y cuarzo (hexagonal), F. calcantita (triclínico), G. elementos del cristal. Por la forma, prismático (A izquierda), piramidal (A derecha), tabular (F), columnar (E). Tomados de Diccionario Rioduero de Geología y Mineralogía.

- **Cúbico o isométrico.** (Forma de dado) si $A = B = C = 90^\circ$ y $a = b = c$. En la simetría, 4 ejes ternarios. Ejemplo la halita, la pirita, la fluorita, el oro nativo, etc.
- **Ortorrómico.** De base rectangular y altura perpendicular a la base; si $A = B = C = 90^\circ$ y $a \neq b \neq c$. Con 3 ejes de simetría binarios. Ejemplos el olivino, la aragonita, el vitriolo de níquel, la marcasita, etc.
- **Tetragonal.** La base es un cuadrado y la altura es perpendicular a la base; si $A = B = C = 90^\circ$ y $a = b \neq c$. Con 1 eje tetragonal en la simetría. Ejemplo circón, la calcopirita, el rutilo y la pirolusita.
- **Romboédrico.** Llamado también trigonal (formaba parte del hexagonal); si $A = B = C \neq 90^\circ$ y $a = b = c$. Con 1 eje de simetría ternario. Ejemplo la dolomita, la magnesita, la calcita, etc.
- **Hexagonal.** De base hexagonal, con 4 ejes, siendo las 3 de la base iguales; si $A = B = C = 90^\circ$, $D = 120^\circ$ y $a = b = c \neq d$. Con 1 eje hexagonal de simetría. Ejemplo la pirrotina, el berilo, la nefelina, el grafito, etc.
- **Monoclínico.** Con base rectangular y altura perpendicular a un sólo eje; si $A = B = 90^\circ \neq C$ y $a \neq b \neq c$. Con 1 eje de simetría binario. Ejemplo la moscovita, la biotita, el yeso, la ortoclasa, etc.
- **Triclínico.** Si $A \neq B \neq C \neq 90^\circ$ y $a \neq b \neq c$. Sistema cristalino sin ejes de simetría. Sólo existe un centro de simetría. Ejemplo: las plagioclasas, la caolinita, la calcantita, la cianita, etc.

5.7. MINERALOGIA QUIMICA

De acuerdo con la composición química, los minerales pueden ser agrupados en silicatos, óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos, elementos nativos y otros grupos menores.

5.7.1 Los silicatos. Se subdividen en ferromagnesianos y no ferromagnesianos; se trata de la unión de un catión más el anión SiO_4 .

Los ferromagnesianos son silicatos de Fe y Mg oscuros y pesados; sobresalen entre ellos la Biotita, una mica negra con raya blanca y laminado débil; la hornblenda, de brillo vítreo, es un tipo de anfíbol verde oscuro y negro y en el clivaje muestra ángulos agudos; la augita, tipo de piroxeno con fractura concóidea, de iguales colores al anterior, pero mostrando clivaje en ángulos casi rectos; los olivinos, tetraedros simples de estructura granular, color verde olivo y con porcentajes variables de Fe y Mg.

Los no ferromagnesianos, por la ausencia de Fe y Mg, son claros y menos densos; entre ellos se incluyen el cuarzo, la moscovita y los feldespatos.

Dentro de los feldespatos, se encuentran las plagioclasas, una serie isomorfa que va desde la anortita, feldespato Cálcico, hasta la albita, feldespato Sódico.

Otro feldespato es la ortoclasa, un feldespato potásico, monoclinico y de color rosado, blanco o gris. Plagioclasa significa que el mineral rompe oblicuamente y ortoclasa que rompe en ángulo recto.

El cuarzo es un tetraedro de silicio-oxígeno (SiO_4) pero químicamente es SiO_2 . Es duro e incoloro o blanco grisáceo. Entre sus variedades cristalinas, se encuentran el cristal de roca, la amatista, el jaspe, el ágata y el ónice.

La moscovita que es la mica blanca bien cementada con exfoliación perfecta y que cristaliza en el sistema monocíclico. Algunos silicatos son:

Tabla 9. Ejemplos de silicatos.

Mineral	Composición	Características
Cuarzo	SiO_2	Romboédrico o hexagonal, dureza 7
Anortita	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	Miembro extremo Ca de las plagioclasas
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Miembro extremo Na de las plagioclasas
Ortoclasa	KAlSi_3O_8	Feldespato potásico de temperatura media
Biotita	$\text{K}_2(\text{MgFe})_6(\text{Si}_3\text{Al})_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4$	Mica negra, monoclinica
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Monoclinica, exfoliación perfecta
Olivino	$(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$	Mineral de roca, verde, Ortorrómbico
Piroxeno	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	Grupo mineral de la forma $\text{X Y Z}_2 \text{O}_6$
Hornblenda	$\text{NaCa}_2(\text{MgFeAl})_5(\text{SiAl})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Anfibol verde a negro

Datos tomados de Cornelius & Cornelis. Manual de Mineralogía de DANA, Reverté, 1985.

5.7.2 Los óxidos. Son la unión de un elemento con el oxígeno; se caracterizan por ser menos duros que los silicatos, pero menos pesados que los sulfuros; en este grupo se encuentran las principales menas (vetas de un metal económicamente explotable) de hierro, magnesio, estaño, cromo y aluminio, entre otros. Los prototipos son: casiterita, corindón, cromita, hematita, magnetita, pirolusita y cromita (tipo de espinela). Algunas de sus características son:

Tabla 10. Ejemplos de óxidos.

Mineral	Composición	Características
Casiterita	SnO_2	Dureza 6,0-7,0; color pardo a negro
Corindón	Al_2O_3	Dureza 9,0; fractura concóidea
Cromita	FeCr_2O_4	Dureza 5,5; brillo submetálico
Hematita	Fe_2O_3	Llamada oligisto; más dura que la limolita
Magnetita	Fe_3O_4	Dureza 5,5; exfoliación imperfecta
Pirolusita	MnO_2	Dureza 2,2-5,0; gris plomo o negro

Datos tomados de Cornelius & Cornelis. Manual de Mineralogía de DANA, Reverté, 1985.

5.7.3 Los sulfuros. Unión de un elemento con azufre; se encuentran allí las menas comercialmente más importantes de hierro, plata, cobre, mercurio, zinc y plomo. Sus prototipos son: pirita, galena, esfalerita, calcosita, marcasita y cinabrio. Algunas características son:

Tabla 11. Ejemplos de sulfuros.

Mineral	Composición	Características
Pirita	FeS_2	Color amarillo de latón, dureza 6,0 a 6,5
Galena	PbS	Peso específico 7,4-7,6 y muy buena exfoliación
Esfalerita	ZnS	Es el mineral de zinc más importante (blendita)
Calcosita	CuS	Peso específico 5,7-5,8; dureza 2,5-3,0
Marcasita	FeS_2	Pirita blanca de color amarillo verdoso
Cinabrio	HgS	Color rojo escarlata de brillo diamantino

Datos tomados de Cornelius & Cornelis. Manual de Mineralogía de DANA, Reverté, 1985.

5.7.4 Los carbonatos. Son la combinación de un elemento más el anión $(\text{CO}_3)^{2-}$ prototipos son: la calcita, que es el mineral constituyente de las calizas y los mármoles, y en consecuencia del cemento; su dureza es 3 -mineral blando-; se pone en evidencia porque presenta efervescencia con el HCl oficial (diluido al 10%). La dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, mineral constituyente de la roca dolomía, porque da efervescencia con el HCl fuerte. Finalmente, la malaquita, la cerusita y la magnesita. Algunas características son:

Tabla 12. Ejemplos de carbonatos.

Mineral	Composición	Características
Calcita	CaCO ₃	Dureza 3 y peso específico 2,6-2,8
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	Un carbonato de calcio y magnesio
Malaquita	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	Color verdoso y fractura concóidea
Magnesita	MgCO ₃	Carbonato de Mg, peso específico 3,0
Cerusita	PbCO ₃	Mineral de Pb asociado a la galena

Datos tomados de Cornelius & Cornelis. Manual de Mineralogía de DANA, Reverté, 1985.

5.7.5 Los sulfatos. Son la combinación de un catión más el anión (SO₄)⁻², prototipos: la anhidrita, el yeso, la calcantina, la barita y la celestina. Algunas características son:

Tabla 13. Ejemplos de sulfatos.

Mineral	Composición	Características
Anhidrita	Ca(SO ₄)	Incoloro, blanco, gris, rojo o azulado
Yeso	CaSO ₄ .2H ₂ O	Fractura concóidea y dureza 1,5-2,0
Barita	BaSO ₄	Bario predominantemente hidrotermal
Calcantina	Cu(SO ₄).5H ₂ O	Llamado vitriolo de cobre (azul)
Celestina	SrSO ₄	Estroncio originado en fisuras calcáreas

Datos tomados de Cornelius & Cornelis. Manual de Mineralogía de DANA, Reverté, 1985.

5.7.6 Grupo de los elementos. Alrededor de una veintena de elementos se encuentran en la naturaleza sin combinar químicamente con otros, aunque en ocasiones se presentan como mezclas homogéneas de dos o más. En general son muy escasos. Entre los metales se destacan el oro, la plata y el cobre y entre los no metales se pueden citar el azufre, el grafito y el diamante.

5.7.7 Grupos menores. Comprende los subgrupos sulfosales, nitratos, buratos, tungstatos, fosfatos, boratos y haluros. Entre ellos se tienen:

Los haluros, combinaciones de metales con elementos halógenos como flúor y cloro. Entre ellos están la halita (NaCl), la silvita y la fluorita. Los nitratos y boratos, menos extendidos que los carbonatos, se encuentran en concentraciones locales de depósitos salinos, por ejemplo el bórax y el nitro (salitre). Los fosfatos, cuya mayor parte se halla en forma de apatito (fosfato cálcico con flúor y cloro); los demás son muy raros.

5.8. PARTICIPACION E IMPORTANCIA DE LOS MINERALES

Los silicatos más los óxidos constituyen el 75% de la corteza. Los feldespatos de Na, Ca y K, por su parte, conforman el 60% de la corteza, principalmente las plagioclasas (45%), pues son ellas las constituyentes primarias de las rocas ígneas.

5.8.1. Minerales fundamentales. En las rocas ígneas, cuarzo, feldespatos, micas, augita, hornblenda, olivino y óxidos de hierro.

En las rocas de metamorfismo regional, actinolita, andalucita, asbesto, clorita, epidota, granate, cianita, hornblenda, serpentina y talco (Mg₆(OH)₄(Si₈O₂₀)). En las sedimentarias, cuarzo, feldespatos (plagioclasas), caolinita (arcilla), calcita, corindón, dolomita, hematita, yeso, anhidrita y halita.

La actinolita es un clinocianita que se presenta en cristales alargados o fibrosos. La andalucita es un silicato frecuente en contactos de granitos con pizarras arcillosas. El asbesto, de fibras duras y rígidas, es una serpentina de múltiples usos. La clorita es un filosilicato que se diferencia de las micas por inelástico.

El granate es un nesosilicato cúbico y duro. La cianita es un silicato triclinico que con la andalucita y la sillimanita constituyen un sistema polimorfo. La serpentina es un filosilicato como la clorita que puede ser fibrosa u hojosa.

El talco, por su parte, es un filosilicato monoclinico de origen secundario gracias a la alteración de los ferromagnesianos.

5.8.2 Principales menas de minerales. Se entiende por mena un depósito, de un mineral o de varios minerales, en una concentración superior a la media, y en condiciones económicamente explotables.

En consecuencia, la mena es la parte mineral aprovechable de una explotación minera. Asociados con los minerales económicamente útiles (minerales de mena) están los minerales de ningún valor comercial (ganga). Los estudios cuidadosos de la paragénesis de ambas mineralizaciones (mena y ganga), junto con el estudio de inclusiones muy pequeñas de fluido hidrotérmico residual (inclusiones fluidas) en granos minerales, permiten dividir los depósitos hidrotermales en función de la temperatura de origen (baja, entre 50 y 150°C; intermedia, entre 150 y 400°C, y alta, entre 400 y 600°C).

- **Piedras preciosas.** Sobresalen el diamante, el rubí, el zafiro y la esmeralda, entre otras. Colombia es famosa por las esmeraldas de Muzo y Chivor. La esmeralda en un berilo coloreado de verde por su contenido en cromo.
- **Piedras ornamentales.** Sobresalen el mármol, las calizas y los granitos. Las dos primeras de suma importancia por su nobleza y baja dureza. La segunda, aunque dura, por su aspecto y resistencia.
- **Otros usos de los minerales.** Como abrasivos, el cuarzo y el diamante. En la cerámica y vidriería, la caolinita y el cuarzo. Como refractarios el grafito y las micas. Como fundentes y en óptica, la calcita y el cuarzo. También el cuarzo en electrónica y las fosforitas como abonos.

Tabla 14. Las menas más importantes.

Metal	Mineral	Metal	Mineral
Aluminio	bauxita	Manganeso	manganita y pirolusita
Cromo	cromita	Oro	oro nativo y marmatita
Cobre	el cobre nativo, calcosina, bornita y calcopirita	Plata	Argentita
Mercurio	cinabrio	Uranio	uraninita y carnotita
Estaño	casiterita y estannina	Platino	Esperrilita
Hierro	hematites y magnetita	Plomo	galena, cerusita y anglesita
Molibdeno	Molibdenita	Magnesio	Magnesita
Zinc	blenda o esfalerita	Níquel	Niquelina
		Titanio	Ilmenita
Aluminio	bauxita	Manganeso	manganita y pirolusita
Cromo	cromita	Oro	oro nativo y marmatita
Cobre	el cobre nativo, calcosina, bornita y calcopirita	Plata	Argentita
Mercurio	cinabrio	Uranio	uraninita y carnotita

Lexis de Mineralogía y Geología, volumen 22, 1983.

5.9. GEOLOGIA ECONÓMICA DEL EJE CAFETERO

Según el inventario minero de Ingeominas (1972), la región cuenta con 220 explotaciones y depósitos metalíferos y no metalíferos: 124 en Caldas, 60 en el Quindío y 36 en Risaralda. La minería es una actividad que se remonta a la época precolombina, fue importante como motor en la colonización antioqueña, y aún hoy, aunque con excepciones, se desarrolla con características artesanales. En la región las principales ocurrencias son oro, plata, zinc y mercurio, además de otros minerales metálicos y no metálicos que son vitales para el desarrollo de las fuerzas productivas, como calizas, mármol, arcillas y carbón.

- **Oro y plata.** Asociados a cuerpos intrusivos y depósitos aluviales. Como yacimientos de filones, en Caldas, se destacan Marmato y Riosucio, el distrito Manizales-Villamaría y otros yacimientos en Samaná, Florencia y Manzanares. En Risaralda la región de Santa Cecilia-Pueblo Rico; en Quindío no hay áreas de interés.

Como aluviones auríferos, están las terrazas del Cauca, los ríos Samaná y Guarín, en Caldas; Risaralda y San Juan, en Risaralda, y La Vieja y Boquerón, en Quindío. Esta minería se practica básicamente sin control estatal.

- **Hierro.** Se destacan yacimientos del complejo volcánico Ruiz-Tolima, utilizados en la industria del cemento.

- **Antimonio.** Son escasas las ocurrencias en la región. Se conocen manifestaciones en Villamaría (Caldas) y en los alrededores de Salento (Quindío), unas y otras asociadas a rocas metamórficas y metasedimentarias.

- **Plomo-zinc.** Son numerosas las mineralizaciones; se conoce la mina Las Nieblas, y en Caldas, ocurrencias en Samaná y Marquetalia.

- **Cobre.** Manifestaciones numerosas en Caldas y Risaralda, algunas de ellas explotadas antiguamente.

- **Manganeso.** El ambiente de la fosa del Cauca parece favorable, siendo reportadas manifestaciones en San Félix, Viterbo y Apía, sobre rocas sedimentarias del Cretáceo.

- **Mercurio.** Se detecta un cinturón que se extiende de Aranzazu a Salamina; existen manifestaciones en Aguadas (El Pico), sobre la formación Quebradagrande y en las Vegas del río Supía y Guaca, en la desembocadura del río Cambía.

- **Carbón.** El Terciario Carbonífero de Antioquia se extiende a Riosucio, Quinchía y posiblemente Aranzazu. Los mantos anuncian una cuenca intra-montañosa con reservas bituminosas apreciables y con buen poder calorífico.

- **Asbestos.** Se reportan en Neira (Caldas) y Córdoba y Pijao (Quindío), asbestos con fibras de mala calidad asociados a rocas básicas de la falla Romeral.
- **Caliza-mármol.** Sobresalen los yacimientos de Samaná, La Victoria y La Dorada (Caldas); existen numerosas explotaciones como la de Neira (Caldas), Manizales y Pijao (Quindío). Las últimas en forma de lentejones.
- **Grafito.** Asociados a esquistos negros y shales, podrían darse yacimientos; la única ocurrencia conocida está en el norte de Caldas.
- **Arcillas.** Abundantes en el Quindío; en Caldas y Risaralda se explotan niveles que incluyen caolinitas. Los yacimientos más interesantes están en Génova, Calarcá, Quimbaya y Pijao, formados como suelos residuales. La naturaleza detrítica supone largos transportes pero subyacen suelos altamente productivos.
- **Caolín.** Se presentan numerosas ocurrencias en Aguadas, San Félix y Marquetalia (formación Abejorral y Valle Alto).
- **Talco.** En la Felisa (Salamina) asociado a serpentinas de la Falla Romeral.
- **Azufre.** Se han explotado yacimientos asociados a morrenas en el costado norte del nevado del Ruiz. Existe otra ocurrencia interesante en la Laguna del Otún.
- **Agregados de ríos.** Las principales fuentes son los ríos Vieja, Otún, Risaralda, Cauca, Chinchiná y Barragán.

Algunas fuentes resultan hoy sobre explotadas, por lo cual se intensifican explotaciones en Cerro Bravo y en macizos rocosos vecinos a los grandes cascos urbanos.

- **Uranio.** Se encuentran anomalías en Irra (Risaralda) y Berlín (Caldas), asociadas las primeras a sedimentos del Cretáceo y las segundas a un intrusivo del Terciario.
- **Recursos geotérmicos.** Los estudios de prefactibilidad de la CHEC permitieron identificar tres zonas anómalas: la Laguna del Otún (Cerro España), la región de Nereidas (Playa Larga) y la región de Cajamarca (El Machín). Hoy se prospecta el potencial del campo de Nereidas, en territorio de Villa María.

Para una visión sobre las posibilidades de aprovechamiento de estos recursos de la ecorregión cafetera, y los grandes desafíos socio-ambientales que se deben enfrentar, véanse Plan Minero-Energético de Caldas 2006-2016, elaborado por Gabriel Poveda Ramos.

5.10. DESARROLLO MINERO-ENERGÉTICO DE CALDAS *

Ahora que Caldas retoma la senda perdida en el desarrollo hidroenergético con El Edén y Miel II, al declinar la bonanza del oro, carbón y petróleo para la Colombia minera, e iniciar el quinquenio de la infraestructura por las inversiones en curso para carreteras, líneas férreas, aeropuertos y la navegación del Magdalena, veamos las problemáticas y potencialidades de la ecorregión con los desafíos, grandes ventajas y tareas por resolver, para un desarrollo de industrias pesadas destinadas a transformar la riqueza del subsuelo, aprovechando el recurso minero relacionado con el oro de Marmato, las calizas de Victoria, y el manganeso de Apía, haciendo uso de la posición geoestratégica del territorio, del potencial multimodal en La Dorada y de nuestros recursos energéticos.

Para entrar en la materia, algo sobre los dos escenarios privilegiados de la ecorregión para implementar industrias químicas de base minera: por el poniente, el Corredor del Cauca entre La Virginia y La Felisa, cuenta con el carbón de la cuenca carbonífera de Antioquia que se extiende hasta Quinchía y Riosucio, pero depende para su viabilidad de un sistema férreo eficiente como medio de transporte y debe resolver su balance deficitario en agua. Y por el naciente, La Dorada, aunque el recurso hidroenergético e hídrico excedentario, y la hidrovía del Magdalena la favorecen, también requeriría del Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41 cruzando la cordillera, para resolver el suministro de materias primas al integrar la Región Andina, y encontrar la salida de productos transformados a la cuenca del Pacífico.

Como punto de partida, del trabajo del ilustre Maestro e Investigador Gabriel Poveda Ramos, "Propuesta de un Plan Minero- Industrial de Caldas 2006-2016", tomaré algunos elementos, donde al citar el "Inventario minero nacional" Ingeominas (2000), advierte sobre la carencia de estudios serios de cuantificación de reservas, y condiciona los proyectos a los costos del transporte y de la energía disponible.

Poveda Ramos rescata la existencia de filones de oro que califica de interesantes, en Manizales, Manzanares, Marmato, Riosucio y Supía, y agrega que de las jaguas de los beneficios y de las gangas de las explotaciones de estos y otros lugares, caso Pensilvania y Samaná, se podría obtener apreciables cantidades de sulfuros de zinc, de plomo, de hierro, de cobre, de antimonio y de arsénico, o zinc metálico y sus derivados. Añade que previamente habrá que cuantificar y caracterizar las cantidades de materias primas existentes en las escombreras auríferas y que se generan en las minas, para asegurar suficiencia alimentando una planta de producción de zinc metálico y óxido de plomo.

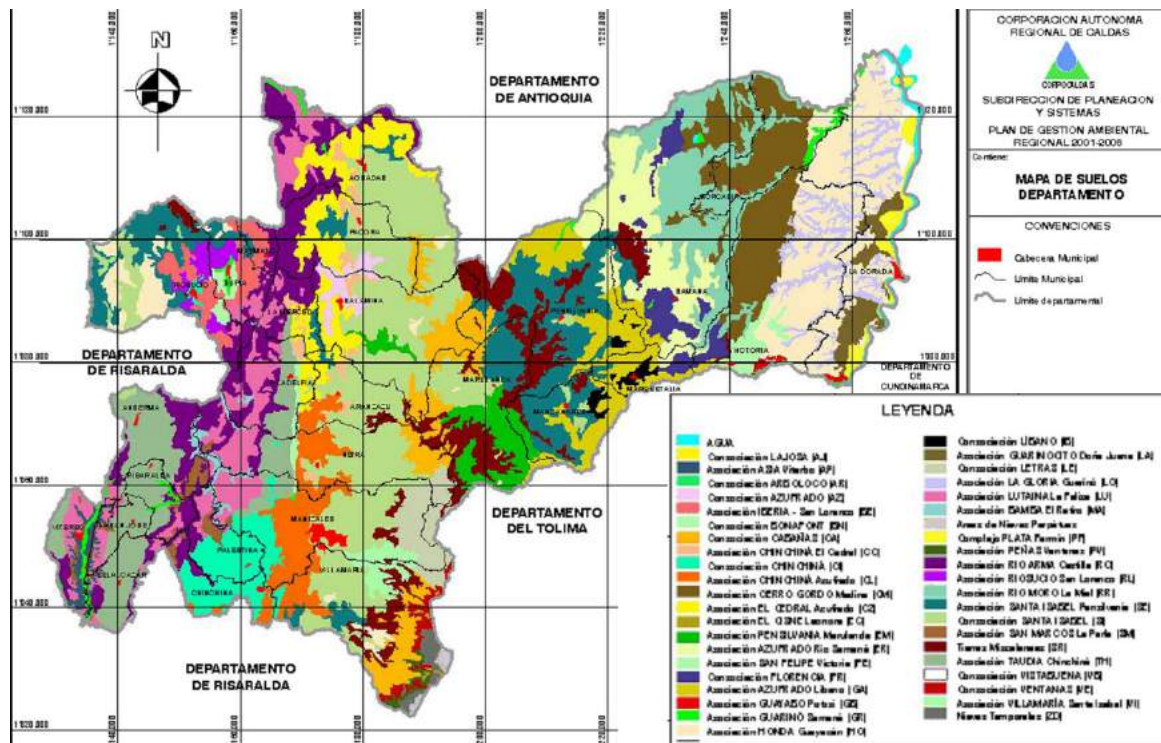
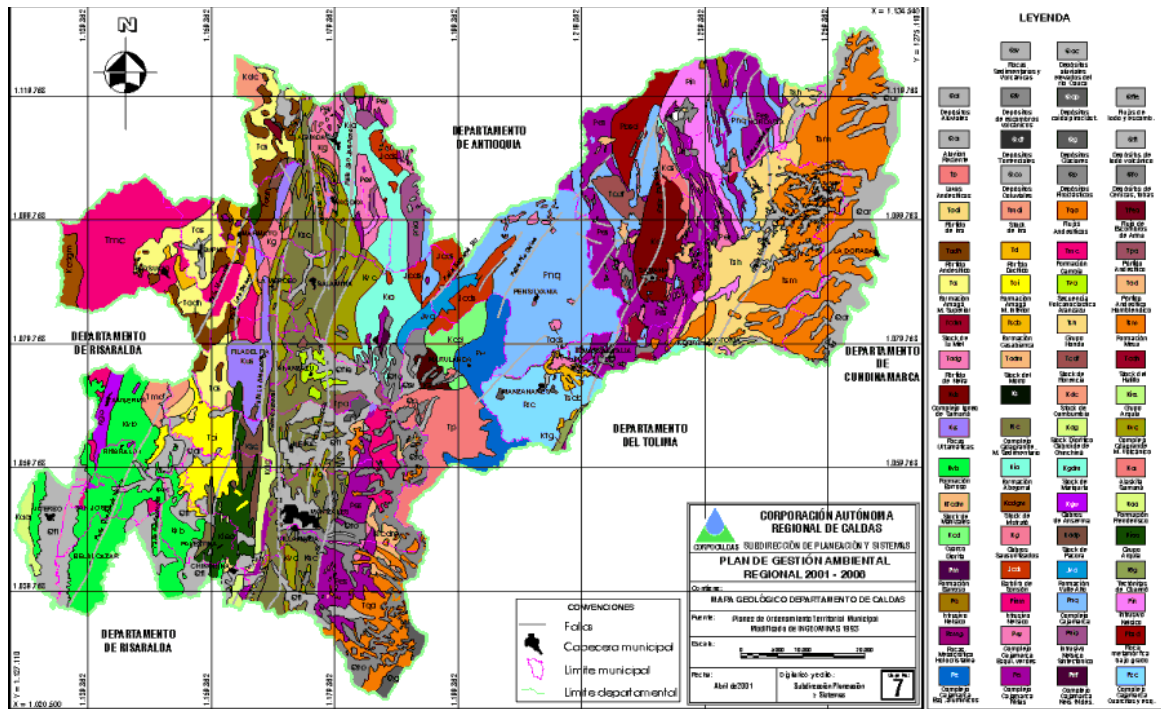


Imagen 27: Mapas Geológico y de Suelos del Departamento de Caldas. Fuente: Ingeominas y Corpocaldas, en <http://godues.files.wordpress.com/2012/11/>

Sobre el manganeso de Apía y Viterbo, el eminente Investigador también señala que en dicho Inventario no se mencionan estas minas, califica el yacimiento minero-metálico como el más importante de Caldas, y considera su eventual aprovechamiento de mucho interés para el Plan Minero-Industrial. Similarmente, anota que tal compilación del Ingeominas no precisa la existencia de arenas silíceas de alta pureza en cuarzo (SiO₂), existentes en Pueblo Rico y el Valle del Cauca, y posiblemente en el distrito minero Riosucio-Supía-

Quinchía, las que podrían explotarse y complementarse con otras de Antioquia y Tolima para implementar industrias de transformación, garantizando un proyecto a 20 años para tres importantes productos: silicato de sodio, sílice-gel y carburo de silicio.

Adicionalmente y entre los principales prospectos para el Plan Minero de Caldas, el Doctor Gabriel Poveda considera los materiales calcáreos, al anunciar que parece inferirse una inmensa cadena de yacimientos de calizas en el oriente caldense, que parte desde el centro de Tolima y llega al nordeste de Antioquia, cuyos mayores prospectos requieren ser ubicados y aforados, al igual que los existentes en la otra vertiente de la cordillera entre Manizales y Aguadas. Al respecto recomienda un programa para inventariar los yacimientos de caliza y mármol de las dos franjas calcáreas que recorren a Caldas de sur a norte: la de La Victoria-La Dorada-Río La Miel, y la de Neira-Aranzazu-Salamina, aforando su calidad, dispersión y cantidad, para proveer de materias primas en un horizonte de 20 años como mínimo, una industria de carburo y fosfatos fertilizantes que en un plano de mayor nivel de desarrollo daría origen a plantas de acetileno, cianamida, cloruro químicamente puro y cemento.

Y de expandirse el corredor férreo del Cauca tal cual lo hemos propuesto, con el tren llegando a Urabá, similarmente, según Gabriel Poveda Ramos, aprovechando la energía de Pescadero Ituango, las plantas que podría implementar Antioquia serían: cobre electrolítico, cianamida cálcica, zinc electrolítico, aluminio en lingotes, corindones artificiales, grafito artificial, bisulfuro de carbono, óxido de magnesio, 8. bióxido de magnesio electrolítico, 9. bióxido de manganeso electrolítico, silicio metálico, germanio metálico, oxígeno y nitrógeno del aire, y aceros inoxidables.

[Ref: Gonzalo Duque-Escobar; La Patria. Manizales, 8-12-2014.]

5.11. MINERÍA METÁLICA SÍ, PERO SUSTENTABLE.

RESUMEN: Colombia tiene un PIB minero importante, donde el sector metalífero no solo ofrece posibilidades significativas, sino que también enfrenta grandes desafíos. Veamos el contexto: y lo que se puede hacer en el país para sortear los devenires en materia fiscal, prevenir situaciones de enclaves mineros, y evitar conflictos en los que las explotaciones ilegales pasan factura al medio ambiente y a comunidades que sufren desplazamientos y la desaparición de sus líderes

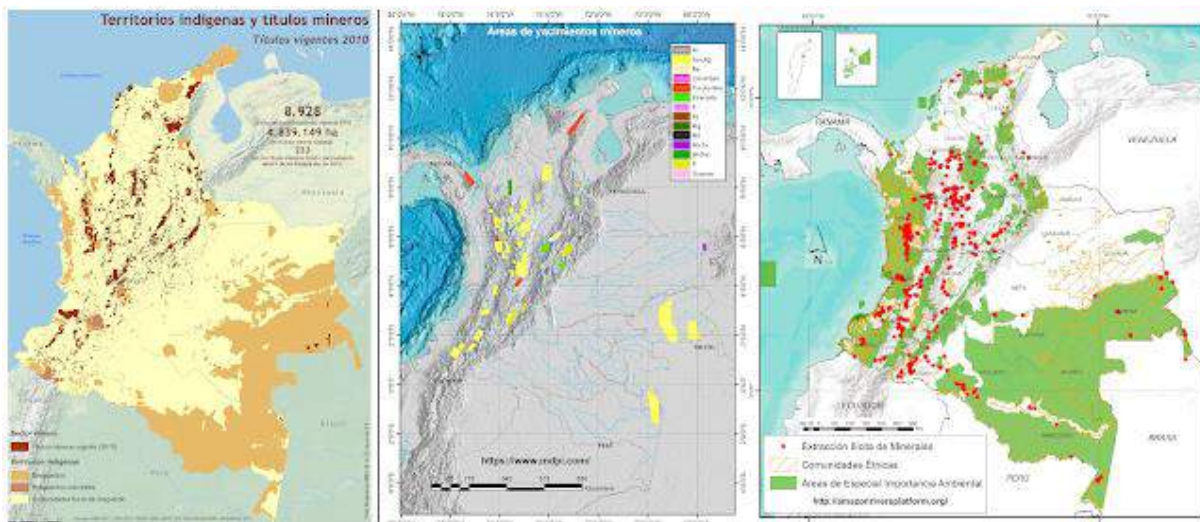


Imagen 28. Colombia: Territorios indígenas V.S. Títulos mineros; Zonas de yacimientos mineros; y Minería ilegal V.S. Áreas de interés ambiental.

América Latina se ha convertido en destino importante de inversiones para la explotación minera. Junto con la abundancia de minerales, la región ofrece condiciones atractivas para empresas extractivas, lo que explica el crecimiento de las exportaciones de materias primas mineras, que en peso casi se duplicaron en los últimos 20 años. De acuerdo con datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL, Chile es el principal productor de cobre, Brasil el tercero de hierro, México el mayor productor de plata, y Perú está entre los primeros de plata, cobre, oro y plomo.

Además, la región tiene una participación relevante en las reservas mundiales de los principales minerales metálicos. En Latinoamérica, donde la extracción ha aumentado 6 veces entre 1970 y 2017, Brasil, Chile, México y Perú concentran el 85% de las exportaciones de minerales y metales a nivel global; y así se haya ganado participación en las reservas de oro, plomo, níquel, plata y zinc, y se haya perdido en cobre, litio, hierro, estaño, bauxita y alúmina, a nivel mundial cuenta con el 61% de las reservas de litio (Chile 48,2% y Argentina 12,8%). Adicionalmente el flujo de ingresos de inversión extranjera directa IED en minería, se concentró en Chile (40%), Brasil (24%), México (15%) y Colombia (14%).

Ahora, así en la producción aurífera el rol de América Latina sea discreto, para entender el caso colombiano, aunque el país aparezca sólo en el puesto 21 como productor del preciado metal, se requiere conocer el contexto regional del sector, ya que entre 2016 y 2019 con 45 toneladas de oro como promedio anual, a nivel de Latinoamérica somos el quinto productor, superados sólo por Perú, Brasil, México y Argentina, lo que significa que contamos con un PIB minero donde el sector metalífero no solo ofrece posibilidades significativas, sino que también enfrenta grandes desafíos.

En primer lugar, así como en América Latina y el Caribe las nuevas tecnologías de extracción minera, especialmente las que conllevan cianuro y ácido sulfúrico son las que más afectan territorios y comunidades por el alto impacto sobre recursos vitales como el agua y la biodiversidad, en Colombia con el mercurio en actividades extractivas ilegales ocurre lo mismo; de ahí la represión de las protestas comunitarias ante proyectos mineros que generan conflictos socio-ambientales en América Latina, donde las manifestaciones se enfrentan con represión, criminalización y judicialización de la protesta.

Segundo, para advertir las características del subdesarrollo, basta mirar la composición promedio 2015-2017 del valor de las exportaciones de minerales y metales, por grado de elaboración y por regiones, para comprender la vulnerabilidad al deterioro de los términos de intercambio. Para América Latina y Caribe: Productos Primarios (PP) 37%, Productos Semielaborados (PS) 43% y Productos Elaborados (PE) 20%; para África: PP 21%, PS 57% y PE 23%; contrariamente para EE UU y la Unión Europea PP 6 y 3%, PS 43 y 26% y PE 51 y 71%; y para el mundo: PP 9%, PS 38% y PE 53%.

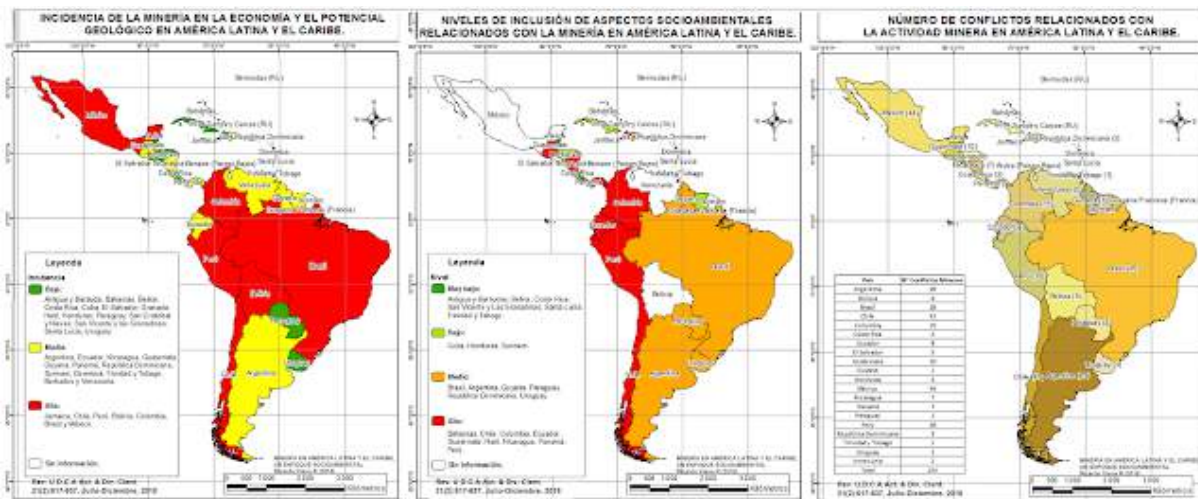


Imagen 29. América Latina: áreas de incidencia minera, de inclusión socioambiental en asuntos mineros y de conflictos mineros. UDCA (2018)

Y tercero, las fluctuaciones fiscales por la volatilidad de los precios de productos con bajo nivel de transformación en estos países minero-dependientes. Según la CEPAL, los ingresos tributarios y no tributarios por explotación de minerales en lo corrido del siglo variaron dramáticamente, alcanzando mínimos de 0,20% en 2002 y 0,25 en 2016, y máximos de 1,58% en 2007 y de 1,35% en 2011. Como referente, durante el boom de 2007, dichos ingresos en Colombia tuvieron una participación del 0,5% en el PIB, y en el caso de Chile donde las concesiones son regresivas al privilegiar el mercado por sobre la propiedad del Estado, aportaron 8,1% al PIB.

Entonces: ¿qué hacer en el país para sortear los devenires en materia fiscal, prevenir situaciones de enclaves mineros, y evitar conflictos en los que las explotaciones ilegales pasan factura al medio ambiente y comunidades que sufren desplazamientos y la desaparición de sus líderes? La respuesta es simple; habrá que fortalecer el Estado para lograr en crecimiento, pero con desarrollo, lo cual exige no sólo una minería legalizada con equidad social y ambientalmente responsable, sino también con valor agregado, y que parta de la gobernanza minera y del respeto de los derechos bioculturales en los territorios.

[Ref.: La Patria. Manizales 2020.01.13]

5.12. ANOTACIONES PARA UN CRECIMIENTO PREVISIVO Y CON DESARROLLO

RESUMEN: Ahora que la exploración avanza por todos los rincones de la geografía colombiana, obliga a prevenir las consecuencia de una minería extractiva, donde oro e hidrocarburos cobran valor estratégico y son fórmula para movilizar una locomotora clave para el crecimiento económico, pero que requiere operarse sin atropellar comunidades y generar conflictos, sin deteriorar el medio ambiente y el recurso hídrico, y sin comprometer el patrimonio de la nación, si lo que deseamos es el desarrollo. Es que el tema de los enclaves mineros y petroleros ahora que la exploración avanza por todos los rincones de la geografía colombiana, obliga a prevenir la amenaza de devastación de ecosistemas.

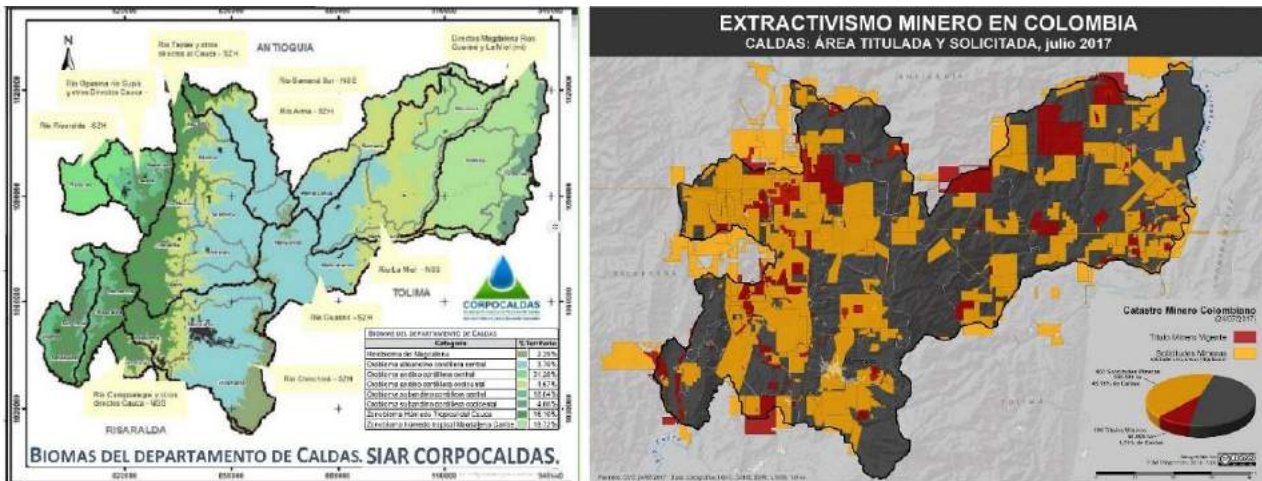


Imagen 30: Caldas - Biomas y Areas mineras

Este título para dos temas relacionados con la minería extractiva en Colombia, objeto de políticas económicas globales que han reprimarizado nuestra economía buscando alimentar el modelo de consumo, pero donde oro e hidrocarburos cobran valor estratégico y son fórmula para movilizar una locomotora clave para el crecimiento económico, aunque requiere operarse sin atropellar comunidades y generar conflictos, sin deteriorar el medio ambiente y el recurso hídrico, y sin comprometer el patrimonio de la nación, si lo que deseamos es el desarrollo. Naturalmente, mientras en el caso del petróleo la situación resulta más homogénea, en la minería del oro, donde existen tres formas de explotación: la industrial, la artesanal y la ilegal, me centraré en la primera por ser fundamental para el asunto del cual me ocupo, cuando la bonanza minera con el brillo del precio del “vil metal” puede opacar el valor fundamental de las aguas, la biodiversidad y la cultura ancestral, en ciertas formas y situaciones.

Sabemos que dichos recursos del subsuelo como bienes que le pertenecen a la Nación y solo a ella, por su carácter no renovable que impide hacerlos objeto de una política de agotamiento, al no ser sostenibles deben utilizarse marginalmente y por lo tanto no pueden destinarse en sí para financiar el Plan Nacional de Desarrollo así sea por el Gobierno, puesto que su nivel de explotación debe limitarse a satisfacer los niveles de consumo interno y las necesidades de su legítimo dueño, manteniendo preceptos sociales, ambientales y económicos, y dejando sólo una fracción a las dinámicas exportadoras, para aquellos fines.

El tema de los enclaves mineros y petroleros ahora que la exploración avanza por todos los rincones de la geografía colombiana, obliga a prevenir la amenaza de devastación de ecosistemas, en territorios sensibles como San Andrés y las zonas amortiguadoras del páramo en PNNN, en Tolda Fría y La Colosa, e invitar a reflexionar sobre las consecuencias de la minería extractiva en descontrolada expansión animada por el elevado precio del “oro azul” en el caso de nuestro archipiélago cuyos ecosistemas se comprometerían, y del valor económico del oro en áreas de interés ambiental o cultural objeto de mesas de inversionistas, como las que resuelven la suerte de los marmateños y las que comprometen el agua de la ciudad a cambio de insulsas regalías, que para el oro son 1/5 de las que recibe la Nación de las empresas petroleras o 1/3 de las que aplican para el níquel y la sal.

Y mientras el precio interno de la gasolina se reajusta al vaivén de los precios internacionales del petróleo, no ocurre lo mismo con las regalías auríferas, afectándose la contraprestación económica que recibe el Estado por la explotación de este recurso natural susceptible de agotarse, por lo que nos preguntamos por qué en el oro donde sólo paga el 4% del valor de la producción en boca de mina o el 6% en oro de aluvi6n, las multinacionales que en dos años han duplicado y triplicado el valor de sus acciones fruto del “boom” minero que en la década ha elevado 5 veces el valor del oro, objetan la fórmula para el “gana-gana” alegando requerir beneficios adicionales. Igualmente, cuando la explotación petrolera le apunta al millón de barriles día, cuantía que triplica el consumo nacional y consumiría en menos de una década las actuales reservas probadas del país, nos preguntamos si con unas exportaciones que no guardan proporción con nuestros precarios activos petroleros, a pesar de la exploración de nuevos yacimientos no se estaría comprometiendo la vida útil de las refinerías y la seguridad energética de Colombia.

Motivado por lo dicho y temiendo el detrimento de nuestro patrimonio, considero conveniente volver a ajustar la legislación ambiental colombiana que fuera ablandada para permear una economía de enclave de tal naturaleza. En virtud de esto recalaba para mis colegas de la Red de Astronomía de Colombia convocados en Barrancabermeja, a discutir temas como la órbita geoestacionaria y el desarrollo aeroespacial de Colombia, al decirles que todo esto no se compadece con lo que recibimos por un metal no renovable y de elevado precio ni compensa las consecuencias ambientales y sociales de dicha minería, al tiempo que señalaba la necesidad de implementar políticas que le apuesten a la incorporación de valor agregado como soporte para el desarrollo minero, tal cual lo hicimos ayer al constituir Ecopetrol en este emblemático puerto para sentar soberanía sobre el petróleo de Colombia, por ser mejor alternativa esa que la de optar por “entregar la riqueza del subsuelo y mantener indicadores del 70% de pobreza en escenarios como Barbacoas Nariño, Tibú Santander, Orito Putumayo, Cantagallo Bolívar y El Difícil en Ariguaní Magdalena”. * [Ref: La Patria, Manizales, 2110.08.15]

Lecturas complementarias

Retrospectiva histórica de la minería en Marmato.

Anotaciones históricas sobre la minería de este colonial poblado de Colombia, donde se pretende una explotación a cielo abierto cuando está de por medio la voluntad de cientos de familias de etnias mayoritariamente afrodescendientes e indígenas que no han negociado sus raíces culturales. Allí llegan legiones de esclavos africanos cuando los Cartamas fueron exterminados, y luego los ingleses para asegurarse con el oro el pago de los empréstitos de la independencia. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9141/gonzaloduqueescobar.20129.pdf>

Anserma puntal del occidente por sus raíces Umbra.

A pesar de que la comunidad indígena se creyó extinguida en 1625, existen vestigios de la cultura Umbra aún viva. Tras la ocupación de la tierra de los Umbra, con la colonización antioqueña Ansermaviejo indígena cede paso al moderno poblado, que en el siglo XX consolida una economía cafetera, para un apogeo que llega hasta la década de los 70 cuando se implementa el monocultivo del café.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10792/gonzaloduqueescobar.201239.pdf>

Riosucio mestiza e indígena

En este municipio caldense fundado a principios del Siglo XIX, el 74 % de la población es de origen indígena. Según el mito fundacional de esta población caldense, célebre por su carnaval bianual, sobre la cerca divisoria que partía el poblado, los párrocos acordaron poner la imagen de un demonio para que recibiera las quejas y reclamos de la plebe, argumentando que si Dios no había podido unir al pueblo, que lo una el diablo.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21139/gonzaloduqueescobar.201409.pdf>

Supía: 475 años bajo la tutela del cerro Tacón.

En el Cañón del Cauca, entre Marmato y Riosucio, está Supía, un precioso poblado caldense de 1540 que florece al compás de la minería aurífera durante la Colonia, y cuyos pobladores declaran en 1813 su independencia respecto del dominio español, separándose de la Gobernación de Popayán para anexarse al efímero Estado Libre de Antioquia (1813-1816). Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52349/Supia475anosbajolatuteladelcerrotacon.pdf>

Economía colombiana: crisis y retos.

Video con un panorama de la economía colombiana en tiempos de pandemia, y retos para la pos-pandemia.

Ver en: <https://youtu.be/MZs4cgGO7wA>

ENLACES AMBIENTALES

<p><u>Aqua como bien público.</u> <u>Aqua y clima en el desafío ambiental.</u> <u>Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales.</u> <u>Caldas: marco territorial e histórico.</u> <u>Cambio climático y sustentabilidad del territorio.</u> <u>Colombia geoestratégica.</u> <u>Colombia, país de humedales amenazados.</u> <u>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</u> <u>Construyendo el territorio UMBRA.</u> <u>Cultura del agua en los ríos urbanos.</u> <u>Degradación del hábitat y gestión ambiental.</u> <u>Desarrollo urbano y huella ecológica.</u> <u>Dinámicas del clima andino colombiano.</u> <u>El desastre del río Mira.</u> <u>El Estado y la función del suelo urbano en Manizales.</u> <u>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</u> <u>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</u> <u>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</u> <u>Cultura del agua en los ríos urbanos.</u> <u>Degradación del hábitat y gestión ambiental.</u> <u>El agua en Colombia: glosas.</u> <u>El agua en la biorregión caldense.</u> <u>El Cuidado de la Casa Común: Agua y Clima.</u> <u>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</u> <u>El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales.</u></p>	<p><u>El ocaso del bosque andino y la selva tropical</u> <u>.El territorio del río Grande de la Magdalena.</u> <u>El siniestro de Mocoa, designio de la imprevisión.</u> <u>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</u> <u>Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés.</u> <u>Huracanes y terremotos acechan.</u> <u>Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero.</u> <u>Los quietos urbanos o la ciudad amable.</u> <u>Llega el invierno. ¿pero la vulnerabilidad qué?</u> <u>El Cuidado de la Casa Común: Agua y Clima.</u> <u>El territorio caldense, un constructo cultural.</u> <u>El fantasma de la imprevisión.</u> <u>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</u> <u>El por qué de los aguaceros en Colombia.</u> <u>El territorio del río Grande de la Magdalena.</u> <u>El volcán y el desastre de Armero.</u> <u>Flujo de agua en el suelo.</u> <u>Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia.</u> <u>Hidro-Ituango: una lectura a la crisis.</u> <u>Huella hídrica en Colombia.</u> <u>La economía azul en la esfera de la producción.</u> <u>La SMP de Manizales en la construcción del territorio.</u></p>	<p><u>Magdaleneando hasta el Tolima Grande.</u> <u>Manizales, ¿ciudad del agua?</u> <u>Manizales: Foro del Agua 2019.</u> <u>Muelle de Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible?</u> <u>Nuestras aguas subterráneas.</u> <u>Nuestro frágil patrimonio hídrico.</u> <u>Nuestros bosques de niebla en riesgo.</u> <u>ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático.</u> <u>Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia.</u> <u>Planificación estratégica para la movilidad.</u> <u>Por falta de bosques con el agua al cuello.</u> <u>¿Qué hacer con la vía al Llano?</u> <u>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</u> <u>Ríos urbanos para Manizales.</u> <u>¿Regresión ambiental en la Reserva de Río Blanco?</u> <u>Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.</u> <u>Ríos urbanos para Manizales.</u> <u>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</u> <u>Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera.</u> <u>¿Un mega-puerto en bahía Málaga?</u> <u>Un país con grandes retos ambientales.</u> <u>Un Plan de Acción para encausar el megaproyecto San José.</u> <u>Urabá frente a los mares de Colombia.</u> <u>Vida y desarrollo para el territorio del Atrato.</u></p>
---	--	--

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Volcán Reventador. Ecuador. Volcano.und.nodak.edu

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 06

VULCANISMO

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

6.1. LOS AMBIENTES DE LOS PROCESOS MAGMATICOS

El magma es un fundido natural a alta temperatura, de composición silicatada, en el que participan principalmente los 8 elementos más abundantes, con cristales y rocas en suspensión, así como otros gases y volátiles en disolución. Su explosividad está dada por el contenido de volátiles y la viscosidad del fundido.

Por su compleja composición química, la cristalización del magma es fraccionada.

El magma procede del manto superior, abajo de la corteza profunda, y su doble acción sobre la litosfera es:

- Asimilar y fundir la roca encajante (en especial en la zona de transporte profundo).
- Intruir la roca encajante creando movimientos telúricos (en especial sobre el área de influencia del reservorio magmático).

En el ambiente continental los magmas son ricos en sílice y volátiles; por el primero se hacen viscosos y por ambos explosivos. En este ambiente las rocas derivadas tienen una densidad de $2,4 \text{ g/cm}^3$ y un punto de fusión que varía entre 700° y 900°C .

En el ambiente oceánico los magmas, pobres en sílice y volátiles, resultan ricos en hierro y magnesio; son magmas de gran movilidad y baja explosividad. Las rocas de este ambiente alcanzan densidad de $2,7 \text{ g/cm}^3$ y el punto de fusión varía entre 1200° y 2400°C .

6.1.2 Contenido de sílice. El porcentaje de sílice en el magma varía desde 35 hasta 75% y los volátiles que participan en él, y que suelen aumentar cuanto más silicatado es el magma, son: H, H_2O , CO, Cl, F, CO_2 , HF, H_2 , SO_2 y H_2S .

Por tres vías se explica el contenido de sílice en los magmas: contaminación, diferenciación y magma primitivo.

- **La contaminación.** Se produce en la roca encajante de ambiente continental en razón de que la sílice tiene bajo punto de fusión. El magma obtendrá sílice extrayéndolo de la matriz cementante o asimilando rocas de matriz silíceas a lo largo de la zona de transporte.

- **La cristalización fraccionada.** Se explica por diferenciación magmática. Conforme se va produciendo el enfriamiento, cristalizan primero los ferromagnesianos y plagioclasas (minerales que demandan poca sílice) quedando como residuo un fundido relativamente enriquecido de sílice, con el cual posteriormente se podrán formar, a las últimas temperaturas, ortoclasa, mica blanca y cuarzo.

- **El magma primitivo.** Los diferentes magmas primogénitos varían de contenido de sílice, según se trate de las series alcalina, toleítica o calcoalcalina; cada una de ellas asociada a una región del manto superior donde se origina.

6.1.3 Procesos magmáticos fundamentales. Los procesos magmáticos son cuatro; los tres primeros dan origen a las rocas volcánicas, y el cuarto a las plutónicas y a las de ambiente hipoabisal:

- **El efusivo.** Caracterizado por la efusión y derramamiento de lava sobre la superficie, para formar mesetas y escudos volcánicos.

- **El explosivo.** Donde se da el lanzamiento con violencia y a gran presión de magma pulverizado y fragmentos de roca; como evidencia de éstos, los conos cineríticos y el estrato-volcán (ej El Tolima), cuando el mecanismo se alterna con el anterior.

- **El extrusivo.** Proceso que explica domos volcánicos por el estrujamiento de magma viscoso, sólido o semisólido, que se exprime a la superficie. Estos edificios volcánicos no poseen cráter (ej. el otero de Sancancio).

- **El intrusivo.** Cuando el magma penetra los pisos del subsuelo para solidificarse en el interior de la corteza y por debajo de la superficie, quedando depósitos en forma mantos, diques, etc.

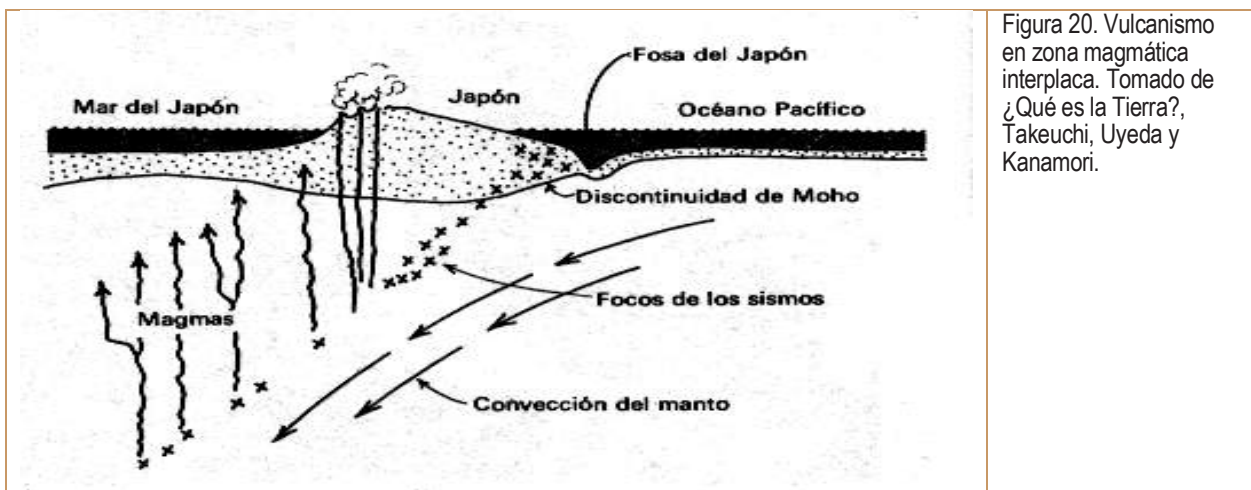


Figura 20. Vulcanismo en zona magmática interplaca. Tomado de ¿Qué es la Tierra?, Takeuchi, Uyeda y Kanamori.

6.2. PARTES DE UN VOLCAN

6.2.1 Nivel macro. El origen del magma está frecuentemente relacionado con la dinámica global de la corteza y el manto terrestre ya que, en general, se origina en los bordes de placas.

En las dorsales el magma se forma por descompresión de los materiales del manto superior y a profundidades entre 15 y 30 Km., para dar como resultado rocas básicas como el basalto. En las zonas de subducción el magma se produce grandes profundidades, que alcanzan los 150 Km., gracias a la fusión parcial de la corteza oceánica y/o del manto y la corteza situados por encima, en un proceso que origina rocas predominantemente intermedias como las andesitas. En las zonas de colisión continental, en relación con los procesos de formación de montañas, se produce la fusión parcial de la corteza terrestre, originándose esencialmente rocas ácidas como el granito. Finalmente se dan zonas puntuales de magmatismo al interior de las placas tectónicas explicadas por la existencia de puntos calientes en el manto.

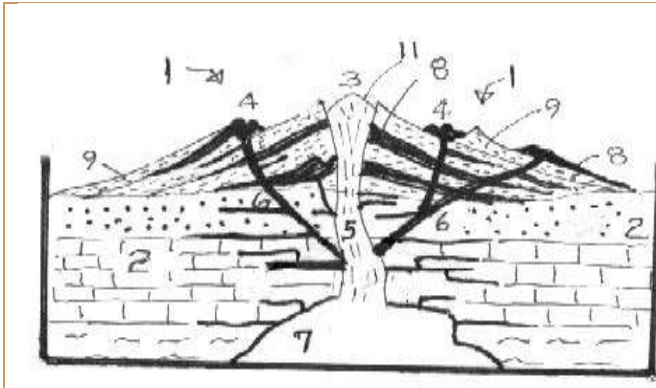


Figura 21. Estructura general de un volcán. 1. Edificio, 2. Basamento, 3. Cráter principal, 4. Cráter secundario, 5. Chimenea, 6. Respiradero, 7. Cámara magmática, 8. Derrames laicos, 9. Capas de piroclastos, 11. Cúpula extrusiva. Adaptado de Geología Estructural, V. Belousov.

Podemos idealizar así una zona de producción de magma y su zona de transporte hacia la superficie, que es el tránsito del magma en virtud a su estado fluido y a su menor densidad. En la zona de transporte del magma, las rocas son elásticas en profundidad y rígidas hacia la superficie, por lo que el magma inicialmente se desplaza como una onda de expansión térmica hasta alcanzar las fracturas y fallas de las porciones superiores. Por la contaminación de la zona de transporte la fusión de la roca encajante es más difícil y así el vulcanismo trata de atenuarse y emigrar al tiempo a lo largo de la fractura que le sirve de control. El Galeras muestra un vulcanismo, que como también en el caso del Ruiz, ha declinado y emigrado de sur a norte.

6.2.2 Nivel micro. Tenemos la modificación del relieve y alteración del paisaje, sobre la superficie Desde la cámara, donde se preparan las erupciones, periódicamente el material es vertido a través de la chimenea sobre la superficie en forma de erupciones volcánicas; cuando el edificio resulta alto (o también cuando se tapona la chimenea), por el menor esfuerzo del fundido trabajando sobre los costados del volcán, se posibilita la formación de respiraderos laterales. El cráter principal (ej. el Arenas) es la porción terminal de la chimenea por donde se vierten los productos a la superficie, mientras que los extremos finales de los respiraderos reciben el nombre de cráteres parásitos, adventicios o secundarios (ej. la Olleta).

6.2.2.1 Cámara magmática. En la cámara magmática encontramos tres zonas, yendo de los niveles superiores a los inferiores, estas son:

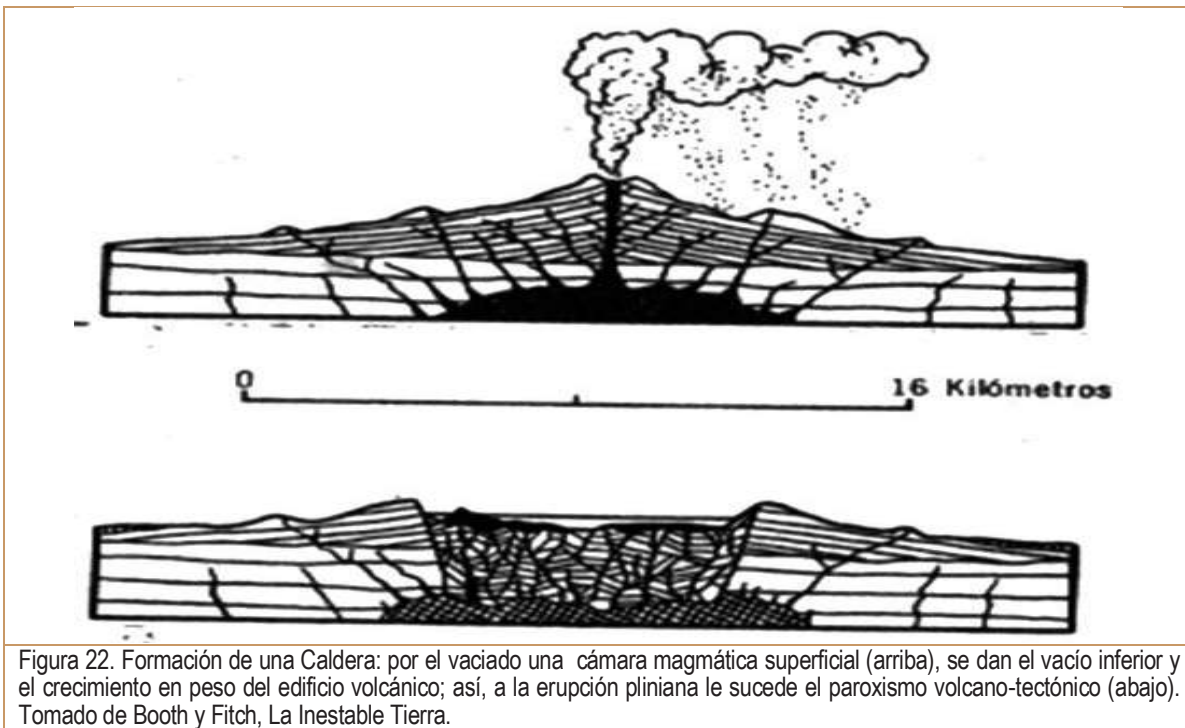


Figura 22. Formación de una Caldera: por el vaciado una cámara magmática superficial (arriba), se dan el vacío inferior y el crecimiento en peso del edificio volcánico; así, a la erupción pliniana le sucede el paroxismo volcano-tectónico (abajo). Tomado de Booth y Fitch, La Inestable Tierra.

- **Epimagma.** Parte alta de la cámara magmática donde la presión hidrostática confinante resulta dominada por la presión de gas; por lo tanto el fundido es aquí una espuma porque el magma se ha separado en lava y volátiles.

- **Piromagma.** Parte media de la cámara donde se forman las burbujas que nutren la parte superior, la presión de gas es igual a la presión de carga. Esta es la zona de nucleación del fundido.

- **Hipomagma.** Parte profunda donde la presión de gas está dominada por la presión confinante, y por lo tanto los volátiles están en la fase líquida participando del fundido, es decir, aquí no existe lava sino magma.

6.2.2.2 Calderas. (Ver figura 22) Son grandes depresiones circulares u ovaladas; a diferencia del cráter, el diámetro supera su profundidad; es un elemento destructivo del relieve; los hay de cuatro tipos:

- **De colapso.** Llamada estructura vulcano-tectónica, si es el hundimiento a partir de un importante vaciado de una cámara magmática superficial y el consecuente aumento en tamaño y peso del edificio, con lo cual el colapso es inminente, ej., Cerro Bravo y la caldera sobre la cual se construye el Galeras.

- **Explosivas.** La pérdida del edificio, y en su sustitución una depresión, se explica por un paroxismo tras el cual los fragmentos de la estructura se han disipado con violencia, ejemplo, el Machín.

- **De Erosión.** En donde los procesos erosivos son los responsables de la destrucción y pérdida de la acumulación.

- **De impacto.** Depresiones ocasionadas sobre la superficie por la caída impetuosa de meteoros con gran energía. Posteriormente puede surgir una erupción como evento secundario.

6.2.3 Zonas magmáticas. Las zonas magmáticas del planeta se subdividen en zonas magmáticas interplaca y zonas magmáticas intraplaca.

6.2.3.1 Zonas interplaca. Las principales son:

- **Zonas de dorsal oceánica.** Son los bordes constructivos de placas en donde se da la fusión del manto peridotítico hacia basaltos toleíticos u olivínicos; ellos con bajo contenido de K_2O y producidos desde profundidades entre 30 y 40 km. Ejemplo, la dorsal media del Atlántico.

- **Las zonas de rift intercontinentales.** Dorsales que nacen; allí el magma del manto se favorece por la contaminación de la corteza; resulta alcalino y variado, con alto contenido de K_2O y se le asocia a éste una profundidad entre 50 y 60 km. Por ejemplo, el Mar Rojo.

- **Zonas de margen continental activo y arcos de islas.** Por ejemplo, la zona andina de un lado y la del Caribe y Japón del otro. Todas ellas en los bordes destructivos de placas y sobre las zonas de subducción; aquí la masa que se sumerge es mixta: roca con afinidad a la dorsal, más sedimentos, más una masa peridotítica; por ello el vulcanismo es activo y hay presencia de plutones ácidos; el magma es calcoalcalino y bajo en K_2O con profundidad asociada entre 100 y 150 km.

- **Zonas de fallas transformantes.** Son los bordes pasivos de las placas tectónicas. Este magma es tipo brecha con base en peridotita, gabro y basalto; su composición es alcalina (alto en K y Ca) y su origen tiene profundidad del orden de los 50 km. En la figura 23 -I se muestra el desplazamiento de una dorsal a lo largo de una falla transcurrente. Cuando termine el desplazamiento de la dorsal, dicha falla será ya una falla transformante como la de la figura 23 -II. Las placas se continuarán alimentando desde las dorsales pero en la zona de la falla transformante habrá turbulencias generadoras de magma porque el flujo de las placas no es concordante o de serlo muestra diferente velocidad a lado y lado.

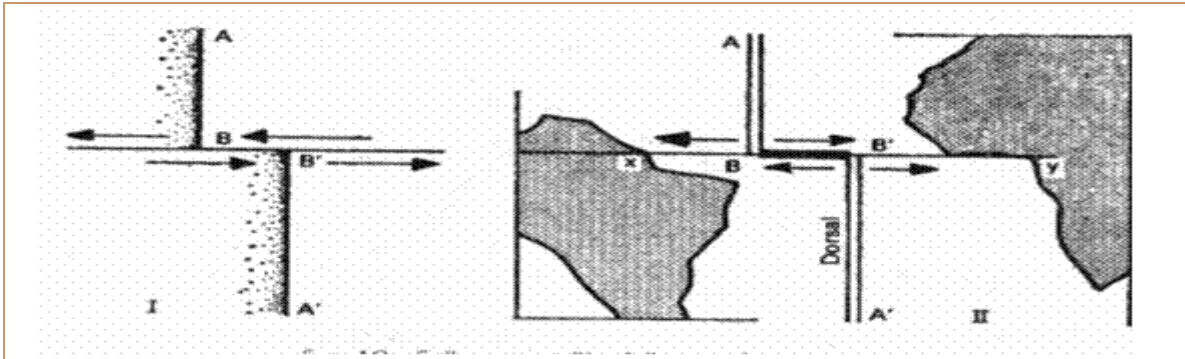


Figura 23. Desplazamiento transversal de una dorsal (I). Desplazamiento a lo largo de una falla transcurrente; (II). Luego queda la Falla Transformante. Las flechas muestran los movimientos de las placas. Tomado de Las Montañas, R. Fouet y Ch. Pomerol.

6.2.3.2. Zonas intraplaca. Se pueden subdividir en zonas magmáticas sobre placas oceánicas y zonas magmáticas sobre placas continentales. Estas zonas intraplaca son:

- **Islas oceánicas.** (Ambiente oceánico). Estructuras probablemente asociadas a puntos calientes del manto. Se presentan allí todas las series desde la alcalina a la calco-alcalina; como ejemplo Hawai.
- **Dorsales asísmicas.** (Ambiente oceánico). Por ejemplo, las dorsales de Cocos y Carnegie; se presentan allí basaltos toleíticos; se supone que fueron dorsales que no progresaron. Por su estructura se parecen más a las islas oceánicas que a las dorsales.
- **Diatremas de kimberlita.** (Ambiente continental). Son las zonas productoras de diamante, importan por ser muestreadoras del manto y de la corteza inferior. Aparecen sobre escudos del Precámbrico (núcleos más antiguos de los continentes) en forma de diques y mantos. Tienen alto contenido de K_2O y profundidad asociada entre 80 y 100 Km.
- **Complejos anortosíticos.** (Ambiente continental). Son batolitos emplazados en escudos del Precámbrico. Allí el magma es subalcalino (rico en cuarzo). Dichas estructuras se asocian a probables paleosubducciones con edades de hasta 2000 años de antigüedad (ambiente continental).

Al observar la geometría de los focos sísmicos en Colombia, la zona de subducción anuncia que el plano de Beniof se inclina 45° . Se ha sugerido que una variación en el porcentaje de K_2O entre las rocas ígneas al norte y al sur del Ruiz se explica por una variación en la inclinación del plano de Beniof. Además se ha propuesto que el Galeras se constituye en un volcán tipo Rift, dada la composición de su magma.

6.3. MECANISMOS ERUPTIVOS DE LOS VOLCANES

Se pueden suponer dos modelos, uno estático y otro dinámico, que permitan explicar un proceso tan complejo como el de las erupciones volcánicas.

El modelo estático, supuestamente explica el comportamiento más probable de volcanes de ambiente continental, donde son más factibles los magmas viscosos, mientras el dinámico puede identificar mejor el los volcanes oceánicos, de magmas fluidos.

6.3.1 Modelo estático. En la fig. 24, inicialmente (A) es la frontera que separa la lava por arriba del magma por abajo; pero puede despresurizarse la cámara magmática trasladándose hacia abajo dicha frontera hasta (B); entre (A) y (B) la nueva porción de magma se desgasifica, es decir, cayendo la presión se forman burbujas porque, los volátiles pasan de la fase líquida a la gaseosa; las burbujas fruto de la desgasificación, por menos densas y ayudadas por movimientos convectivos, ascienden hasta la espuma que está por encima de (B), para nutrirlo. Si el medio fuera fluido las burbujas ganarían volumen en el ascenso, conforme la presión de confinamiento vaya disminuyendo; pero ello no ocurre porque el medio es viscoso, es decir, los tetraedros de Silicio-Oxígeno que le dan una estructura polimerizada al magma lo impiden. Así las burbujas ascienden sin ganar volumen y en consecuencia ascienden con energía de deformación acumulada.

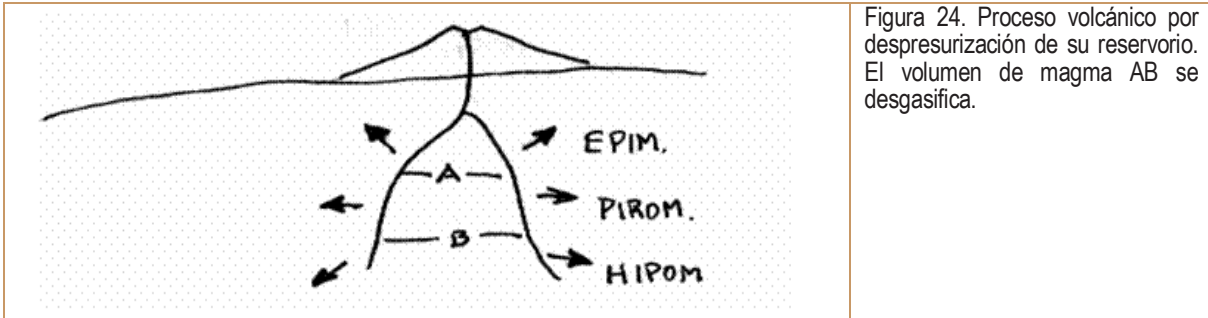


Figura 24. Proceso volcánico por despresurización de su reservorio. El volumen de magma AB se desgasifica.

Cuando el volumen de las burbujas de la espuma triplique o cuadruple el volumen de sus diafragmas, se romperá el equilibrio, reventará la espuma por reacción en cadena y la salida de los gases, impetuosa, romperá el tapón de la cámara y desgarrará la chimenea para lanzar con violencia a la superficie, los diafragmas ya rotos en forma de chorros, coágulos y goteras, acompañados de fragmentos salidos del tapón y la chimenea.

Los mecanismos de caída de presión del medio (despresurización), pueden ser dos, de un lado fuerzas de origen tectónico que compriman la cámara y la reventen o que relajen el medio confinante; y fuerzas asociadas a la superposición de ciclos de marea terrestre con períodos de un mes, un año y una década.

6.3.2 Modelo dinámico. Suponga un conducto profundo y a través suyo, una porción de magma en ascenso (ver fig. 25); cuando el magma alcanza el nivel (A) se forman burbujas porque la presión de gas iguala a la presión confinante. (A) es la zona de nucleación; luego entre (A) y (B) las burbujas no podrán ganar volumen por la viscosidad del fundido, aunque la presión vaya disminuyendo durante su ascenso.

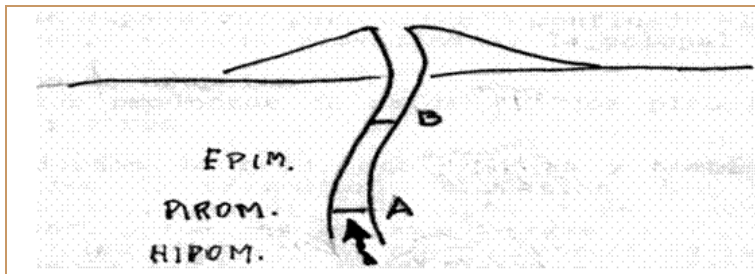


Figura 25. Proceso volcánico por ascenso de magma. Entre A y B se acumula energía de deformación. En B, el gas presurizado rompe los diafragmas de la espuma formada ven A.

El fundido que alcance el nivel (B) va entrando en explosión; (B) es la zona de disrupción, porque justamente la presión en (B) es tan baja que los diafragmas no pueden controlar la presión del gas que encierran. Se da entonces aquí el origen de la pluma eruptiva cuya forma dependerá de la geometría de la boquilla (cráter) y la profundidad de la zona de disrupción.

6.3.3 Tipos de erupción. Las erupciones clásicamente se han denominado así, conforme aumente el coeficiente explosivo de las mismas (porcentaje de la energía total que se convierte en energía cinética).

La **fisural**, consistente en un derrame lávico a lo largo de una fractura de la corteza. En adelante siguen las erupciones de conducto cuyo primer tipo es la **hawaiana**, una erupción tranquila de coeficiente explosivo despreciable. La tercera será **estromboliana** donde ya hay lanzamiento de algunos piroclastos en una columna eruptiva de bajo porte.

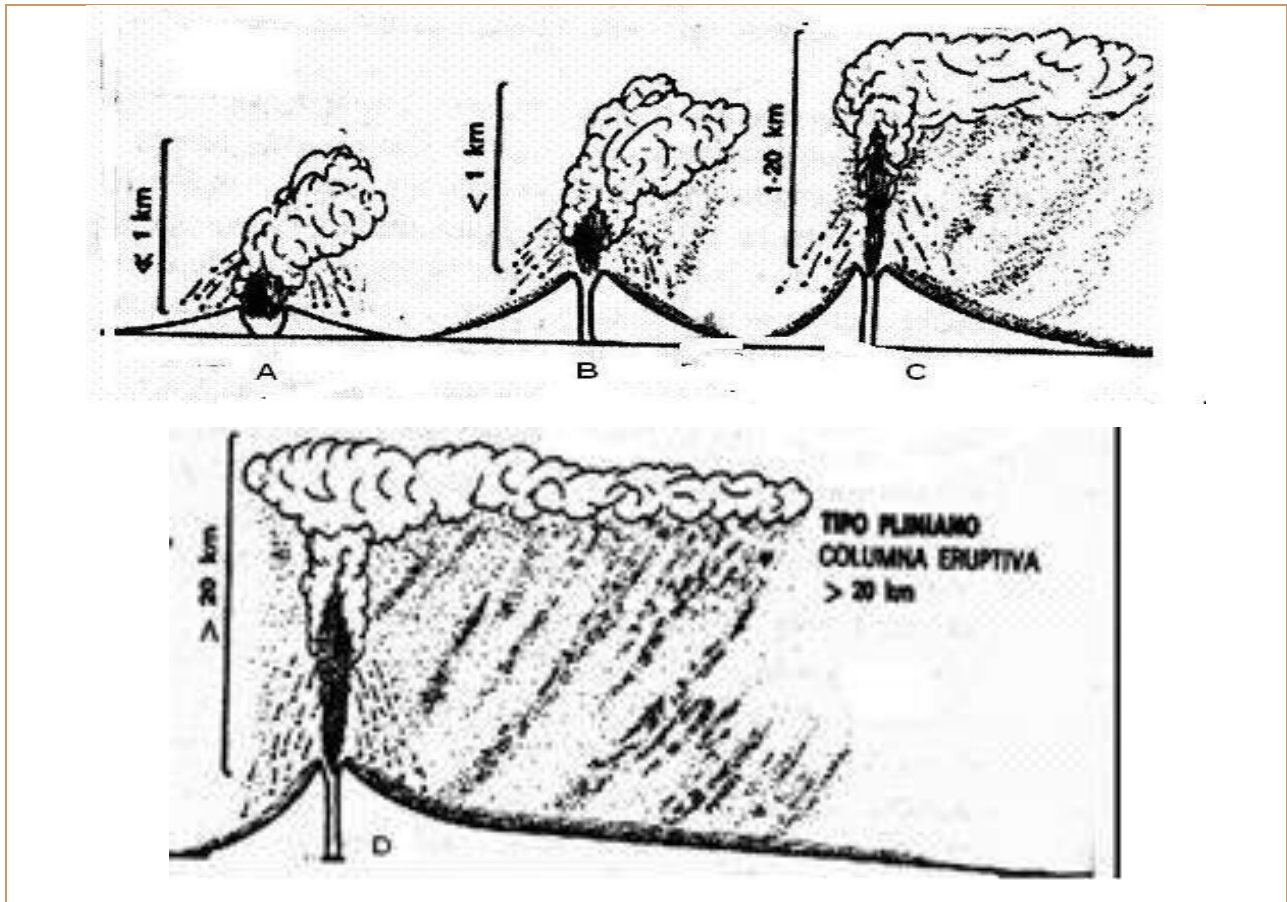


Figura 26. Cuatro tipos de erupciones en vulcanismo subaéreo. A. tipo hawaiana, B. tipo estromboliana, C. tipo subpliniana, D. tipo pliniana. Tomado de Booth y Fitch, La inestable Tierra.

Sigue la **vulcaniana**, cuya columna alcanza los primeros km., que toma su nombre de Vulcano, volcán también del archipiélago de Lipari, Italia (ej. la erupción del Galeras en 1936). Luego vienen dos que toman su nombre de erupciones hechas por el Vesubio: la **vesubiana** y la **pliniana**, la segunda más explosiva que la primera gracias a la interacción con aguas freáticas, y en la cual la columna eruptiva supera la decena de km. en altura (la erupción del Ruiz en 1985 es subpliniana).

Continúa la **peleana** en nombre a la erupción de Monte Pelée (1902), caracterizada por nubes ardientes que sin ganar altura se desplazaban lateralmente a varios km. de distancia recorriendo los flancos del volcán; una de ellas destruyó San Pier en Martinica dando muerte a 28000 personas.

Cerrará la lista la erupción freato-magmática denominada **krakatoana** donde el responsable del paroxismo es fundamentalmente el agua que invadiendo fracturas profundas, interfiere el magma en ascenso; pero el agua a 900° C aumenta miles de veces su capacidad expansiva; pero estando confinada el volumen demandado no encuentra espacio, provocándose la colosal explosión.

Cuadro 6. Tipos de erupción volcánica.

Tipo de Erupción		Ejemplo	Caracteres-tica principal	Otras Caracterís-ticas
Fumarólica	Erupciones sin magma La erupción aumenta de violencia	Solfatara, Italia	En general de larga vida, con escape moderado de gas que produce incrustaciones minerales	Pequeñas cantidades de ceniza y piscinas de lodo hirviendo
De gas		Hekla, Islandia 1947	Descarga de gas continua o rítmica	Puede preceder una erupción más violenta con descargas de magma

Tipo de Erupción		Ejemplo	Caracteres-tica principal	Otras Caracterís-ticas
Ultravulcaniana		Kilauea, Hawaii, 1924	Expulsión violenta o débil de bloque de lava sólida	Estruendo y sismo
Flujo basáltico	Erupción con magma el magma aumenta en viscosidad La erupción aumenta en violencia	Lakagigar, Islandia, 1783	Fuentes de lava y flujos extensos de lava muy fluida	Conos diseminados y aplanados, escudos lávicos planos
Hawaiana		Mauna Loa, Hawaii	Fuentes de lava, flujos extendidos y de baja potencia desde los cráteres o fisuras	Conos diseminados y aplanados, escudos extensos
Estromboliana		Stromboli, Italia, Paricutín, Méjico 1943 – 52	Explosiones moderadas de lava viscosa en forma de bombas y cenizas, flujos cortos	Conos de cínider
Vulcaniana		Vulcano, Italia, siglo XIX	Explosiones moderadas a violentas de bloques de lava y ceniza; flujos potentes, cortos y escasos	Conos de ceniza y bloques
Peleana		Mt. Pelée, Martinica, 1902	Explosiones moderadas a violentas de bloques de lava y ceniza y nubes ardientes en avalancha	Depósitos de ceniza y pómez, domos viscosos extruidos
Pliniana		Vesubio, 79 dC Krakatoa, 1883	Expulsión extremadamente violenta de cenizas a gran altura. La granulometría de la ceniza varía. Puede estar asociada con el colapso de calderas	Lechos de ceniza y piedra pómez
Flujo riolítico		Katmai, Alaska 1912	Efusiones rápidas y voluminosas de flujos de ceniza caliente desde fisuras o calderas	Flujos de ceniza soldada formando ignimbritas
Subacuática		Capalhinis Azores 1957	Explosiones de ceniza y vapor en agua poco profundas	Conos de ceniza y cínider por debajo, lavas almohadilladas
Subglaciar		Katla, Islandia	Erupciones de lava por debajo o dentro del hielo y la nieve que causan inundaciones	Flujos de barro, lavas almohadilladas, fragmentos vítreos

Enciclopedia de las Ciencias naturales, Nauta, 1984.

6.4. PRODUCTOS Y EFECTOS DE LAS ERUPCIONES

6.4.1 Productos de erupción. Pueden ser productos de caída, flujos piroclásticos, derrames lávicos y otros.

- **Productos de caída.** Son **bloques y bombas** que surgen como proyectiles de trayectoria balística. Los bloques son rocas preexistentes, partes del tapón o del conducto; las bombas volcánicas, porciones de lava o magma solidificadas en ambiente subaéreo; las más ligeras, por su estructura vesicular, son parte de la espuma que en el medio ambiente adquiere forma ovalada y se denominan **bombas fusiformes**; las densas son porciones de magma que explota en el aire por la salida impetuosa de gases atrapados en continuo cambio de fase; pero éste gas resquebraja la superficie de la bomba dándole una textura por la que se le denomina **bomba corteza de pan**. Las bombas, son fragmentos de más de 6.5 cm.

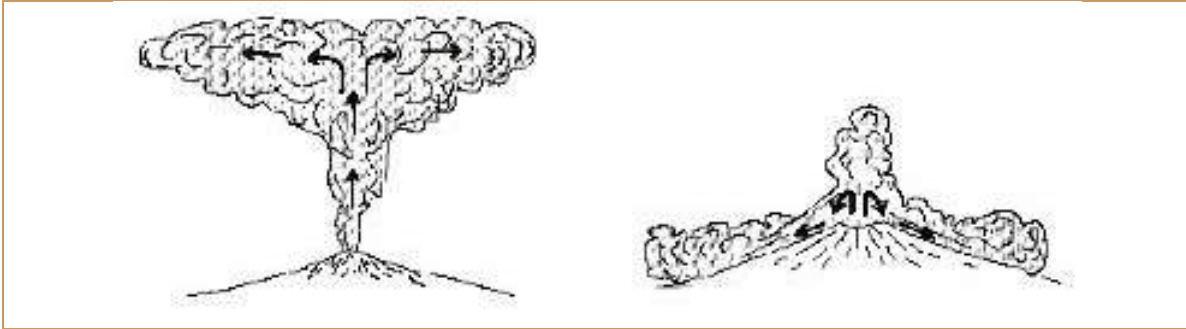


Figura 27. Plumas eruptivas vertical y de colapso. La viscosidad del magma, condiciona la morfología y distribución de una columna eruptiva. A la izquierda, pluma sostenida característica de volcanes andesíticos, caso El Ruiz y el Tolima. A la derecha, pluma de colapso típica de volcanes dacíticos, caso Cerro Machín y Cerro Bravo. Fuente: insugeo.org.ar

Los **fragmentos piroclásticos** de caída (de piro fuego y clasto pedazo); son trozos decrecientes de magma y lava fragmentados que reciben los siguientes nombres: **escoria**, **lapilli** (fragmento piroclástico entre 20 y 5 mm), **arena volcánica** (hasta 2 mm), **ceniza volcánica** (<2 mm), y por último **polvo volcánico** a los fragmentos con dimensiones más precarias, formas veleras y tamaños aerosoles. A partir de los lapilli, los productos menores son transportados por el viento a distancias cada vez mayores conforme disminuyan sus tamaños.

En un paisaje volcánico es frecuente encontrar una sucesión de capas con productos de caída. Cuando hay varios focos de emisión respondiendo por una sucesión de capas o eventos, es importante la construcción de curvas que muestren en planta como disminuyen los espesores de cada capa y el diámetro de los fragmentos que la componen. Estas curvas (isópacas e isopletas) permiten asignar a cada evento la fuente que lo origina, pues la distribución de los materiales queda condicionada por la dirección del viento y por la distancia al volcán.

- **Flujos piroclásticos.** Son turbulencias de magma fragmentado, en nubes orientadas cuyo movimiento se debe a energía de expansión termodinámica. Conforme aumenta el coeficiente explosivo y por ende la velocidad y violencia de la riada, se clasifican en **nube de vapor**, **flujo piroclástico** (propriadamente dicho), **flujo de ceniza** e **ignimbrita**. En la última viajan bloques de roca hasta de algunos metros y fundidos en su superficie.

El flujo de ceniza llamado igneslunita se explica en ocasiones por un derrame de lava, saturado de gases (espumoso), que por el movimiento logra colapsar transformándose en nube ardiente y que luego de depositarse queda con las partículas sinterizadas formando una toba volcánica. Depósitos ignimbriticos se exhiben a lo largo de la vía Ibagué-Armenia en el sector de Cajamarca, anunciando la vigencia e importancia de esta amenaza volcánica asociada al volcán Machín, cuya extensión alcanza las primeras decenas de km.

- **Derrames lávicos.** Son flujos lávicos propriadamente dichos, cuyo alcance va de los primeros hasta las decenas de km., según decrezca la viscosidad de la lava. En escudos volcánicos alcanzan decenas de km. de longitud y volúmenes del orden de la fracción hasta los km. cúbicos.

- **Otros.** Como efecto indirecto de las erupciones los **flujos de lodo primarios** que alcanzan a formar grandes avalanchas explicadas por fusión de hielo, y los **flujos de lodo secundarios** de menor magnitud formados a causa de la ceniza y la intensa lluvia que acompaña la erupción. El Ruiz ha generado flujos de lodo primarios en las erupciones de 1595, 1845 y 1985. El Machín ha hecho lo propio.

6.4.2 Efectos mundiales de las erupciones. 1915 fue un año sin verano por la actividad del Tambora (Java) y Mayón (Filipinas); además en 1912, por la actividad del monte Katmai de Alaska, se vio cómo la radiación solar recibida por la Tierra disminuyó en un 20% a causa de la ceniza afectando el verano. Desde la erupción del Ruiz en 1985, se mantuvo una emisión de dióxido de azufre superior a las mil toneladas diarias, durante los primeros años. Esto se expresó en lluvia ácida e incremento de descargas eléctricas sobre las cuencas del área de influencia del edificio volcánico.

Otro efecto posterior, asociado a la producción del dióxido de carbono de origen volcánico, es el efecto de invernadero. El basamento del Vesubio, rico en calizas, ha favorecido este tipo de emisiones. A gran escala y depositadas las cenizas con el mayor aporte de gases de invernadero sobrevendría un incremento en la temperatura media del planeta.

6.5. MANIFESTACIONES VOLCANICAS

6.5.1 Fumarolas. Agujeros por los que se vierten a la superficie gases volcánicos, pueden ser de tres tipos: las cloruradas que anuncian ambientes de 800° a 450°C, las ácidas que anuncian ambientes de 450° a 350°C y las alcalinas o amoniacaes de 250° a 100°C. Las segundas están compuestas por vapores de agua, ácido clorhídrico y anhídrido sulfuroso y las terceras por cloruro amónico y ácido

sulfhídrico todas se explican por agua meteórica infiltrada hasta la proximidad del reservorio, y en ocasiones pueden estar contaminadas con volátiles magmáticos.

6.5.2 Las emanaciones. Llamadas Sulfataras por tener aportes de gases azufrados (SO_2), (HS) y azufre, y Mofetas por aportes de monóxido y bióxido de carbono sobre todo cuando en el basamento volcánico hay calizas. Las fumarolas secas suelen aparecer cerca al cráter y activarse en períodos de actividad, pero alejándose del cráter se hacen cada vez más frías hasta transformarse por regla general en mofetas, a causa de la mayor volatilidad del carbono con relación al azufre y al cloro.

6.5.3 Otras manifestaciones. Son las piscinas y volcanes de lodo si el barro vertido a la superficie es producto de la alteración de las paredes del conducto; los géiseres en donde el vapor hace sus salidas periódicamente y por último los manantiales minerotermales o aguas termales propiamente dichas, donde una porción de agua se considera juvenil; pues mientras un silicato fundido puede contener hasta el 12,5% de agua, una vez cristalizado podrá contener menos del 1,5%. La mayor parte del agua arrojada por un volcán en forma de vapor tiene origen interno y se denomina juvenil.

Se denomina volcán activo el que tiene registros históricos, volcán latente el que sin tener registros históricos tiene manifestaciones volcánicas como las anunciadas, e inactivo el que no tiene manifestaciones volcánicas ni registro histórico. Esta clasificación es débil en los dos primeros porque en América la historia parte de 500 años y en Europa de 5000 años.

6.6. LOS VOLCANES COLOMBIANOS

Existen vulcanitas y piroclastitas de composición intermedia, predominantes en la mitad sur de la cordillera Central; vulcanitas básicas a ultrabásicas, alcalinas y piroclastitas riolíticas en el sector sur del Valle Superior del Magdalena y Putumayo, y vulcanitas y piroclastitas intermedias a básicas en el sector norte de la cordillera Central. Los límites de las áreas volcánicas, en las que se encuentran conos y calderas, flujos de lava, tefras y lahares, son irregulares y se extienden a ambos lados del eje de la cordillera Central y valle superior del río Magdalena, y en zonas más localizadas de la parte central de la cordillera Occidental en el departamento del Valle del Cauca.

No obstante, en Colombia, el Ingeominas ha agrupado los volcanes en tres segmentos: el Segmento donde sobresales el Galeras y el Complejo Volcánico de Cumbal, el Segmento central con volcanes como el Nevado del Huila y el Puracé, y el Segmento norte donde sobresales el Nevado del Ruiz y Cerro Machín.

Según las notas del texto Historia de los Terremotos de Colombia, del Padre Jesús Emilio Ramírez, S. J. (1983), modificados en el quinto grupo, los volcanes colombianos se inician en la frontera con el Ecuador y se extienden de sur a norte entre los paralelos 75° y 78° hasta el paralelo de los 6° . En ellos se identifican cinco grupos: el primero con los volcanes vecinos al Ecuador que son el Nevado de Cumbal, la Serranía de Colimba, el Chiles y el Cerro Mayasquer. En el segundo están los volcanes alrededor de Túquerres y Pasto que son el Galeras, el Morosurco, los dos Patascoi, el Bordoncillo, el Campanero, el Páramo del Frailejón y el Azufral.

El tercer grupo son los volcanes entre Popayán y Pasto como el Cerro Petacas, el Doña Juana, el Cerro de las Ánimas, el Juanoi y el Tajumbina. Estos están sobre la Cordillera Oriental. El cuarto grupo incluye los volcanes de la parte media de la cordillera Central entre el nacimiento del Magdalena y la región de Popayán. Son ellos la Serranía de la Fragua, el Nevado del Huila, la región de Silvia y del río Coquiyó, el Puracé, el Pan de Azúcar y Paletará en la Sierra de Coconucos, y el Sotará.

Al norte de Ibagué aparecen en el quinto grupo el Nevado del Tolima, el Machín, el Quindío, Cerro España, Nevado de Santa Isabel, Cisne, Paramillo de Santa Rosa, el Nevado del Ruiz con su cráter Arenas y dos cráteres parásitos (Oleta y Piraña) que se reconocía como Mesa de Herveo, Cerro Bravo y Romeral (ambos con actividad holocena), Tesorito, el Alto de Mellizos, el Cerro Tusa, los Farallones de Valparaiso, y otras estructuras. Según el Padre Ramírez el Ruiz, Tolima, Puracé, Doña Juana, Galeras, Cumbal y Cerro Negro-Mayasquer son volcanes con erupciones históricas o actividad magmática, mientras el Machín, el Huila y el Azufral son volcanes en estado fumarólico.

La actividad del complejo volcánico Ruiz-Tolima se puede calificar de moderada. Entre los eventos registrados se destacan erupciones plinianas menores de 2 Km^3 del Tolima (10.000 aC) y el Quindío (9.000 aC), menores de 1 Km^3 del Tolima (1.600 aC) y el Ruiz (1.200 aC y 1.595 dC). La excepción es un flujo piroclástico Holoceno de 5 Km^3 asociado al Machín. Las últimas erupciones prehistóricas, de tipo pliniana y de flujos piroclásticos datadas son del cerro Machín, Cerro Bravo, Tolima y Ruiz (900 dC, 1.250 dC y 1.600 dC). (Según Thouret, Murcia, Salinas y Cantagrel, Ingeominas 1.991).

La actividad histórica del Ruiz está representada por los eventos de 1.595 (pliniana), 1.845 (con flujo piroclástico) y 1.985 (subpliniana); todas ellas con importantes flujos de lodo, el mayor de todos el de 1.845 y el menor, el de 1985. Hay un pequeño evento del Tolima cercano al año 1.900.

A continuación se presenta un mapa de amenazas potenciales del Ruiz en una retícula de $20 \times 20 \text{ Km}^2$. Se señalan las zonas de susceptibilidad alta (A) y moderada (M). A partir del cráter los flujos de lava, con nivel moderado, son probables hacia el norte; los flujos piroclásticos tienen áreas delimitadas y achuradas con puntos, siendo la de mayor riesgo más extensa; los flujos de lodo siguen los cauces de los ríos, hasta encontrar las corrientes del Cauca y del Magdalena, por donde continúan con riesgo moderado. La dirección probable de caída de cenizas se presenta con dos flechas: hacia el Nordeste en las temporadas de invierno (marzo 21 a junio 21 y septiembre 21 a diciembre 21), y al occidente, en las temporadas secas (diciembre 21 a marzo 21 y junio 21 a septiembre 21).

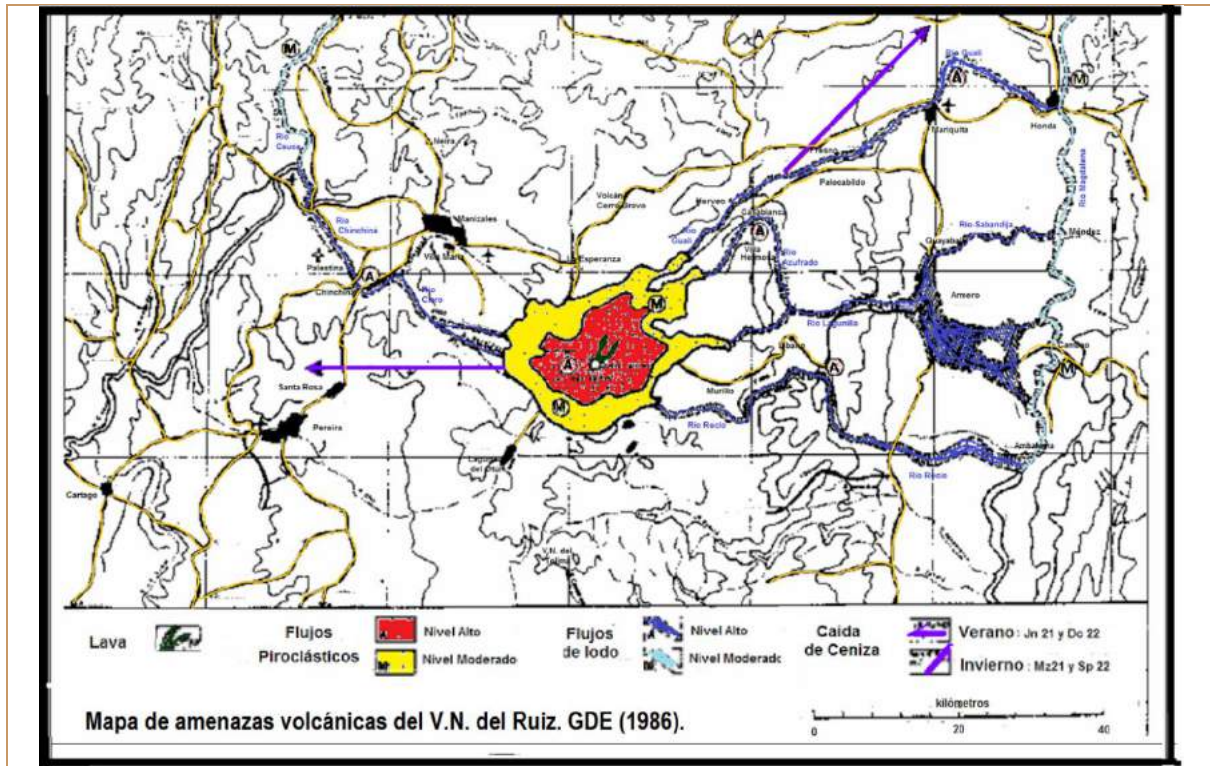


Figura 28. Mapa de amenazas potenciales del V. N. del Ruiz Hipótesis de trabajo. (Versión no oficial). La escala es de 20 x 20 km en la retícula. En el centro, el cráter Arenas, con dos pequeños derrames de lava hacia el norte, y en su alrededor dos zonas amenazadas por flujos piroclásticos: amenaza alta y moderada. Desde el cráter y hacia los costados este y oeste, amenaza alta por flujo de lodo sobre el drenaje de las cuencas. En los costados sobre los dos ríos mayores Cauca y Magdalena que drenan de sur a norte, amenaza baja por flujos de lodo. Las dos flechas señalan amenaza por caída de cenizas así. En el período de verano, hacia el occidente y en el de invierno, hacia el noreste. Las manchas oscuras de la izquierda del cráter son Manizales al noroccidente y Pereira al occidente. Armero está ubicado 40 km al este del cráter. Fuente Gonzalo Duque Escobar, Universidad Nacional, Julio de 1986.

6.6.1. RIESGO Y AMENAZA VOLCANICA

Principales riesgos volcánicos en zonas de montaña.

En zonas de montaña, de ambiente andino, los principales riesgos volcánicos se relacionan con lahares, flujos piroclásticos y caída de cenizas.

Lahares: Las máximas alturas son de 50 metros sobre los cauces, antes de llegar los ríos a los valles de salida. No obstante, por la frecuencia, las alturas a considerar con riesgo son de 10 y 30 metros son, según el mejor o el peor de los casos, posibles y probables.

Blast y flujos piroclásticos en general: estos eventos menos probables, pero igualmente contundentes, exigirían a largo plazo reestudiar y de manera integral alternativas de ruta, y a corto o mediano plazo prever la seguridad de operadores. Se recuerda que, conexos podrían aparecer lahares y sismos los cuales tienen riesgo específico alto y cúmulo bajo.

Ceniza y gases: La exposición prolongada al efecto de la ceniza, es tan importante como la exposición intensa al mismo fenómeno, cuando se trata de la salud de personas con bronquitis crónica, asma y enfermedades cardiopulmonares.

La ceniza en abundancia, puede generar trastornos a la producción agropecuaria en la zona de páramo y la lluvia ácida, por aportes de SO₂ venido de la columna de vapor, puede acelerar la corrosión al incrementar el Ph de la biosfera en un área igualmente extensa.

La ceniza y el gas generan efectos meteorológicos nocivos como tormentas eléctricas y precipitaciones intensas, dos fenómenos importantes por el riesgo para los sistemas de comunicación, transportes, etc.

órdenes de siniestralidad y frecuencia de eventos naturales

FRECUENCIA

Meteorito: 1 = alta

Erupción: 2

Sismos: 3

Otros/2/ A y B: 4

SINIESTRALIDAD

Meteorito: 4 = baja

Erupción: 3

Sismos: 2

Otros/2/ A y B: 1

[2]A = Movimiento masal en Zona montañosa. B = Inundación por creciente en valles.

Factores de amenaza volcánica:

Probabilidad, tipo, intensidad y extensión del evento, condiciones geológicas y de entorno.

Factores de riesgo volcánico:

Nivel de amenaza, medidas de protección, grado de vulnerabilidad, vida y bienes expuestos.

Factores que definen el estilo eruptivo de un volcán

Características de la cámara y del magma.

Contactos magmático-hidrotermales.

Estructura y morfología del volcán.

Intensidad de procesos exógenos y endógenos.

DESASTRES POR EVENTOS VOLCANICOS

Fenómeno, volcán (año) y muertes causadas

Lava de 3/4 Km³, Etna (1609), 20.000 víctimas

Flujo piroclástico de 1 Km³, Monte Pelado (1902), 30.000 víctimas

Lahar de 1/10 Km³, Ruíz (1985), 23.000 víctimas

Ceniza y gas (efecto posterior p. e. hambre), Grieta Laki (1783), 10.000 víctimas

Consideraciones para el riesgo volcánico

A Previsión a corto plazo (proceso magmático).

Monitoreo volcánico.

Modelo eruptivo.

B Previsión general (mapas de riesgo).

Historia y prehistoria eruptivas.

Evolución e historia estructural.

Tipo de controles: (No incluye efectos atmosféricos ni de largo plazo).

Erupción: drenar el cráter (Kelud de Java).

Ceniza: Remoción (techos y vías)

filtros (respiración, motores).

Lava: Bombardeo (Etna)

Barreras (Hawaii)

Refrigeración (Vestmannaear).

Flujo piroclástico: Evacuación (Taal, Filipinas, 1745).

Flujo de lodo primario (deshielo): Evacuación.

Flujo de lodo secundario (precipitación): Barreras (Sakurajima).

Utilidad de la previsión general

Períodos de calma: planes de ocupación del suelo y de exposición al riesgo.

Períodos de crisis: planes de defensa civil y de administración de recursos.

Instrumentos de prevención

Cartas de riesgo y educación básica.
 Monitoreo volcánico y planes de emergencia.
 Medidas de Defensa Civil y Organización comunitaria.

Categorías de métodos defensivos

Barreras y construcciones resistentes.
 Sistemas de alarma y control.
 Refugios para evento sorpresivo.
 Zonas de evacuación (pronóstico anticipado).

Construcción y planificación en zona de riesgo

Uso restrictivo y del suelo y movilidad de bienes.
 Seguridad ignífuga e inclinación de techos.
 Resistencia mecánica y disipación de energía.

Seguro de riesgo por erupción

A. Criterios de Asegurabilidad
 Cálculo de prima (riesgo local).
 Sector de responsabilidad (riesgo de cúmulo o total).

B. Alcance de la cobertura
 Tipo de cobertura.
 Participación del asegurado.
 Límite de indemnización.
 Exclusión de riesgos específicos.

C. Tasación del riesgo
 Prima de recargo de incertidumbre.

Zonificación según la probabilidad distribución y nivel de amenazas.

Se puede calcular el Factor de Prima Técnica FPT anual, mediante la siguiente expresión, a partir de la capacidad destructiva del evento, de su cubrimiento espacial y de su período de recurrencia expresado en años, así:

$$F.P.T./_{anual} = (\% \text{ daño} \times \% \text{ área afectada})/\text{período en años}$$

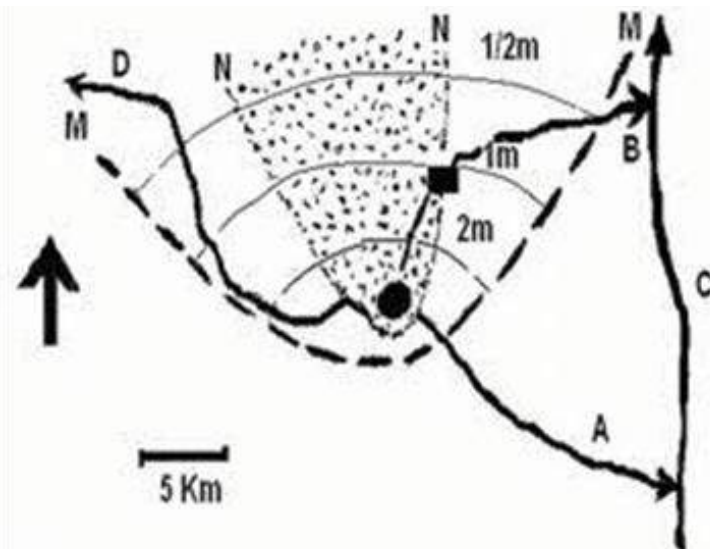


Imagen 31.: Escenarios de amenaza volcánica: En la figura, el área del volcán afectada por cenizas NN es el 30% del área potencialmente amenazada MM, para un evento típico con un determinado período de retorno, y su grado de siniestralidad disminuye con los espesores señalados (2m, 1m y 1/2 m). Igualmente se pueden considerar los efectos de los flujos de lodo en el drenaje A, B, C y D. Fuente propia.

CLASIFICACION DEL RIESGO (I) VOLCANICO

POSIBLE CONTROL

Lahares = Duda. Flujo piroclástico = No. Blast = No. Cenizas = No. Gas = Si. Lava = Duda

RIESGO LOCAL

El Riesgo local se relaciona con la frecuencia y siniestralidad, es de interés para fijar la prima de un seguro y para los particulares. Niveles, así: 1 = agravado, 2 = mediano, 3 = moderado, 4 = reducido, 5 = bajo, 6 = muy bajo

Lahares= 2. Flujo piroclástico = 4. Blast= 6. Cenizas= 5. Gas = 4. Lava= 1

RIESGO DE CUMULO

El Riesgo de cúmulo se relaciona con la extensión y siniestralidad del evento, es de interés para el valor del reaseguro (sector de responsabilidad), y para las autoridades de los Comités de emergencia. Niveles, así: 1 = agravado, 2 = mediano, 3 = moderado, 4 = reducido, 5 = bajo, 6 = muy bajo.

Lahares = 4. Flujo piroclástico = 3. Blast = 1. Cenizas = 2. Gas = 5. Lava = 5.

CLASIFICACION DEL RIESGO (II) VOLCANICO

FRECUENCIA POR SIGLO (# casos)

Lahares = 1 – 10. Flujo piroclástico = 1 – 5. Blast = 1 – 3. Cenizas = 1 – 5. Gas = 1 – 5. Lava = 10 – 100

AREA AFECTADA (en Km²)

Lahares 10 – 100. Flujo piroclástico = 1 – 10. Blast = < de 15.000. Cenizas = < de 1 millón. Gas = 1.000
Lava = 1 10

SINIESTRALIDAD ESPERADA (%)

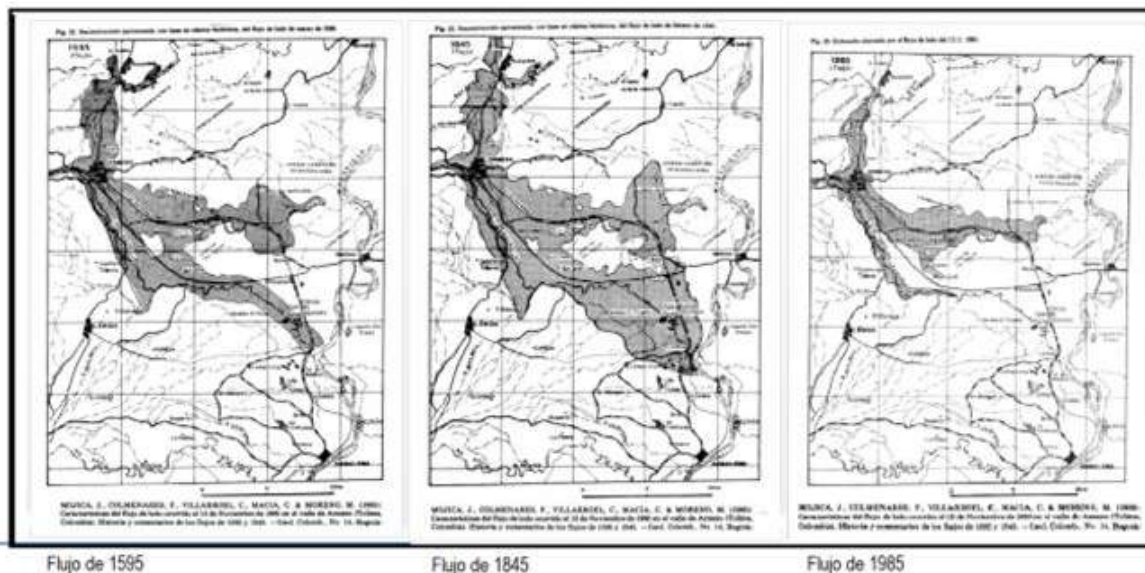
Lahares = 50 – 100. Flujo piroclástico = 70 – 100. Blast = 70 – 100. Cenizas = < de 10. Gas = 1. Lava = 20 – 100.

Nota: Blast: erupción lateral dirigida de ángulo bajo. Lahar: flujos de lodo que generalmente acompañan las erupciones volcánicas. Flujo piroclástico: nube ardiente o riada a alta temperatura constituida por una mezcla de gases, vapor, cenizas y otros materiales volcánicos.

6.7. INTIMIDADES DEL RUIZ PARA UN EXAMEN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

RESUMEN: Si lo normal del Ruiz como volcán activo es erupcionar, parece sensato esperar eventos cuyo alcance espacial se aproxime a las previsiones señaladas en su mapa de amenazas, dado que la erupción del 13 de noviembre de 1985 apenas alcanzó un volumen de 1/10 de kilómetro cúbico, cuantía ínfima en comparación con los eventos históricos de 1595 y 1845 donde el volumen de magma superó entre 10 y 20 veces esa magnitud.

En el contexto de la crisis del volcán Nevado del Ruiz del 23 de febrero de 2011, fenómeno que suele repetirse en un volcán en estado pre-eruptivo tras reportarse la ocurrencia de sismos volcánico-tectónicos, salida de gases y deformaciones, aunque el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales aclare que el nivel energético de la actividad sísmica resulte inferior a los alcanzados en las crisis de los meses posteriores a la erupción de 1985, vale la pena reflexionar sobre la amenaza volcánica, para revisar la gestión del riesgo en Caldas y Tolima.



Flujos de lodo cuaternarios relacionados con la actividad del Volcán Nevado del Ruiz en la región de Armero-Guayabal-Maniquita (Toima) Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/31455/>

Imagen 32: Lahares asociados al V. N. del Ruiz, de 1595, 1845 y 1985, en Armero. Mojica, Jairo and Brieve, Jorge and Villarroel, Carlos and Colmenares, Fabio and Moreno, Manuel (2012). Fuente: [Exordio de una tragedia volcánica](#).

Para empezar, la natural inquietud que despierta la noticia respaldada por la enorme columna de vapor visible desde Manizales, hace palpable su diferencia con lo que ocurría durante la coyuntura pre eruptiva de 1985 cuando despertaba el “león dormido”, posiblemente gracias al reducido nivel de incertidumbre sobre lo que pueda ocurrir ahora, a la experiencia acumulada por la comunidad científica, y al nivel de apropiación del conocimiento por parte de los actores sociales del territorio y su confianza en el Observatorio Vulcanológico de esta ciudad.

Cuando se reconoce que lo normal para un volcán no extinto donde alternan estados “Off y On” tras largos períodos de calma, al llegar los tiempos de actividad para el Ruiz lo normal es que se presenten crisis con este tipo de señales geofísicas y emisiones del cráter Arenas, tal cual ocurrió en 2002 y 2010. Se supone que estos ciclos característicos de cada volcán, finalmente responden a factores como la estructura interna cambiante y clase de magma, y a su ambiente geológico y evolución de los procesos vulcano-tectónicos, asuntos que en el caso del Ruiz se investigan y monitorean desde varios frentes para satisfacer la demanda para atender las amenazas geológicas y el desarrollo de la geotermia.

El Ruiz a pesar de haber entrado en estado “On” hace 26 años, no ha concluido esta fase para entrar a su estado “Off”. Al respecto, en un mapa de la conquista que muestra los primeros poblados del Magdalena Centro aparecen además de Mariquita (1551), escritos tal cual los nombres de “Vitoria” donde supuestamente quedaba la histórica población de Victoria (1553) y “Bolcán” adonde está el Volcán Nevado del Ruiz. Así que, habiéndose producido la erupción en 1595, también se infiere una actividad pre eruptiva décadas antes del paroxismo, por la presencia de una columna que emerge entre los glaciares para anunciar a distancia un volcán en lo alto de la Cordillera Central.

Entonces, si lo normal del Ruiz como volcán activo es erupcionar, parece sensato esperar eventos cuyo alcance espacial se aproxime a las previsiones señaladas en su mapa de amenazas, dado que la erupción del 13 de noviembre de 1985 apenas alcanzó un volumen de 1/10 de kilómetro cúbico, cuantía ínfima en comparación con los eventos históricos de 1595 y 1845 donde el volumen de magma superó entre 10 y 20 veces esa magnitud. Pero esto con flujos de lodo mayores a los de 1985, para los cuales el riesgo actual ya no resulta tan determinante gracias a la preservación de los usos del suelo previniendo la ocupación conflictiva en el escenario de Armero y a lo largo de las vaguadas de los ríos afectados hace 26 años.

De paso, se recuerda que en 1985 la magnitud de los lahares estimados en cien millones de metros cúbicos, se incrementó por los deshielos dada la fusión de glaciares ocasionada por riadas gasopiroclásticas y vertimiento de piroclastos: allí agua y sólidos participaron casi por partes iguales, para conformar flujos de lodo como los que arrasaron Armero, donde se vertieron 60 millones de metros cúbicos sobre 30 kilómetros cuadrados. La emisión de cenizas que suele afectar las rutas aéreas, sólo alcanzan a tener impacto en el caso de erupciones importantes por la turbiedad de las aguas y zonas de pastoreo de las cuencas que drenan desde el volcán, por los costados en que la columna de ceniza resulta desplazada por la dirección del viento dominante.

Entre tanto, la comunidad que ha debido prepararse durante lustros, podrá guardar la calma para proceder con seguridad acatando las medidas de previsión frente a la amenaza volcánica, siguiendo las instrucciones de los Comités de Emergencia quienes interpretan las evaluaciones científicas de los miembros de nuestro Observatorio Vulcanológico, grupo humano del cual varios integrantes han perdido la vida en actividades al servicio de la comunidad, en el Ruiz y el Galeras.

De ahí la importancia de no bajar la guardia en tiempos de crisis, para ajustar la preparación de las comunidades expuestas a los diferentes eventos probables, y verificar la ocupación de las zonas de amenaza sobre los 10 primeros kilómetros del entorno del volcán y las vaguadas de los ríos Gualí, Azufrado, Lagunillas, Molinos, Rioclaro-Chinchiná y Recio, para ver si en el largo plazo persisten las medidas de defensa civil y ordenamiento del territorio, asuntos clave para la mitigación del riesgo en el área de influencia del volcán. Y

como prueba de que el esfuerzo fructifica, en la erupción del Nevado del Huila de noviembre de 2008, se logró evacuar un centenar de personas expuestas a dos avalanchas que destruyeron por lo menos cinco puentes del río Páez.

[Ref. La Patria, Manizales, 2011-03-19]

6.8. EL RUIZ CONTINÚA DANDO SEÑALES...



Imagen 33. Pequeña erupción en el Volcán Nevado del Ruiz. Archivo particular www.eltiempo.com

Un sismo ocurrido el viernes 7 de octubre a las 15:34 hora local asociado al volcán Nevado del Ruiz y con magnitud 4,2 en la escala de Richter, según el Servicio Geológico Colombiano, fue sentido en Manizales, Chinchiná y Villamaría (Caldas), en Herveo, Vistahermosa y Murillo (Tolima), y en Santa Rosa, Dosquebradas y Pereira (Risaralda).

Aunque el evento ocurrido a tan solo 5,4 kilómetros de profundidad y con epicentro 4,4 km al norte del cráter, necesariamente no es erupción inminente, dada su naturaleza volcanotectónica al estar asociado a fracturamiento de rocas dentro del edificio volcánico, sí obliga a mantener las previsiones a que da lugar el estado de alerta amarillo.

Igualmente en Febrero 6 del presente año a las 20:39 también se había presentado otro sismo de similar naturaleza con 3,6 de magnitud en el Volcán Nevado del Ruiz, a una profundidad de 4,9 kilómetros, que fue sentido por los habitantes en el área de influencia del volcán, razón por la cual se recomendó estar atentos a la evolución de los procesos.

Mientras la Unidad de Gestión del Riesgo de Manizales realizó un recorrido por diferentes puntos de la ciudad sin advertir incidentes por el temblor, las autoridades de Caldas y Tolima han recomendado mantener el estado de alerta correspondiente al citado nivel III de amenaza, de conformidad con las dinámicas del fenómeno volcánico.

Si lo normal en un volcán activo como el Ruiz que sigue en actividad emitiendo pulsos de cenizas y gases, es erupcionar, también parece sensato esperar eventos cuyo alcance espacial se aproxime a las previsiones señaladas en su mapa de amenazas, para prevenir desastres como el ocasionado con la erupción del 13 de noviembre de 1985, cuando desapareció Armero.

Entre tanto, la comunidad que recuerda la citada tragedia, conocedora del eficiente desempeño de los miembros del Observatorio Vulcanológico y quien ha estado preparándose durante lustros, guarda la calma y continúa presta a acatar las medidas de previsión, y a seguir las instrucciones de los Comités de Emergencia.

A pesar de los eventos históricos de 1595 y 1845, y de los efectos destructivos de los flujos de lodo del 13 de noviembre de 1985, el riesgo actual ya no resulta ser tan determinante, gracias a la preservación de los usos del suelo previniendo la ocupación conflictiva a lo largo de las vaguadas de los ríos afectados hace 30 años, y a la existencia del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Prehistoria Geológica

En el Pleistoceno, hace 1,8 millones de años, según Jean-Claude Thouret; Armando Murcia y Rosalba Salinas, tienen lugar las primeras erupciones, que corresponden al período ancestral que dura entre 0,8 a 1,0 millones de años, en el que se forma un complejo de grandes estratovolcanes que colapsan, quedando calderas de entre 5 y 10 km de diámetro. Continúa el período antiguo que dura entre 0,8 a 0,2 millones de años, en el que se desarrolla un nuevo complejo de grandes estratovolcanes que incluyen lo que era entonces el Ruiz, el Tolima, el Quindío, y el Santa Isabel; luego entre hace 0,2 y 0,15 millones de años, una vez más se formaron calderas explosivas en sus cumbres.

Finalmente, según dichos investigadores, entra el período presente hace aproximadamente 150.000 años, en el que se desarrolla el actual edificio volcánico a través del emplazamiento de domos andesíticos y dacíticos, en medio de las viejas calderas. Según Ingeominas, durante los últimos 11.000 años, el Ruiz ha tenido cerca de 12 etapas eruptivas con múltiples corrimientos de tierra, flujos piroclásticos y lahares, en las que se ha dado la destrucción parcial de los domos de la cima. Las erupciones importantes datadas por radiocarbono concluido el Holoceno y ya en el Antropoceno, son del 6660 a. C., 1245 a.C±150 años, cerca del 850 a. C. y 200 a.C±100 años, así como del 350 d.C±300 años y 675 d.C±50 años.

* Ref: Revista Eje 21. Manizales, 216/10/8.

6.9- EL RUIZ, AMERITA MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y NO PÁNICO

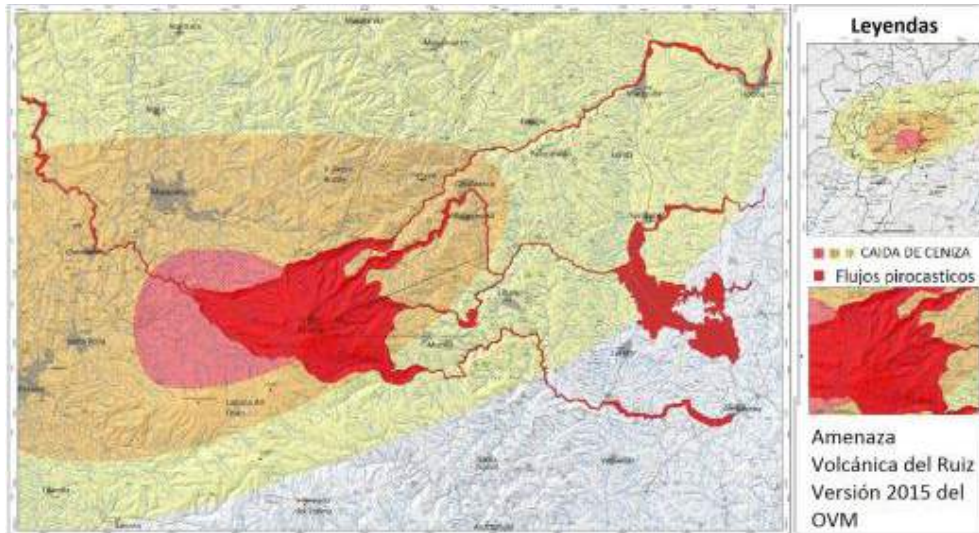


Imagen 34: Tercera versión del Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Nevado Ruiz. Fuente: http://www2.sgc.gov.co/Manizales/Imagenes/Mapas-de-Amenaza/VNR/v3_img/Mapa_de_Amenaza_v3-2015-50.aspx

El Nevado del Ruiz a pesar de persistir en estado de amenaza latente de erupción, tiene su propia historia geológica; al igual que Sancancio, es el Ruiz una estructura vulcanogénica contemporánea al cerro tutelar de la ciudad con una edad inferior a los dos millones de años, y por lo tanto de similar origen, aunque alcanzaron niveles de desarrollo opuestos: a diferencia de Sancancio, un domo volcánico fruto de una porción de magma que se extruye a la superficie a causa de las mismas fuerzas tectónicas que otrora levantaron la colina de Chipre formando el Escarpe de la Francia, la evolución del Ruiz ha sido en sumo grado catastrófica y dinámica: los cráteres La Olleta y La Piraña, con ochenta mil a cien mil años de antigüedad revelan parte de esa historia.

De otro lado, habitamos el segmento volcánico más septentrional de los Andes, y aunque poco sabemos de las corrientes humanas migratorias asiáticas que hace 12 o 14 mil años entraron por el estrecho de Bering, pasaron por Colombia y bajaron hasta la Patagonia, sí conocemos de dicho período algo de la actividad del Ruiz, por las capas de cenizas volcánicas y otras evidencias geológicas que a modo e huellas dejaron las erupciones ocurridas en los últimos 11 mil años: según los investigadores del Ingeominas, el Ruiz en esa época tuvo cerca de 12 etapas eruptivas con múltiples eventos, como corrimientos de tierra, flujos piroclásticos y lahares, además de la destrucción parcial de los domos de la cima. Y en lo que más nos debe competir, sabemos también de las erupciones históricas de 1595, 1845 y 1985, repitiéndose donde se destruye Armero.

A diferencia de lo ocurrido hace más de tres décadas con Armero, el Estado Colombiano consciente de la necesidad de mitigar el riesgo por la amenaza volcánica, y de implementar la gestión del riesgo frente a otras amenazas como sismos y eventos hidrogeológicos y climáticos, además de crear el Observatorio Vulcanológico de Manizales, la Red Sismológica Nacional de Colombia y la Oficina Nacional para la Atención de Emergencias del Departamento Administrativo de la Presidencia de la República, a través de sus diferentes instituciones ha logrado consolidar a la fecha un Sistema Nacional de Atención y Prevención de Desastres de gran capacidad y proyección.

No obstante, tras la tragedia que dejó este año 669 víctimas mortales el terremoto en Ecuador, evento con de 7,8 grados de magnitud ocurrido el pasado 16 de Abril, y que fue sentido desde Perú hasta el sur occidente de Colombia; y luego, con las sacudidas de los pasados días consecuencia del sismo de origen volcánico del 9 de octubre sentido en Manizales, cuya ocurrencia se ha relacionado con las frecuentes emisiones de ceniza del Ruiz que llegan a la ciudad, a pesar de la seguridad que se ofrece tras generarse oportunamente la necesaria activación de los protocolos de asistencia sobre el área de influencia del volcán, y de conocerse el carácter sólo local de los sismos volcánicos, continúa la natural inquietud de la población por la incertidumbre de los acontecimientos.

Aunque sabemos de la imposibilidad de predecir eventos de comportamiento errático, no obstante sí se puede prever con algún acierto una erupción de importancia, tal cual lo hizo Ingeominas en el Volcán del Huila el año 2007 cuando logró anticipar la ocurrencia de flujos de lodo catastróficos asociados a la erupción de dicho volcán nevado, pese a las naturales limitaciones que imponen la ciencia y la tecnología, permitiendo dar alerta a varios miles de habitantes de las poblaciones rivereñas de Belalcázar, Inzá y Tesalia que se aseguraron en la parte alta de la montaña la madrugada del 18 de abril, poniéndose a salvo de avalanchas comparables a las del Páez causadas por el fatídico Sismo de 1994 que había dejado unos 1100 muertos.

Contrario a lo que ocurrió en 1985 con el Ruiz, cuando los flujos de lodo por el Gualí, Río Claro, Lagunillas y Azufrado alcanzaron poblados como Armero, Mariquita y Chinchiná causando la muerte a unos 25 mil habitantes, además de causar la pérdida de ganados y propiedades arrasadas por dichas riadas que igualmente destruyeron carreteras, puentes y anegaron tierras de cultivos, hoy por fortuna las zonas de amenaza severa no están ocupadas, la gestión del riesgo se ha institucionalizado, se tiene como

garantía el eficiente servicio de monitoreo volcánico, y se sabe con relativa certeza del nivel de severidad, alcance y clase de las amenazas que podemos y debemos atender.

[REVISTA EJE 21. Manizales, 2016/410/17]

6.10. CERRO BRAVO, TRAS TRESCIENTOS AÑOS DE CALMA VOLCÁNICA

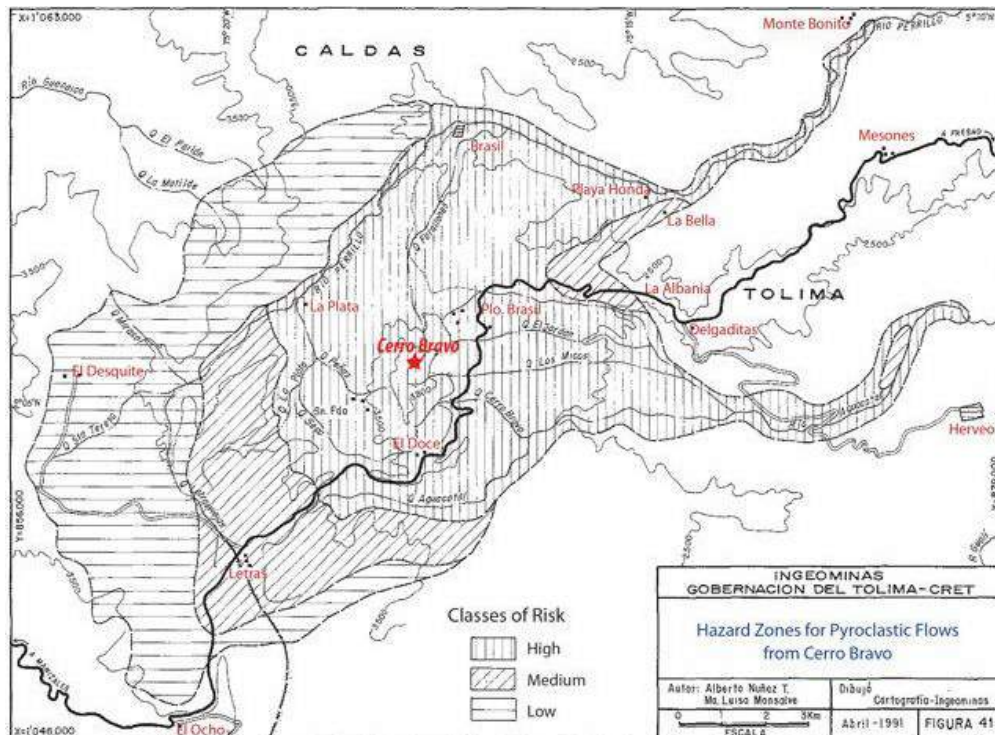


Imagen 35: Volcan Cerro Bravo Colombia - Amenaza Flujos Piroclásticos CRET del Tolima. Alberto Núñez T. Fuente, Mapa de Amenazas de Cerro Bravo, Ingeominas (1999).

Sobre el eje cordillerano al norte de Tolima, en jurisdicción de Herveo aparece Cerro Bravo, una reciente estructura del segmento volcánico más septentrional de los Andes sudamericanos, con 4000 metros de altitud y cuya edad se remonta a tan solo unos cincuenta mil años, según Ingeominas, lo que también se infiere, entre otros elementos que lo diferencian del edificio volcánico del Ruiz, por la presencia de lavas más recientes a juzgar por la morfología fresca de las estructuras petrificadas, anunciando que no fueron afectadas por los procesos erosivos del modelado de los hielos en la última glaciación, cuando estos cubrieron cerca de 800 kilómetros del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima.

Aunque no existen registros históricos (anotaciones), los investigadores le han asignado a este estrato-volcán erupciones explosivas de características similares a las del Vesubio ocurrida en el año 79 de nuestra era y narrada por Plinio el joven- en la que se destruyen Pompeya y Herculano- cuyas fechas estimadas por radiocarbono con errores de entre 150 y 75 años, son de los años 1720, 1330, 1050 y 750. Las evidencias de estas erupciones violentas, que parecen sucederse cada cuatro siglos y de los cuales Cerro Bravo lleva unos tres en reposo, son varios de los estratos que conforman las capas de nuestros suelos sobre la geografía circundante de Cerro Bravo, dispersos sobre un radio que supera ampliamente las decenas de kilómetros medidos a partir del Cráter. Aunque las erupciones del Ruiz y del Cerro Bravo tienen en común un carácter explosivo, mientras las del Ruiz han sido de nivel moderado bajo con presencia de columna eruptiva preferiblemente vertical sostenida (salvo la de 1845), las de Cerro Bravo ya mencionadas han mostrado un nivel moderado alto y con un mayor nivel de dispersión, lo que se explica por lavas más viscosas propiciando columnas eruptivas de colapso. En ambos casos, las manifestaciones violentas se acompañan de grandes volúmenes de gas volcánico y ceniza, con fragmentos de pómez cuya expulsión a gran velocidad y temperatura forma las citadas columnas eruptivas, de las cuales pueden surgir riadas gaso-piroclásticas a alta temperatura, acompañadas de tormentas eléctricas y de lluvias torrenciales generadoras de flujos de lodo, así Cerro Bravo no tenga glaciares.

La imagen que ilustra esta nota es el mapa con una de las amenazas potenciales de Cerro Bravo, el de las nubes ardientes, juiciosamente elaborado por los científicos del Observatorio Vulcanológico de Manizales adscrito al Ingeominas, entidad que también ha establecido centros similares para la vigilancia de los segmentos volcánicos vecinos al Huila y al Galeras, donde igualmente existen varios sistemas activos y comunidades vulnerables habitando sus territorios, que por estar en riesgo deben aplicar la información de dichos mapas en el ordenamiento territorial, y la del monitoreo volcánico en la administración de las eventuales crisis eruptivas, dado que ambas actividades las viene abordando esta prestigiosa Institución, así la mayoría de los volcanes estén en reposo temporal, como ocurre con Cerro Bravo. Solo que dado el período típico y la incertidumbre en su estimación, habrá que tomar en serio esta amenaza.

De conformidad con el mapa y la información suministrada para el mismo, entre las amenazas volcánicas de Cerro Bravo, habrá que contemplar, además de caída de ceniza volcánica, flujos de lodo por los ríos Aguacatal afluente del Gualí y por el río Perrillo afluente del Guarinó, llegando con pocos metros de espesor hasta el Magdalena; además de los flujos piroclásticos que podrían superar los 10 kilómetros de extensión avanzando por dichos drenajes e incluso por las cabeceras del Río Blanco y del Guacaica, vecinos a Manizales de conformidad con el mapa anexo, consecuencia ello de una erupción importante en volumen dado que la columna eruptiva de dicho volcán, por su mayor coeficiente explosivo en comparación con el Ruiz y el Tolima, tiende al colapso como también lo haría una erupción del Cerro Machín vecino a Cajamarca. Para información del lector, mientras Herveo está localizado a 14,2 km, el centro de Manizales se encuentra ubicado a 25 km y la Enea a 20 km, de Cerro Bravo. [Revista Eje 21. Manizales, 215-05-24]

6.10. TANTO TEMBLOR: ¿QUÉ PASA?



Imagen 36. Casquete del Nevado del Huila: el área glaciaria forma parte de las territorialidades del resguardo Wila del pueblo Nasa y de los municipios de Páez (Cauca), Teruel (Huila) y Planadas (Tolima). Fotografías: Der. Martín Roca 2008; Izq. Ideam.

Desde el sismo de magnitud 5,4 del sábado 26 de enero de 2019, asociado con el Nevado del Huila, se han presentado más de 8.500 eventos; el más fuerte, del lunes 28 en la tarde, se sintió especialmente en el centro y suroccidente del país. La vigilancia de este complejo volcánico impone desafíos como la optimización de estrategias para la gestión del riesgo.

Enero ha sido un mes movido en Colombia, y no solo por los acontecimientos de la actualidad nacional e internacional, sino porque la tierra se ha estremecido tanto que ya enera preocupación. Por ejemplo el lunes 21 tembló en el Nevado del Ruiz, y desde el 26 se han presentado cientos de sismos en el del Huila. Aunque se trata de movimientos asociados con enjambres volcánicos, con pocos eventos de magnitud suficiente para ser percibido en ciudades ubicadas a alguna distancia, también se han presentado temblores asociados con fallas geológicas, como el del 22, en la Mesa de los Santos (Santander) –segundo nido sísmico del mundo después de la región del Hindú Kush (Afganistán)– y el del 28 en Casanare.

La escala de Richter al medir la magnitud de un sismo, nos da a conocer la energía liberada en el hipocentro o foco, ubicado a una profundidad dada en interior de la tierra donde se reduce la fractura o ruptura de las rocas. Dicha energía que se propaga mediante ondas sísmicas, de conformidad con la magnitud y profundidad puede tener a mayor o menor alcance para ser percibidos. Mientras a gran profundidad las rocas pueden almacenar mayor energía y generar terremotos que se pueden sentir a gran distancia, en el caso de los volcanes los sismos por ser superficiales, no sólo suelen ser de baja magnitud, sino que parte de su energía se libera en la superficie, con lo cual resulta limitado su alcance salvo cuando algunos eventos del enjambre superan los 5 km de profundidad y 5 grados de magnitud, tal cual ha ocurrido con los eventos del 26 y 28 de enero pasado en el Huila.

Por la juventud de sus montañas, los Andes son una zona de actividad vulcano-tectónica, ya que del Paleozoico al reciente estas han estado sometidas a procesos orogénicos, es decir a movimientos rápidos horizontales, responsables de su formación. Su geología se relaciona con el denominado “cinturón de Fuego del Pacífico”, que en Colombia se expresa con tres cordilleras, que además de sus segmentos volcánicos: el del Galeras, el del Huila y el del Ruiz –con unos 15 volcanes activos o potencialmente activos hoy–, sus corredores de fallas geológicas han ocasionado grandes sismos como los de Cúcuta (1875), Popayán (1983) Páez (1994) y Quindío (1999).

Aunque los sismos y las erupciones volcánicas no se pueden predecir como los eclipses, sí se pueden pronosticar señalando espacialmente el tipo de eventos probables con su alcance. En Colombia nueve de cada diez personas habitan en zonas de amenaza sísmica, pero el riesgo no los abriga por igual, teniendo en cuenta que los terremotos suelen ser intensos en la costa Pacífica y el suroccidente de Colombia. Además, es importante considerar que el 35 % de los colombianos vive en zonas de amenaza sísmica alta y el 20 % en zonas con algún grado de amenaza volcánica.

Una hoja de vida con potencial destructivo

Con 5.365 msnm, el Nevado del Huila es el volcán activo de mayor altura de los Andes colombianos. Su cubierta glaciar –en proceso de desglaciación– alcanza los 13 km². Su primera erupción histórica fue una pequeña explosión ocurrida a mediados del siglo XVI, entre los años 1550 y 1560.

A diferencia de los volcanes hawaianos, caracterizados por derrames fluidos de lava, el del Huila es explosivo y suele presentar lanzamiento violento y a gran presión de magma pulverizado y fragmentos de roca.

Desde 2007 este complejo volcánico cuenta con una segunda versión del mapa de amenazas a escala 1:100.000, en el que, salvo las avalanchas, los demás eventos contemplados de severidad con nivel de amenaza alta no superan los 10 km de alcance.

Las amenazas de mayor probabilidad de ocurrencia, además de los lahares (flujos de escombros y flujos de lodo), son los flujos piroclásticos originados en el Pico Central, que descendiendo del glaciar por los ríos Páez y Símbola pueden alcanzar escenarios como la Represa de Betania –a 45 minutos de Neiva, capital del Huila–. Así mismo se encuentran los flujos de lava de hasta 3 km de recorrido, con espesores de pocas decenas de metros, y la caída de piroclastos, bloques y bombas volcánicas que forman acumulaciones de decímetros a metros de espesor en los primeros 5 km.

En marzo de 2007, el Nevado del Huila, con sus fumarolas incidiendo en el casquete glaciar y niveles altos de actividad, dio señales de una erupción importante que desembocó en un evento premonitorio la madrugada del 18 de abril, produciendo un pequeño lahar y dos erupciones que generaron avalanchas en sus dos vertientes. Dicho evento afectó las poblaciones de Belalcázar e Inzá, en el Cauca, y Tesalia, en el Huila, entre otras.

En noviembre de 2008, tras la permanente emanación de gases y cenizas acompañada con fuerte olor a azufre, una erupción explosiva acompañada de deshielo provocó una nueva avalancha por el río Páez, con efectos catastróficos.

Aunque la gestión participativa del riesgo permitió la exitosa y oportuna evacuación de 12.000 personas, se registraron 1.500 damnificados y cerca de 10 víctimas mortales, un balance optimista si se tiene en cuenta que el fenómeno arrasó tres puentes vehiculares y nueve peatonales, y dejó 120 casas semidestruidas. En octubre de 2009 nuevamente se registró una emisión continua de cenizas, que transportadas por el viento cayeron sobre 17 municipios, entre ellos Santander de Quilichao, y llegaron a Cali.

Señales del volcán

Cuando un volcán activo está apagado, la alarma es verde; cuando se prende, el color pasa a amarillo anunciando que el volcán entra en actividad; si la actividad aumenta con señales que advierten probabilidad de erupción, el color es naranja; y si se prevé erupción inminente, el color pasa a rojo. Para el efecto, los vulcanólogos pueden no solo evaluar los cambios morfológicos y los incrementos de emisiones que presente un volcán, sino también su actividad sísmica específica.

Los sismos volcánicos pueden ser: 1) volcánotectónicos, cuando el movimiento y presión de los fluidos genera el fracturamiento de las rocas, 2) de largo periodo, cuando se producen eventos de baja frecuencia relacionados con resonancia por cambios de presión en los fluidos que penetran conductos o grietas, 3) tremor volcánico, caracterizado por una oscilación persistente asociada con el movimiento de un fluido. Si se genera una onda continua, se habla de un tremor armónico, pero si se presenta un cambio dramático en la frecuencia y la amplitud, se trata de un tremor espasmódico.

La vigilancia del Nevado del Huila –localizado en la cordillera Central de Colombia, que pertenece al segmento central de volcanes encomendado al Observatorio Vulcanológico de Popayán– impone desafíos como el de contribuir a la gestión del riesgo volcánico y resolver las vicisitudes que traen las eventuales crisis volcánicas, con el imperativo de un enorme potencial de amenaza, para lo cual la importante información científica aportada por el Servicio Geológico Colombiano ha venido funcionando oportunamente dentro de las naturales limitaciones que imponen la ciencia y la tecnología.

A diferencia de lo sucedido en Armero, donde la primera causa del desastre ocurrido en 1985 fue la inexistencia de una institucionalidad relacionada con la gestión integral del riesgo, hoy, tras las experiencias que dejó el terremoto del Quindío hace 20 años y el fenómeno de La Niña en 2010-2011 y que obligó al reasentamiento de poblados como Gramalote, Colombia ha consolidado el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, con el cual además de atender los desastres y de ocuparse de las fases de reconstrucción, también trabaja en la prevención del riesgo y cuenta con el Fondo Nacional de Calamidades.

...

Fuente: U.N. Periódico. Bogotá. 2019-01—30.

Lecturas complementarias**Manizales frente a la coyuntura volcánica.**

Resumen: Esta nota señala las amenazas volcánicas más probables que debe atender Manizales, donde equivocadamente se piensa en sismos intensos que a 30 km del volcán se atenúan, y entonces las evacuaciones no proceden, máxime cuando dependiendo de la dirección del viento lo procedente es resguardarse para proteger los ojos y las vías respiratorias de las cenizas, en un escenario oscuro y turbio, con descargas eléctricas y lluvias intensas consecuencia de la erupción, en el que las cenizas podrían bloquear las vías, afectar los motores de combustión e interrumpir el fluido eléctrico y las tele-comunicaciones.

See more at: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9391/gonzaloduqueescobar.201215.pdf>

Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales.

El Ruiz es un volcán activo en estado ON, que según investigadores del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas), registra alrededor de 12 etapas eruptivas en los últimos 11 mil años. Pero también, dada la presencia de fuentes sísmicas activas con registro de eventos recientes de magnitud superior a seis casos Romeral y a siete en la Zona de Subducción, asecha la amenaza sísmica, lo que obliga atender las medidas de previsión y prevención correspondientes, según los riesgos a que está expuesta la población en cada caso.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9615/gonzaloduqueescobar.201220.pdf>

En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo

Se trata de un volcán compuesto de naturaleza andesítica-dacítica, y por lo tanto de explosividad intermedia alta, con un manto glaciario de 13 km², que se constituye en factor de amenaza. En el área se localiza el Parque Arqueológico de Tierra dentro, una zona que fue habitada por sociedades agrícolas anteriores al año 1000 d.C., de características culturales similares a las de San Agustín. Tras los daños causados por dos avalanchas ocurridas con la erupción del 18-04-2007, la crisis volcánica continúa. Las poblaciones más afectadas han sido Belalcázar e Inzá en el departamento del Cauca, y Tesalia en el del Huila. La ocurrencia de flujos de lodo catastróficos ocurrida la madrugada del pasado 18 de abril, y comparable al conocido evento ocasionado por un sismo en 1994 con epicentro cercano al volcán y que dejó unos 1.100 muertos, ha llamado la atención esta vez, porque no se han presentado víctimas humanas mortales, gracias a la capacidad de una comunidad indígena y a los beneficios pedagógicos y materiales de la reconstrucción que se hizo después del desastre por el sismo del Páez. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3170/exodo-huila.pdf>

Antes que La Colosa a galerizar Cajamarca.

A los 25 años del desastre de Armero asociado a la erupción del Volcán Nevado del Ruiz, Colombia ha tenido avances, pero igualmente enfrenta retos como la amenaza volcánica del Cerro Machín, que gravita fuertemente en poblados como Cajamarca y otros más del Tolima: ¿qué hacer y cómo hacerlo?

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70223/gonzaloduqueescobar.201025.pdf>

La economía en la era del conocimiento.

Gracias al progreso tecnológico, y en particular a al advenimiento de una nueva revolución tecnológica, la economía ha venido evolucionado hacia una nueva economía basada en el conocimiento, en un escenario donde, además de los la globalización económica acompañada de cambios en la estructura económica y en la estructura del empleo, también inciden la globalización de las tendencias ambientales y las determinantes sociales culturales. Veamos en nuestro caso, inicialmente algo sobre las revoluciones tecnológicas, para luego entrar al tema, a través de la economía verde, naranja y azul. Ver en: <https://godues.wordpress.com/2020/11/23/la-economia-en-la-era-del-conocimiento/>

ENLACES GEOAMBIENTALES

<p>ACECHA EL NIÑO FORTALECIDO POR EL CALENTAMIENTO GLOBAL.</p> <p>ACUERDO CLIMÁTICO: AVANCE NECESARIO PERO INSUFICIENTE.</p> <p>AGUA Y CLIMA EN EL DESAFÍO AMBIENTAL.</p> <p>APRENDIZAJES EN PROCESOS PARTICIPATIVOS DE RECONVERSIÓN PRODUCTIVA</p> <p>CAMBIO CLIMÁTICO Y PASIVOS AMBIENTALES DEL MODELO URBANO.</p> <p>CASO RÍO BLANCO EN II ENCUENTRO DE PAISAJES LATINOAMERICANOS.</p> <p>CIENCIAS NATURALES Y CTS.</p> <p>CLIMA ANDINO Y PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.</p> <p>CLIMA, DEFORESTACIÓN Y CORRUPCIÓN.</p> <p>CLIMA EXTREMO, DESASTRES Y REFUGIADOS.</p> <p>CONSTRUYENDO EL TERRITORIO UMBRA.</p> <p>CURSO DE CAPACITACIÓN UN-SMP PARA EL CIDEAMA.</p> <p>DESARROLLO URBANO Y HUELLA ECOLÓGICA.</p> <p>EJE CAFETERO: CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD TERRITORIAL.</p> <p>EL INESTABLE CLIMA Y LA CRISIS DEL AGUA.</p> <p>EL PAISAJE CULTURAL CAFETERO.</p> <p>EL RÍO CAUCA Y EL DESARROLLO DE LA REGIÓN.</p> <p>EL RÍO GRANDE, SU ECOSISTEMA Y LA HIDROVÍA.</p> <p>EL TERRITORIO CALDENSO: ¿UN CONSTRUCTO CULTURAL?</p> <p>EL TERRITORIO DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA.</p> <p>EL TORTUOSO CAMINO DE LOS ACUERDOS CLIMÁTICOS.</p> <p>FISIOGRAFÍA Y GEODINÁMICA DE LOS ANDES DE COLOMBIA</p> <p>GIRASOLES EMBLEMÁTICOS PARA LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE CALDAS.</p> <p>GEOTECNIA PARA EL TRÓPICO ANDINO.</p>	<p>.GESTIÓN DEL PATRIMONIO NATURAL EN COLOMBIA.</p> <p>GEOMECÁNICA DE LAS LADERAS DE MANIZALES.</p> <p>GESTIÓN DEL RIESGO NATURAL Y EL CASO DE COLOMBIA.</p> <p>HURACANES Y TERREMOTOS ACECHAN.</p> <p>INGENIERÍA, INCERTIDUMBRE Y ÉTICA.</p> <p>MANIZALES: EL FUTURO DE LA CIUDAD.</p> <p>MANIZALES: FORO DEL AGUA 2019.</p> <p>MANIZALES: UN DIÁLOGO CON SU TERRITORIO.</p> <p>MINERÍA METÁLICA SÍ, PERO SUSTENTABLE.</p> <p>LA CÁTÁSTROFE DEL EJE CAFETERO EN UN PAÍS SIN MEMORIA.</p> <p>LA ENCRUCIJADA AMBIENTAL DE MANIZALES.</p> <p>LA GESTIÓN DEL RIESGO.</p> <p>PAISAJE Y REGIÓN EN LA TIERRA DEL CAFÉ.</p> <p>PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CAMPOALEGRE: FASE PROSPECTIVA</p> <p>PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL CUENCA DEL RÍO GUARINÓ: FASE PROSPECTIVA</p> <p>PLAN DE ACCIÓN CENTENARIO SMP MANIZALES: UN DIÁLOGO CON EL TERRITORIO.</p> <p>PLANEACIÓN PREVENTIVA Y CULTURA DE ADAPTACIÓN AMBIENTAL.</p> <p>PRESERVACIÓN AMBIENTAL E HÍDRICA EN EL Y PCC.</p> <p>RIESGO EN ZONAS DE MONTAÑA POR LADERAS INESTABLES Y AMENAZA VOLCÁNICA.</p> <p>SISMOS Y VOLCANES EN EL EJE CAFETERO.</p> <p>TANTO TEMBLOR ¿QUÉ PASA?</p> <p>TERRITORIO Y REGIÓN: CALDAS EN LA ECORREGIÓN CAFETERA.</p> <p>VULNERABILIDAD DE LAS LADERAS DE MANIZALES.</p> <p>VULNERABILIDAD DE RÍO BLANCO FRENTE A LA EXPANSIÓN URBANA.</p>
---	---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Amero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidrovías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidrovías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos “verdes”*

Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

[A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.](#)



Frentes de lava del V N del Ruiz, Colombia. Carlos E. Escobar P

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 07

ROCAS IGNEAS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

7.1.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

GENERALIDADES

Son el fruto de la solidificación del magma, fragmentado o compacto, sobre o en el interior de la corteza terrestre. Esas temperaturas de cristalización oscilan así: para los magmas riolíticos 1000 °C, para los andesíticos 1150 °C y para los basálticos 1250 °C.

La composición mineralógica promedio de las rocas ígneas es: 59% feldespatos, 12% cuarzo, 17% anfíboles y piroxenos, 4% micas y 8% otros minerales.

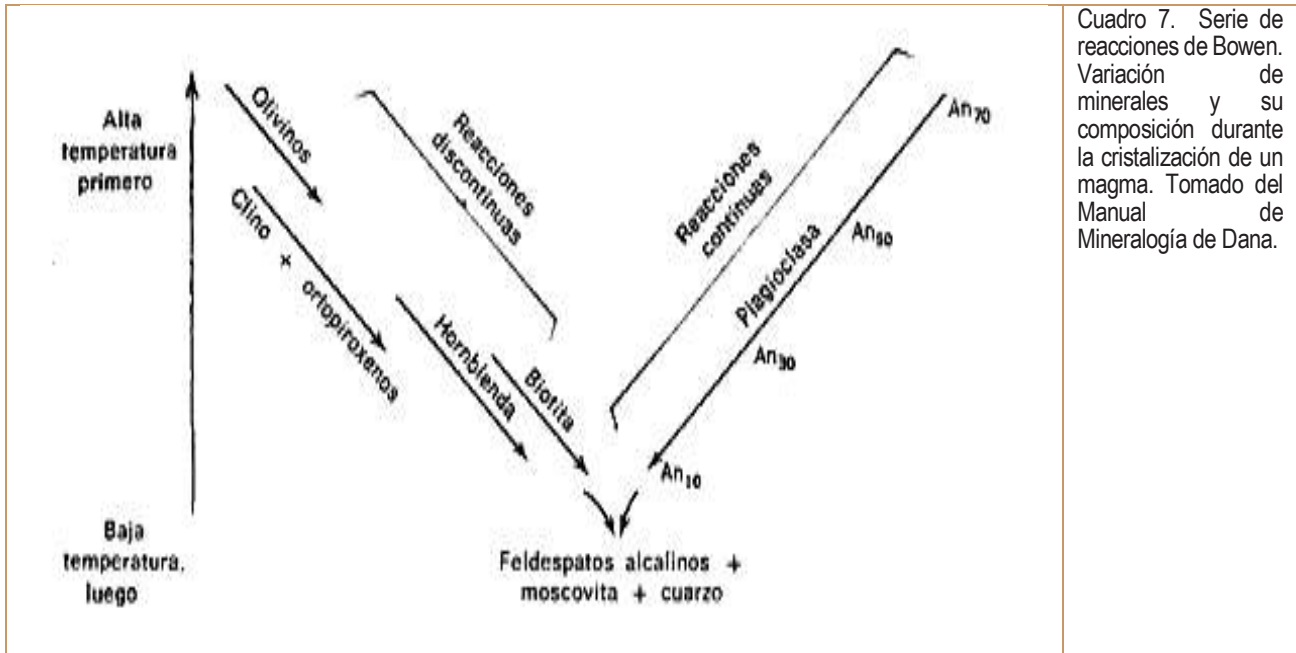
Por el volumen en la corteza, las rocas ígneas representan el 95% contra el 5% de las sedimentarias, aunque estas últimas exhiben mayor afloramiento.

La acción del magma resulta ser la asimilación y fusión de la roca encajante o el fracturamiento y la intrusión de dicha roca. Al fluir a través de ella genera movimientos telúricos por la presión de los gases magmáticos o por la presión del magma mismo.

7.2. ASPECTOS FUNDAMENTALES

7.2.1 Serie de Bowen Define el orden de separación de los silicatos en un magma que se enfría y por un proceso que transcurre en dos líneas independientes, una continua, y otra discontinua que se desarrollan a la vez (ver Cuadro -7). En la parte final, cristalizan los feldespatos alcalinos, la moscovita y el cuarzo.

Las reacciones continuas se inicial con el feldespato cálcico (anortita) y terminan con el sódico (albita), mientras las discontinuas empiezan con los olivinos, continúan con los clinopiroxenos y ortopiroxenos, luego con la hornblenda y finalmente con la biotita.



Cuadro 7. Serie de reacciones de Bowen. Variación de minerales y su composición durante la cristalización de un magma. Tomado del Manual de Mineralogía de Dana.

Según Bowen, con el enfriamiento del magma aparecen primero los ferromagnesianos y plagioclasas y por último el cuarzo; los ferromagnesianos lo harán en el siguiente orden con base en cambios estructurales: por formación de tetraedros individuales aparece el olivino; por formación de cadenas de tetraedros, la augita; por formación de cadenas dobles y a partir de las cadenas simples anteriores, la Hornblenda, y por la unión de láminas de cadenas dobles, la biotita. Contemporáneamente los iones de calcio van siendo sustituidos por iones de sodio, pues ambos elementos tienen radios compatibles, con lo que las plagioclasas evolucionarán en una serie continua, desde la anortita hasta la albita. Posteriormente se formarán el feldespato potásico, la moscovita y por último el cuarzo y las soluciones acuosas, a la menor temperatura.

Enseña Bowen que los primeros minerales formados son los primeros que se meteorizan y los últimos en cristalizar (micas, ortoclasa y cuarzo) son los más resistentes al intemperismo.

7.2.2 Temperatura. La temperatura de cristalización aumenta con la profundidad, por ejemplo el basalto cristaliza a 1250 °C al nivel del mar o a 1450 °C a 30 km. de profundidad, esto pone en evidencia que la presión no parece ejercer gran influencia sobre la temperatura de fusión pues a una presión de 8000 atmósferas correspondientes a 30 Km. de profundidad el punto de fusión varía poco, y su efecto es menor cuando existen volátiles retenidos en el magma, cuyo efecto es contrario al de la presión; la temperatura de cristalización también varía con la composición química del magma, por ejemplo, en la superficie para el magma riolítico es 1000 °C contra 1250 °C del basalto.

7.2.3 Segregación magmática. De un magma se pueden separar cuatro productos diferentes, a saber:

- Los sulfuros líquidos, que requieren un magma rico en azufre y son sólo parcialmente miscibles durante el enfriamiento.
- Los silicatos y óxidos comunes, que originan rocas ígneas ordinarias.
- Los componentes gaseosos que escapan arrastrando hacia las paredes ciertos componentes magmáticos.
- La porción residual líquida, rica en volátiles y fuente de las pegmatitas y menas.

Los mecanismos de segregación son: la miscibilidad limitada, la cristalización fraccionada, la diferencia en concentración y la difusión y convección.

La miscibilidad limitada explica la separación del magma en el estado líquido, fenómeno que según se ha comprobado experimentalmente, no existe para rocas ordinarias y sí entre sulfuros y silicatos comunes.

La cristalización fraccionada se evidencia al observar y analizar las rocas ígneas, de conformidad con la serie de Bowen, a partir de un magma basáltico. Cabe aquí el mecanismo de segregación magmática a través de una cristalización fraccionada, ya por asentamiento de cristales formados ya por escurrimiento del magma líquido. La diferencia en concentración debida a la asimilación de las rocas intruidas,

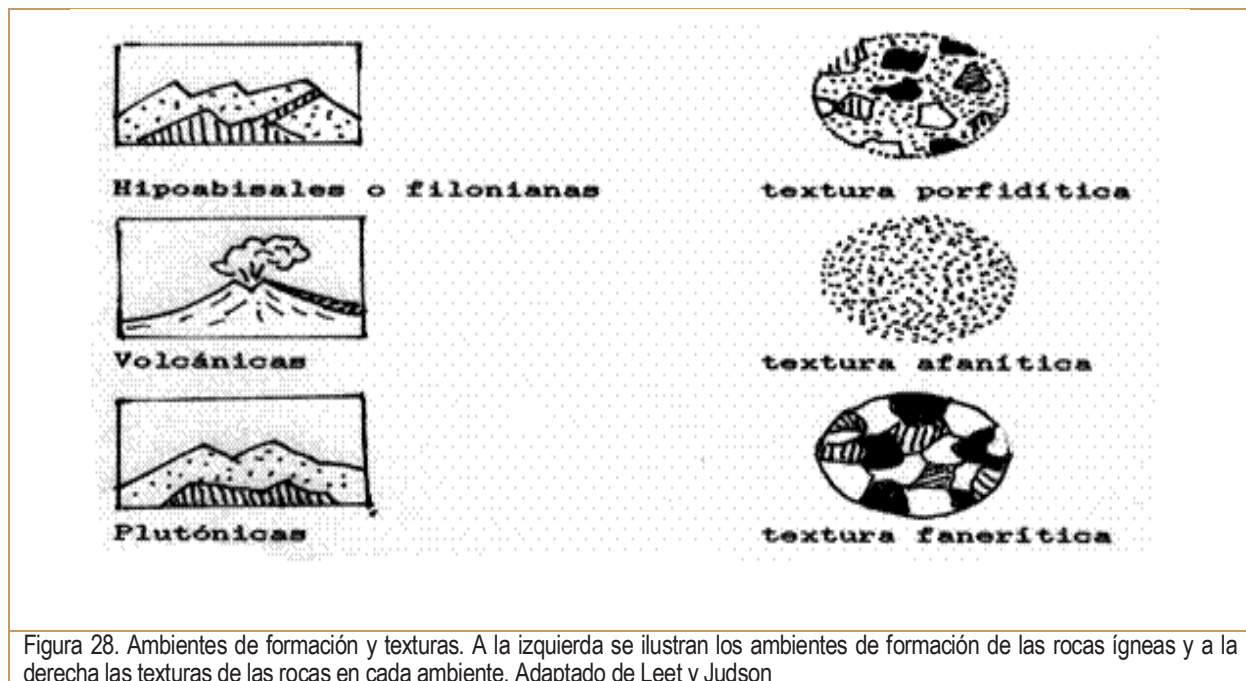
realmente ocurre a gran profundidad, cuando la composición de la segunda es favorable a la reacción (no se trata de metamorfismo de contacto).

La difusión y convección han sido estudiadas como posible manera para la diferenciación magmática. En relación con la convección, según Soret, los componentes de una solución próxima a saturarse tienden a acumularse en las partes más frías que están en equilibrio, resultando la concentración inversamente proporcional a la temperatura absoluta.

7.2.4 Textura. La textura de una roca alude al tamaño, forma, distribución, densidad y disposición de los granos. La textura de la roca ígnea, por depender de la velocidad de enfriamiento, es también función de la profundidad de cristalización del magma.

En general si se puede afirmar que las rocas con minerales de tamaños heterogéneos son más resistentes que las de tamaños homogéneos. Las rocas de textura granular son más resistentes que aquellas que presentan minerales laminares (micas) y fibrosos alineados (anfíboles).

Si la roca es plutónica, los minerales son resistentes y entrelazados y su fallamiento a la acción de los esfuerzos se presenta progresivo porque la resistencia de sus componentes varía.



Si la roca es volcánica, los poros disminuirán su resistencia y rigidez, pero ganará plasticidad.

La textura de la roca ígnea, por depender de la velocidad de enfriamiento, es también función de la profundidad de cristalización.

En general si se puede afirmar que las rocas con minerales de tamaños heterogéneos son más resistentes que las de tamaños homogéneos. Las rocas de textura granular son más resistentes que aquellas que presentan minerales laminares (micas) y fibrosos alineados (anfíboles).

Si la roca es plutónica, los minerales son resistentes y entrelazados y su fallamiento a la acción de los esfuerzos se presenta progresivo porque la resistencia de sus componentes varía.

Si la roca es volcánica, los poros disminuirán su resistencia y rigidez, pero ganará plasticidad.

En general se puede decir que las características ingenieriles más primordiales de las rocas ígneas son su alta resistencia, isotropía, rigidez, fragilidad, densidad, y textura entrelazada, mientras los inconvenientes de estas rocas son el diaclasamiento y la alterabilidad de sus minerales.

La textura granular se denomina holocristalina por estar constituida totalmente por cristales, y puede ser equigranular si todos los cristales tienen casi el mismo tamaño, que generalmente varía entre 2 y 10 mm.

Por regla general estas rocas ígneas son isotrópicas pues los minerales están entrelazados y dispuestos al azar.

Aunque algunas rocas filonianas también presentan textura holocristalina, no resultan equigranulares puesto que se han formado en dos etapas diferentes. Parte de sus minerales han ascendido ya formados, resultando de gran tamaño por los que se les denomina fenocristales, mientras el resto del magma cristaliza más tarde y de manera rápida originando cristales pequeños, generalmente inferiores a 1 mm, que constituyen la pasta de la textura porfídica. Si la matriz domina el conjunto, las propiedades de la roca resultan isotrópicas.

En las rocas volcánicas también suelen presentarse texturas porfídicas con fenocristales rodeados por una pasta de grano generalmente microscópico y a menudo con la presencia de vidrio a causa del enfriamiento muy rápido.

Es frecuente, además, que muestren textura fluidítica y burbujas producidas por el escape de gas. En la medida en que aparezcan minerales alineados, la roca tendrá una mayor ortotropía.

7.3. CRITERIOS DE CLASIFICACION

Cuadro 8. Cuadro simplificado de las rocas ígneas.

Composi-ción	Plutónica	Hipoabisal	Volcánica	Características	
1	Granito	P O R F I D O S	Riolita	ácidas	Claras y menos densas
2	Sienita		Traquita		
3	Grano-Diorita		Dacita	intermedias	
4	Diorita		Andesita	básicas	oscuras y más densas
5	Gabro		Basalto	ultrabásicas	
6	Piroxenita		Augitita		
7	Peridotita		Limburgita		
* Silicatos	Textura Fanerítica	Textura intermedia	textura afanítica		

*Mineral típico: 1 Cuarzo, 2 Ortoclasa, 3 Micas., 4 Plagioclasas, 5 Anfíboles, 6 Piroxenos, 7 Olivinos
 Julio Robledo. Mecánica de suelos, Universidad Nacional, 1990.

Las rocas ígneas se pueden clasificar por el contenido de cuarzo, respecto a tipo de feldespatos (% de feldespatos alcalinos respecto al de plagioclasas), respecto al porcentaje y clase de ferromagnesianos o por la textura.

Para la clasificación debe tenerse en cuenta, además de la composición mineralógica, el ambiente de formación (profundidad), la textura y otras propiedades como densidad y color; a las oscuras y densas que son ricas en ferromagnesianos se les llama rocas básicas o de minerales máficos, mientras que las claras y más ligeras formadas a partir de un magma rico en sílice y aluminio, se les denomina rocas ácidas o de minerales félsicos.

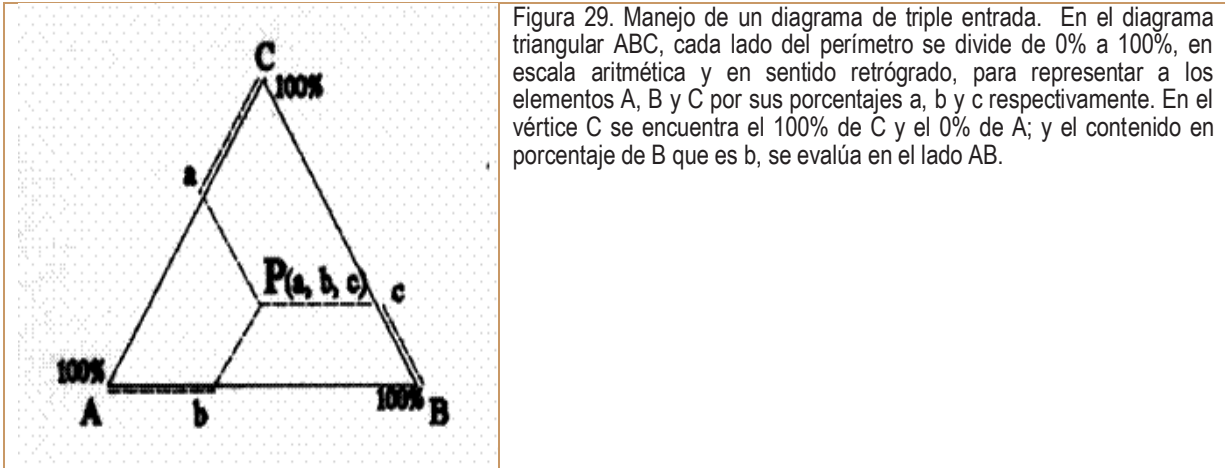


Figura 29. Manejo de un diagrama de triple entrada. En el diagrama triangular ABC, cada lado del perímetro se divide de 0% a 100%, en escala aritmética y en sentido retrógrado, para representar a los elementos A, B y C por sus porcentajes a, b y c respectivamente. En el vértice C se encuentra el 100% de C y el 0% de A; y el contenido en porcentaje de B que es b, se evalúa en el lado AB.

En el diagrama un punto P interior del triángulo es un compuesto que tiene tres coordenadas, a, b y c, leídas sobre cada uno de los lados del triángulo, tal que su suma sea 100%. El punto P (a, b, c) se localiza así: sobre CA marco a, por a trazo paralela al lado BC; sobre AB marco b, por b trazo paralela al lado AC, y sobre el lado BC marco c y por c trazo paralela al lado AB. Las tres paralelas se encuentran en un único punto p, cuando $a+b+c=100\%$.

Según la proporción de sílice (SiO_2), las rocas ígneas pueden ser ácidas, cuando este componente se encuentre en exceso y, tras combinarse con todos los demás, queda en cantidad suficiente para cristalizar dando cuarzo; intermedias, cuando hay suficiente sílice para combinarse con los demás componentes, pero no queda en exceso; y básicas, cuando presentan déficit de sílice y no aparece cuarzo. Existen todavía rocas más pobres en sílice que las básicas y son las ultrabásicas, rocas estas características del manto.

7.3.1 **Clasificación de Streckeisen.** La denominación más precisa de las rocas conforme aumenta el contenido de sílice y cae la densidad, es el siguiente: ultrabásicas, con menos del 45%; básicas, del 45 al 52%; intermedias, entre el 52 y el 66%, y ácidas, más del 66%.

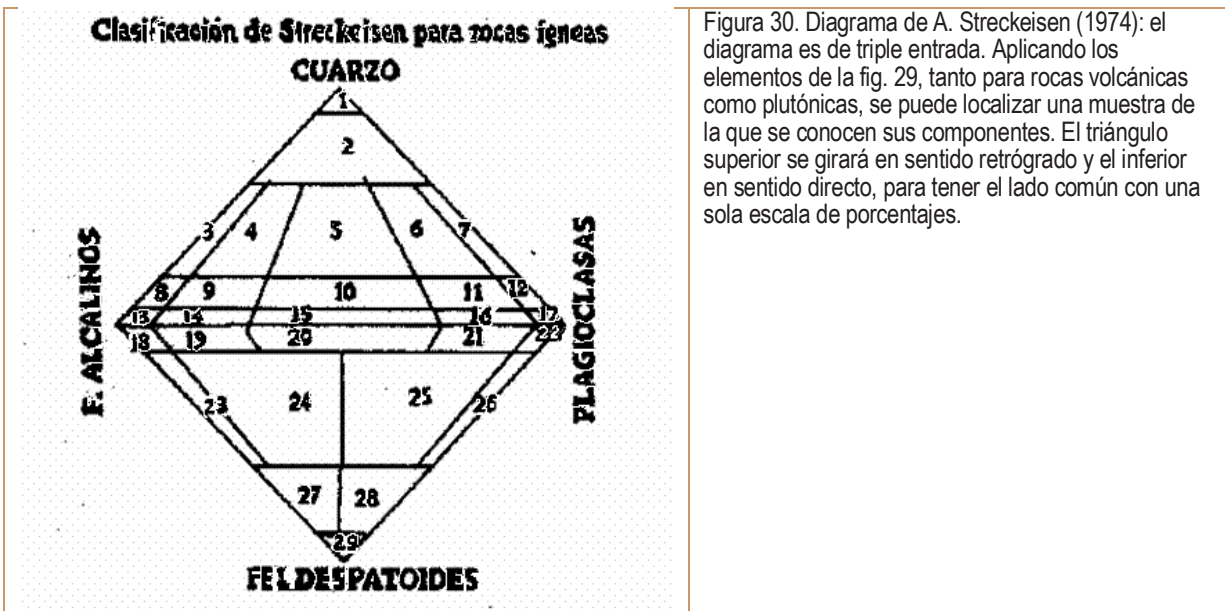


Figura 30. Diagrama de A. Streckeisen (1974): el diagrama es de triple entrada. Aplicando los elementos de la fig. 29, tanto para rocas volcánicas como plutónicas, se puede localizar una muestra de la que se conocen sus componentes. El triángulo superior se girará en sentido retrógrado y el inferior en sentido directo, para tener el lado común con una sola escala de porcentajes.

La fig. 30 muestra hasta 29 rangos de rocas, todas con feldespatos, en donde los 17 primeros tienen, entre sus componentes, al cuarzo y los doce siguientes a los feldespatoides. Para **rocas volcánicas**, (ver fig. 30): 3 riolita alcalina, 4 riolita, 5 riodacita, 6 dacita, 7 cuarzoandesita, 8 cuarzoatraquita alcalina, 9 cuarzoatraquita, 10 cuarzolita, 11 cuarzolita andesítica, 12 cuarzoandesita, 13 traquita alcalina, 14 traquita, 15 latita, 16 latita basáltica, 17 andesita o basalto toleítico, 22 andesita o basalto alcalino, 23 fonolita, 24 fonolita tefrítica, 25 tefrita fonolítica, 26 tefrita olivínica, 27 y 28 foidita fonolítica y tefrítica, 29 nefelinita leucitita.

Para **rocas plutónicas**, (ver fig. 30): 1 cuarzolita (silexita), 2 granitoides cuarzosos, 3 granito de feldespato alcalino, 4 y 5 granito, 6 granodiorita, 7 tonalita, 8 cuarzo-sienita de feldespato alcalino, 9 cuarzo-sienita, 10 cuarzo-monzonita, 11 cuarzo-monzodiorita, 12 cuarzo-diorita o cuarzo-anortosita o cuarzo-gabro, 13 sienita de feldespato alcalino, 14 sienita, 15 monzonita, 16 monzo-diorita o monzo-gabro, 17 diorita, 18 sienita de feldespato alcalino con contenido de foideos, 19 sienita con contenido de foideos, 20 monzonita con contenido de foideos, 21 monzo-diorita o monzo-gabro con contenido de foideos, 22 diorita o gabro con contenido de foideos, 23 sienita feldespatoidea, 24 monzo-sienita feldespatoidea (plagio-sienita), 25 monzo-diorita o monzo-gabro feldespatoideo, 26 diorita o gabro feldespatoideo (teralita), 27, 28 y 29 foidolita.

7.4. PAISAJE IGNEO

7.4.1 Yacimientos. Las rocas ígneas pueden aparecer en yacimientos primarios cuando no han sido dislocadas por eventos tectónicos, ni transportadas de su lugar de origen; en el caso contrario se hablará de secundarios.

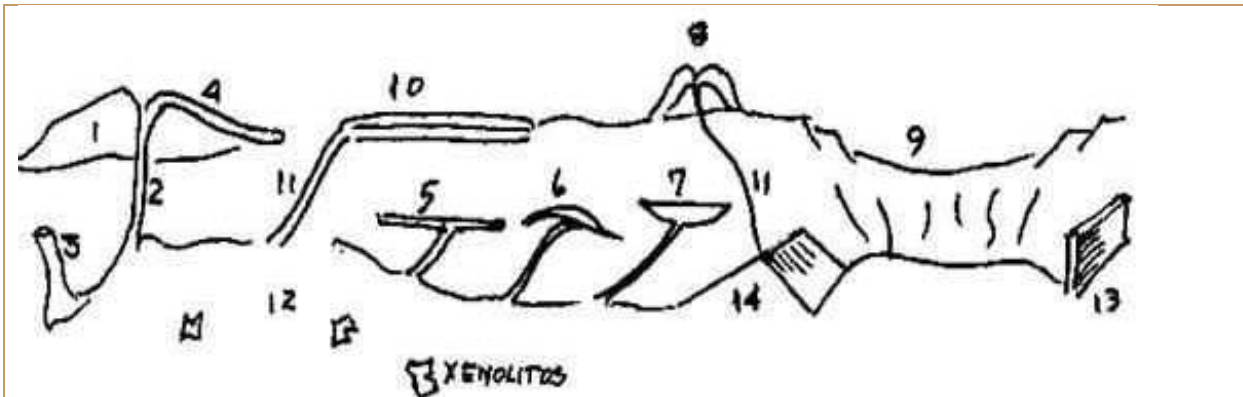


Figura 31. Paisaje ígneo. 1. Volcán, 2. Conducto, 3. Tronco, 4. Frentes lávicos, 5. Manto o placolito 6. Lacolito, 7. Lapolito, 8. Domo, 9. Caldera, 10. Meseta lávica, 11. Fisura, 12. Stock (o batolito) con inclusiones (xenolitos), 13. Dique, 14. Cúpula. Adaptado de La Tierra, Salvat, y de La Tierra, Círculo de Lectores.

Los yacimientos pueden ser masivos como en el caso de los plutones, derrames y extrusiones, o pueden ser de roca fragmentaria como las capas y los depósitos de explosión (mantos volcánicos, tobas e ignimbritas).

7.4.1.1 Tefras. En los depósitos de material fragmentado, transportado por el aire, los productos de caída forman capas que siguen las irregularidades topográficas del terreno; aquí los fragmentos pueden endurecerse por percolación del agua en el subsuelo o también pueden mostrar sinterización (soldadura) por calor propio.

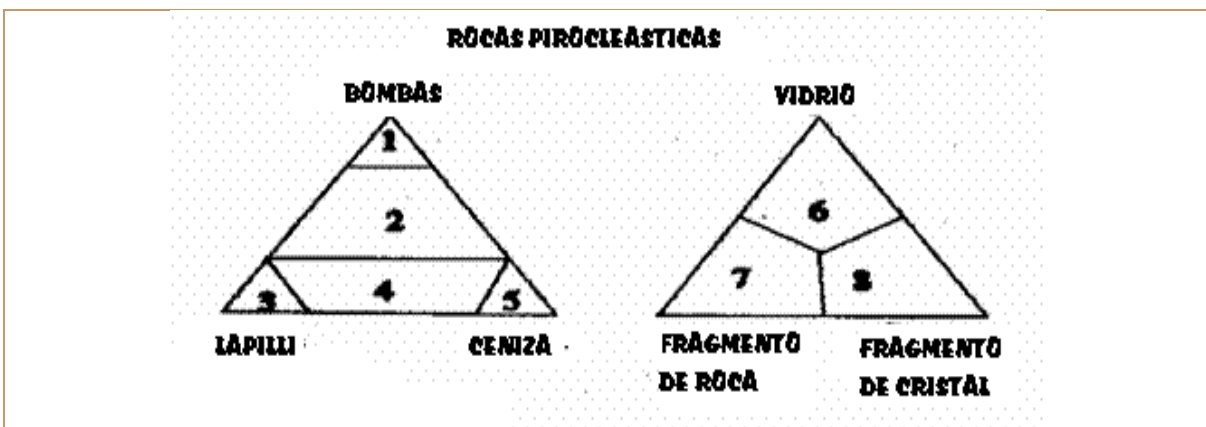


Figura 32. La clasificación de las rocas piroclásticas puede hacerse según el tamaño (izquierda) o la naturaleza de los constituyentes (derecha), así: 1. Brecha piroclástica, 2. Brecha tobácea, 3. Lapillstone, 4. Toba de lapilli, 5. Toba (tuff), 6. Tobas vítreas, 7. Tobas líticas, 8. Tobas cristalinas. Curso de petrología, J. L. Naranjo.

De otro lado los depósitos de flujos piroclásticos se endurecen como tal y las partículas resultan sinterizadas por calor residual de las nubes; así, se llamarán entonces tobas si son depósitos endurecidos de cenizas volcánicas y brechas volcánicas si el depósito endurecido

presenta escorias en una matriz de lapilli y cenizas, y finalmente aglomerado o conglomerado volcánico, el primero con bloques angulosos y el segundo con bloques redondeados en una matriz fina, siendo todo el material de origen volcánico

7.4.1.2 Derrames lávicos. El depósito de flujos lávicos, endurecidos por enfriamiento, (lavas solidificadas) recibe los nombres de:

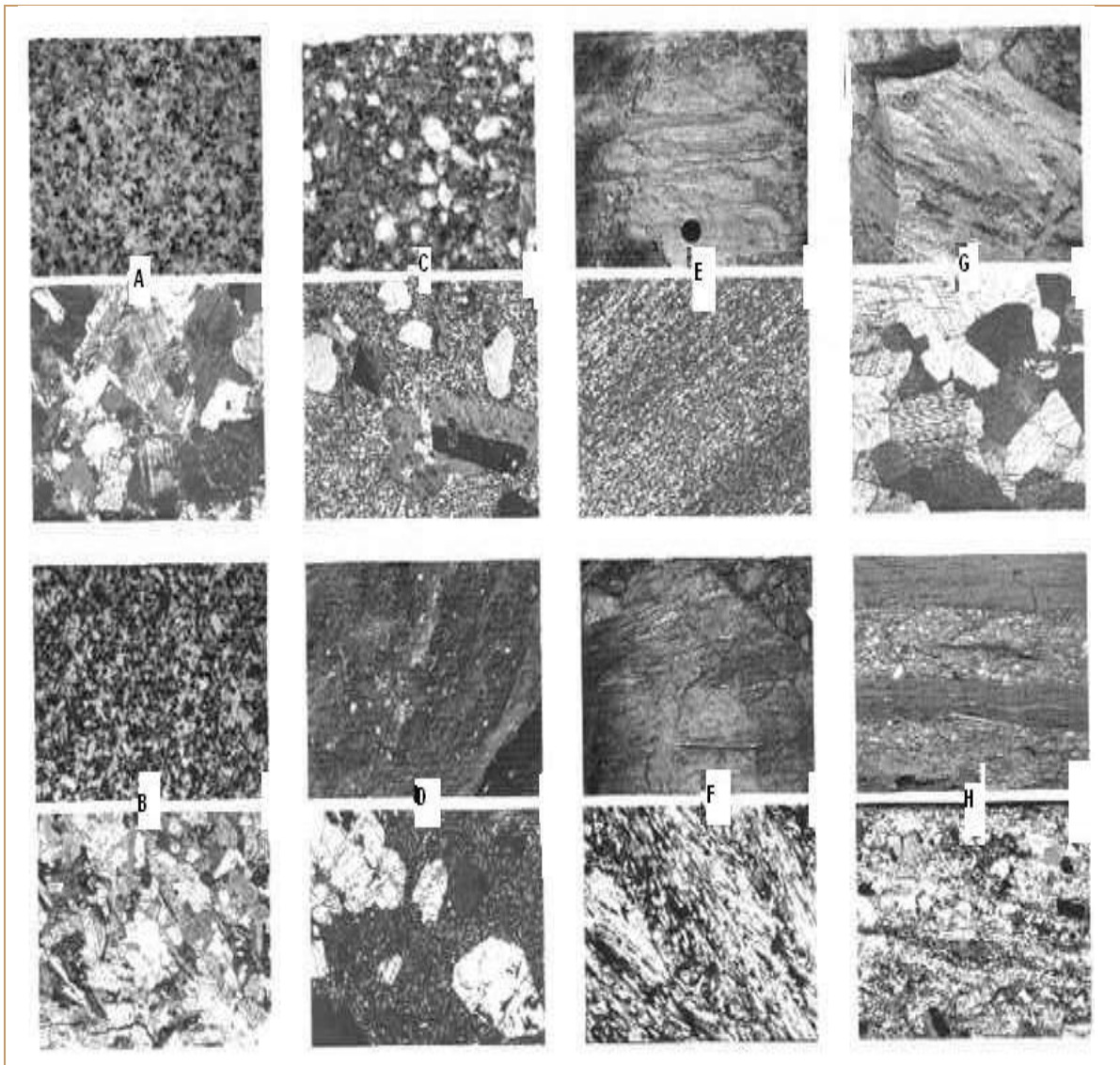


Figura 33. Anexos petrográficos. Se muestran aspectos al natural (Arriba) y al microscopio (Abajo) de diferentes rocas: A granito, B diorita, C pórfido, D basalto, E pizarra, F micaesquisto, G mármol, H gneis. Atlas de Geología. Durán-Gold-Taberner.

- **Lavas columnares.** Los flujos de lavas fluidas generan lavas columnares; en donde las columnas son perpendiculares a la dirección del flujo y tienen sección pentagonal, o hexagonal preferiblemente. Se explica la disposición de las columnas debido a que las disyunciones de contracción son perpendiculares a la onda térmica de enfriamiento del flujo.

- **Lavas en bloques.** Formadas a partir de lavas viscosas que se fracturan en bloques gracias a la presión de los gases que escapan y al empuje que, desde atrás, generan los derrames más tardíos.

- **Lavas cordadas.** Las generan las lavas fluidas. El retorcimiento del flujo y el temprano endurecimiento de su superficie explican las arrugas externas. Endurecida la costra el interior del flujo aún caliente la lava en su movimiento abandonará la costra favoreciendo la formación de túneles.

- **Lavas almohadilladas.** Son lavas marinas con estratificación de las formas en almohada y fracturamiento radial del conjunto. A través de estas fracturas emergen o aparecen los almohadones o almohadillas de segunda generación que sepultan a los de la primera generación.

7.4.2 Estructuras internas. Próximas a la superficie y con desarrollo horizontal está el Placolito o manto, el Lacolito y el Lapolito, los tres son plutones con profundidad superior e inferior conocida. De esta misma categoría, pero con desarrollo vertical tenemos el tronco, el dique y la cúpula. De todas ellas las más connotadas son el manto o placolito y los diques. Las estructuras más profundas son el Stock y el Batolito, masas con profundidad superior conocida, pero sin profundidad inferior conocida; la diferencia entre uno y otro es solamente el tamaño, si en superficie cubre un área de menos de 100 Km.² es Stock y si el área es mayor de 100 Km.² se denomina Batolito.

7.4.2.1 Características de los batolitos. Hoy se acepta el origen ígneo de los batolitos como también el fenómeno de granitización explicado por soluciones magmáticas que invaden la roca encajante haciendo intercambio iónico; se acepta incluso el origen mixto y la posibilidad de que el batolito se forme en una actividad poligénica. Las características de los batolitos son:

- Están asociados a las cordilleras.
- Se extienden paralelos a las cordilleras.
- Se forman después del plegamiento, pero no son causa de ello.
- Tienen techo cóncavo escalonado y presentan xenolitos, es decir, inclusiones extrañas, embebidas en el magma.
- Tienen constitución granítica, granodiorítica o cuarzdiorítica, pero homogénea.
- Aparecen reemplazando grandes volúmenes de roca, pero no aparecen los volúmenes desplazados, de ahí surge el misterio ígneo: ¿son magmas cristalizados, o por el contrario, son fruto de un metamorfismo de granitización?
- Tienen gran volumen de rocas sin profundidad inferior conocida y una extensión mayor de 100 Km. cuadrados.

Para ilustrar el ambiente, disposición y densidad de estos cuerpos, estos ejemplos de Stocks vecinos al del VN del Ruiz: por el E de la Cordillera Central los de Norcasia (Caldas), Mariquita y Hatillo (Tolima); por el W los de Manizales (edad 56 Ma), Aranzazu y Arma (Caldas). Y como ejemplos de batolitos vecinos al Ruiz: al S los de Ibagué y El Bosque (Tolima), y al N el Antioqueño (edad 100 Ma) y el de Sonsón (edad 60 Ma), ambos cubriendo 9 mil km.². Según la distribución espacial y temporal, al parecer la actividad emigró de N a S. Merece también mención el batolito de Santa Marta, asociado a la Sierra Nevada, como otros cuerpos menores de la Cordillera Central, los stocks San Diego, La Unión, Altavista, El Pescado, Cambumbia, El Atillo y La Tolda.

7.4.3 Estructuras vulcanogénicas. El relieve volcánico es el resultado del magmatismo que tiene un doble carácter, es constructivo y destructivo simultáneamente. El nombre de la acumulación de los productos magmáticos aparecidos en superficie es el de edificio o aparato volcánico cuya vulnerabilidad a los agentes erosivos depende de sí lo constituyen rocas masivas o masas fragmentadas. Será resistente si el proceso magmático es el efusivo, (derrame) tan frecuente cuando el magma es pobre en sílice; y será frágil si la construcción vulcanogénica procede de explosiones (magma pulverizado) lo que resulta frecuente en magmas viscosos. Las estructuras se denominan así:

7.4.3.1 Mesetas de basalto. Son estructuras asociadas a derrames fisurales típicos de magmas básicos o fluidos con espesores del orden de los km. y extensiones del orden de los miles de km. cuadrados.

7.4.3.2 Escudos. Son construcciones derivadas de un vulcanismo de conducto; el edificio de gran base resulta con pendientes suaves, pues dicha acumulación se asocia a derrames y no a explosiones, es decir, a magmas básicos o fluidos; la construcción es maciza y por regla general está coronada de un lago da lava (cráter), ejemplos, Paramillo de Santa Rosa, Nevado del Huila y Mauna Loa. La suave pendiente del paramillo de Santa Rosa anuncia el tipo de edificio volcánico

7.4.3.3 Estratovolcanes. Son edificios altos y grandes como el Fuji, Tolima, Vesubio y Ruiz; de paredes más abruptas que el anterior y menor base, con cráteres parásitos en ocasiones; son el producto de alternadas explosiones y efusiones por lo que su nombre anuncia la alternancia de capas de piroclastos y derrames solidificados. Desde un punto de vista general los estratovolcanes son formas particulares de volcanes compuestos, y se asocian a magmas intermedios.

7.4.3.4 Conos Cineríticos. Asociados a magmas viscosos e intermedios, son acumulaciones no muy grandes donde la base y la altura se regula por la fricción del cinder o magma pulverizado que las forma (piroclasto); son de pendiente fuerte y muy vulnerables a la erosión; se forman por fases explosivas y prolongadas.

7.4.3.5 Domos volcánicos. Otra estructura de conducto como las anteriores; se asocia a magma viscoso. Este elemento constructivo del relieve, carente de cráter (volcán fracasado) se explica por procesos extrusivos, ejemplos: Sancancio, El Plato, Alsacia, etc.

La presencia de domos volcánicos dispuestos en forma areal, entre Cerro Bravo y el Ruiz, parece anunciar un fracturamiento bidimensional del basamento; también, el alineamiento de domos al este de Sancancio, se correlaciona con la falla Villa María-Termal del Ruiz

Al examinar la condición equialtitudinal de Sancancio, el alto de Chipre y Villa Kempis (2222msnm), se advierte que la presión litostática causante del levantamiento compresional de los bloques del Escarpe de Chipre, también explica la extrusión magmática del domo Sancancio.

7.5. ALGUNOS TERMINOS Y DEFINICIONES

- **Anortosítica.** Masa que se está formando por rocas magmáticas intrusivas ricas en plagioclasa cálcica y algo de olivino. La anortosita es típica de Escudos Precámbricos.

- **Criptocristalina.** Textura más fina que la microcristalina, donde los cristales no pueden verse sin un potente microscopio.

- **Cúmulo-volcán.** Formación obtenida cuando las lavas son muy viscosas y no llegan nunca a desparramarse para formar coladas. Se solidifican a la salida del cráter formando esbeltas agujas o pitones, como en Monte Pelado, Martinica.

- **Diatrema.** Chimenea volcánica que se ha cortado a través de rocas estratificadas, a consecuencia de una erupción explosiva.

- **Felsita.** Roca ácida félsica; nombre genérico de las rocas ácidas útil cuando se hace difícil su diferenciación.

- **Granófiro y aplita.** Pórfidos siálicos ricos en cuarzo y feldespato potásico.

- **Holocristalina.** Textura completamente formada de cristales, sin ningún material vítreo.

- **Igneslunitas.** Flujos piroclásticos nacidos de un flujo lávico colapsado o de flujos de cenizas; generan depósitos de cenizas refundidas llamados tobas.

- **Ignimbritas.** Partículas refundidas y soldadas originadas a partir de una nube ardiente y densa de gran potencia.

- **Lahares.** Avalanchas fangosas de material piroclástico removido por aguas lluvias o de otra procedencia (deshielo, lagos, etc.). Se dividen en primarios, por deshielo y secundarios, por lluvias y ceniza.

- **Lamprófiro y diabasa.** Pórfidos siálicos o félsicos; es decir, ácidos ricos en cuarzo y ortoclasa.

- **Leucócratas.** Denominación para las rocas ácidas o félsicas a causa de sus tonos claros; por oposición, a las básicas se les dice melanócratas, por tener minerales oscuros o máficos.

- **Maar.** Pequeños volcanes formados por los productos de explosiones volcánicas que han sido depositados en forma anular alrededor del cráter.

- **Obsidiana.** Vidrio volcánico; roca oscura y ácida con fractura concoidea y brillo vítreo explicada por el enfriamiento súbito del magma.

- **Placa tectónica.** Porción de la superficie terrestre que se comporta como una unidad rígida simple. Puede estar formada por corteza continental, oceánica o por ambas y se ubican sobre una capa del manto superior. Las mayores son siete (Africana, Euroasiática, Indoaustraliana, Pacífico, Norteamericana, Sudamericana y Antártica).

- **Pegmatita.** Roca ígnea de grano grueso (como el granito) que ha permitido en su interior dar cuerpo a la formación de minerales a partir de soluciones hidrotermales mineralizadas (por ejemplo, la ortoclasa y el cuarzo); su composición es siálica o félsica, típica de diques y mantos (placolitos).

- **Piroclastos** (fragmentos de fuego). Pueden ser tefras, si son piroclastos estratificados no consolidados y de ambiente subaéreo, o hialoclastitas si son piroclastos estratificados no consolidados y de ambiente submarino.

- **Pumita.** Roca volcánica ligera con estructura vesicular por acción de los gases; es ácida como la obsidiana y el granito y es producto de la espuma magmática.

- **Rift** (grieta). Aquí la estructura es un hundimiento longitudinal limitado por dos fallas.

- **Zona de Beniof.** Superficie inclinada de actividad sísmica, característica de arcos insulares y márgenes continentales activos. Su ángulo de buzamiento, que es hacia el continente, está comprendido entre 30 y 80.

- **Zona de divergencia.** Zona de separación en un margen constructivo de placas. Región donde dos placas se apartan, como por ejemplo en una dorsal.

7.6. EJEMPLOS DE ROCAS ÍGNEAS EN COLOMBIA

Según el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (Ingeominas, 1986) y otras fuentes, estos son algunos ejemplos de yacimientos ígneos de nuestro país.

La cresta de Malpelo, con lavas almohadillas, brechas volcánicas, diques basálticos y hialoclastitas, representa una porción de la corteza oceánica excesivamente gruesa, cuya antigüedad es de 19 Ma (millones de años).

Un complejo migmatítico asociado al magmatismo básico del proterozoico, se localiza al sur del río Guaviare y presenta variaciones desde alaskitas hasta monzonitas. También se encuentran sienitas en San José del Guaviare de 480 Ma. de antigüedad, y aspecto granítico y holocristalino.

Se pueden distinguir los granitos del migmatítico de Mitú, de finales del proterozoico medio (1500 Ma.). Además, un granito de color rosado-naranja y grano muy fino a fino, aflora al oeste de la población de Pescadero, Santander.

En Cáceres (Cundinamarca) y Puerto Romero (Boyacá), afloran intrusiones básicas gabroides del cretácico, que afectan las sedimentitas. También en el cerro Tragarepas de Pacho (Cundinamarca).

Donde la carretera Albania-Bolombolo cruza la quebrada Popala (Antioquia), y en el Cauca sobre los alrededores de Fredonia, aparecen basaltos de textura afanítica a porfídica y composición diabásica.

En la isla de Providencia, las vulcanitas están representadas por lavas alcalinas a subalcalinas como son los basaltos, andesitas y riolitas ignimbríticas; todas asociadas a un vulcanismo en fracturas de la capa del Caribe, ocurrido durante el Terciario.

Un stock diorítico intruye la Formación Quebradagrande, al norte y sur de Heliconia y al este de Ebéjico (Antioquia). Los pórfidos de Irra y los de Salento tienen composición andesítica-dacítica y textura porfídica.

En el Complejo Ofiolítico del Cauca afloran gabros, piroxenitas y serpentinitas. A la altura de Marmato y por los dos márgenes del Cauca, los pórfidos son dacíticos y andesíticos.

Las tobas del Juanambú, Cauca, son depósitos formados por cantos de andesitas, lapillis y cenizas, acumulados bajo un régimen fluvio-lacustre.

En los alrededores de la población de Honda, Tolima, está la formación Mesa del terreno Cajamarca, cuya litología muestra una unidad estratificada constituida por material volcánico -representado por andesitas, dacitas, pumitas y cenizas volcánicas- y un conglomerado de filitas. Le suceden estratos sedimentarios.

En Málaga, Santander, en los alrededores de Onzaga y Páramo de Canutos, se encuentran riolitas grises; algunas tienen textura porfídica y otras, textura de flujo. En el morro del Salvador o el volcán Boyacá, al sur de Paipa, se observan tobas y rocas ígneas andesíticas y pórfidos, andesíticos y dacíticos, caolinizados.

Un gabro piroxénico con textura variable entre porfídica y afanítica, aflora al oriente de Altamira y en la quebrada el Moro, Antioquia. Una pegmatita aflora en la vereda la Laguna, municipio San Antonio (Tolima). Tonalitas del Cretácico afloran en la Sierra de la Iguana, al norte de San Jerónimo, Antioquia.

En los terrenos insulares del Pacífico, tenemos el complejo ígneo de Gorgona con una secuencia de peridotitas, dunitas y gabros, donde se da una secuencia ígnea de rocas máficas y ultramáficas que incluye flujos basálticos almohadillados y rocas tobáceas. También afloran peridotitas al suroccidente de Planeta Rica.

Al sureste de Ibagué vecino al río Combeima, en la vereda Potrerillo, aparece el volcán Guacharacos, cuyo cono está constituido por lavas y productos de explosión, sobreyace el Abanico de Ibagué. Las rocas son basaltos andesíticos y el evento al parecer, Pleistoceno tardío.

Las lavas y pórfidos asociados al volcán nevado del Huila, son andesitas y dacitas.

También en su área de influencia se encuentra el Batolito de La Plata, con rocas dioríticas, cuarzodioríticas y granodioríticas.

7.7. EL DESASTRE DE ARMERO A LOS 30 AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL RUIZ

HIPÓTESIS PARA EL PREFACIO

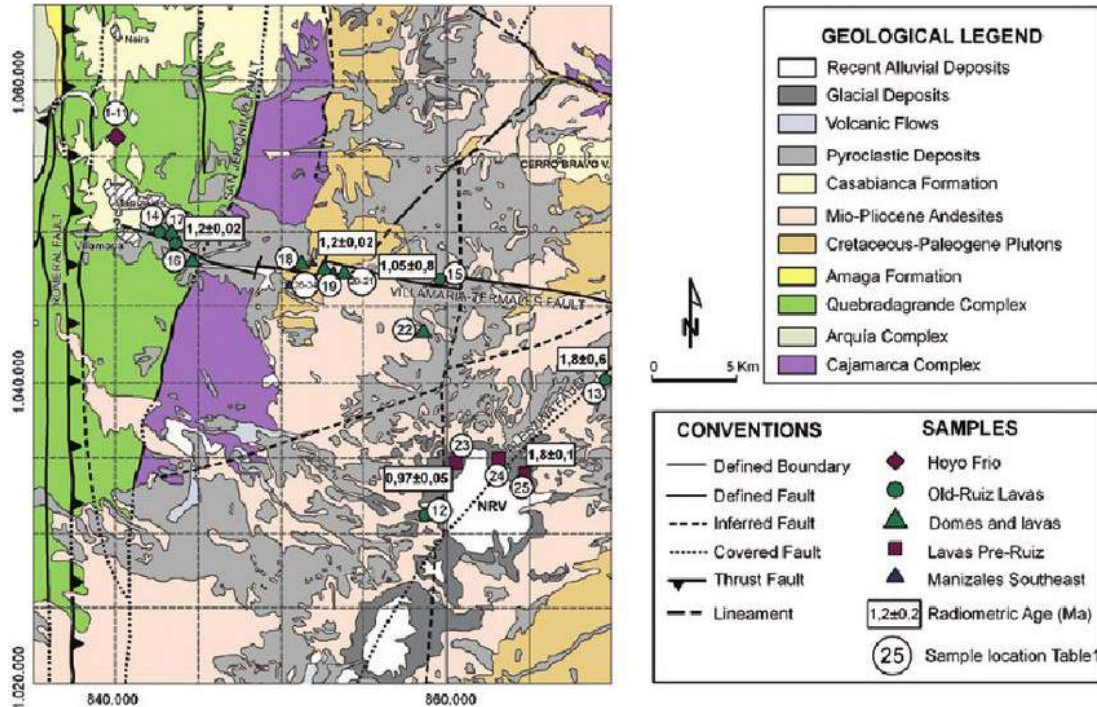


Imagen 37. Mapa geológico del área del Volcán Nevado del Ruiz: ubicación y edades de domos y flujos de lava según Thouret et al 1990. Geología de INGEOMINAS modificada por Borrero et al.

Una vez más estas notas para conmemorar una dolorosa fecha como la destrucción de Armero, con la intención de hacer una lectura de la coyuntura previa a la erupción del Ruiz del 13 de noviembre de 1985, de la que se deriven lecciones a partir de las experiencias científicas en torno a un desastre que según mi convicción pudo ser por lo menos mitigado, a pesar de que para entonces el Estado no contaba con políticas ambientales ni de planificación ligadas a la dimensión de los riesgos, y que nuestra sociedad tampoco había desarrollado esa cultura que demanda la apropiación del territorio buscando su adaptación a las amenazas naturales.

Al estar desprovistos de instrumentos que proveyeran la capacidad efectiva de intervenir, se dejó a su suerte a decenas de miles de pobladores expuestos y en sumo grado vulnerables, sobre un escenario severamente amenazado por una erupción claramente anunciada, y donde las acciones locales y nacionales de los diferentes actores sociales, resultaron asimétricas, fraccionadas e insuficientes.

Si bien ese es el fundamento de la hipótesis que presento, a mi juicio existieron otros factores contribuyentes, cuya intervención pudo desmovilizar o neutralizar de forma oportuna los precarios activos del Estado dispuestos para prevenir la tragedia.

Entre ellos, las ideas que me asaltan, discutibles si se quiere por quedar en el plano de las impresiones, es que pudieron más los intereses locales de quienes preocupados por la economía, reclamaban la “desgalerización” de la ciudad – término ahora aplicado en Pasto frente a las crisis del volcán Galeras-, y la irresponsabilidad de funcionarios claves justificándose en flacas y tardías acciones que desatendieron las oportunas recomendaciones de calificados expertos de UNDR0, para terminar calificando de apocalíptico el clamor de notables líderes locales, entre otros factores que finalmente restringieron al ámbito académico las inequívocas señales del volcán, tales como la cenizada del 11 de septiembre de 1985, además de la información obtenida de la historia eruptiva del volcán y del mapa preliminar de amenazas elaborado un mes antes de los acontecimientos, entre otras tareas así provinieran de un grupo inexperto del que hicimos parte al lado de varios compañeros que hoy faltan, tras haber entregado su vida en acciones científicas al servicio de la sociedad.

En dicha historia, la del volcán, el insigne investigador Jesús Emilio Ramírez S.J. en su obra Historia de los Terremotos de Colombia (1983), describía las erupciones del Ruiz de 1595 y 1845, dando cuenta de sendos flujos de lodo que se esparcen en el valle de salida del Lagunilla, hechos que coincidirán con lo acaecido en 1985, sólo que para entonces no existía la población de Armero, la que fuera fundada en 1895. Los trabajos de Darrel Herd (1974), sobre vulcanismo y glaciación del complejo volcánico sumados a los de Franco Barberi para la investigación del proyecto geotérmico del cual participé, definitivamente le daban cimientos a las proyecciones del riesgo derivadas del reconocimiento histórico del Padre Ramírez.

Si bien el motivo que nos congrega en cada efemérides es reflexionar para construir como colectivo, mi aporte partirá de lo que ya he consignado hace diez años para similar propósito, en “Las lecciones del volcán del Ruiz a los 20 años del desastre de Armero” (2005), de nuevas reflexiones hechas a partir de la lectura de los desastres naturales que continúan surgiendo en la geografía de nuestro

convulsionado país, además de las experiencias ya vividas con la coyuntura volcánica en los dramáticos sucesos de 1985, e incluso las acumuladas desde el año 1979 cuando participaba de las investigaciones del potencial geotérmico del complejo volcánico Ruiz T.

EL ALBA DE LA COYUNTURA

Para empezar, un poco de historia sobre los antecedentes, correspondiente a un primer período de esas inequívocas señales entregadas por el volcán, el de los meses previos a la erupción freática del 11 de septiembre de 1985, y en especial a la erupción magmática del 13 de noviembre de 1985.



Imagen 38. Cráter Arenas del Volcán Nevado del Ruiz. Ingeominas

La reactivación del Volcán Nevado del Ruiz se anuncia desde el 22 de diciembre de 1984 con ruidos y sismos locales, olores a azufre y manchas amarillas en la nieve, y las primeras advertencias llegan a Ingeominas iniciando 1985 con las recomendaciones de John Tomblin como responsable de la entonces Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres -UNDRO-, invitado para el caso a Colombia. Dos meses después se publica la noticia en el diario local La Patria, donde se dan a conocer los hechos, advirtiendo que la actividad de las fumarolas no era motivo de alarma.

El 23 de marzo de 1985 realizamos un seminario abierto y concurrido en el Aula Máxima de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en el que se informa sobre una reactivación del Volcán, sus erupciones históricas y los riesgos, y los posibles eventos esperados frente a una erupción.

Todo esto se consigna en el Boletín de Vías y Transportes N°53, donde se publica el resultado de una labor científica previa adelantada en el volcán por nuestro grupo de trabajo, compuesto por expertos voluntarios, profesores de las universidades Nacional y de Caldas, y miembros del Departamento de Geotermia de la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC, labor cuyo propósito era mapear el cráter activo, describir la actividad fumarólica, generar una información adecuada para dar respuesta a las crecientes inquietudes de la comunidad y sugerir lo que fuera del caso.

En mayo se recibe la visita del científico Minard Hall como delegado de UNDRO, quien reclama de nuevo la atención a las anteriores recomendaciones de dicha organización, expresa su preocupación por la persistente actividad del Ruiz, y de paso señala la necesidad de acometer una gestión para la atención oportuna del riesgo priorizando las zonas habitadas, tras mostrarnos en el lugar el potencial de flujos de lodo del edificio volcánico, asociado a la presencia de los glaciares y materiales de arrastre disponibles.

En julio, cuando ya se empieza a percibir el olor a azufre en Manizales, luego de intentar infructuosamente durante los meses precedentes obtener unos sismógrafos para iniciar el monitoreo del Volcán, y de haber recurrido al Cuerpo Suizo de Socorro para conseguirlos por otra vía gracias a una gestión iniciada por Hans Meyer, se establece Ingeominas aportando los cuatro sismógrafos y justificando su tardanza en la dificultad que tuvo para conseguir las piezas de repuesto; el hecho en sí y la precaria justificación permiten mostrar la importancia que se le daba al asunto en Bogotá.

En agosto llega el científico Bruno Martinelli como respuesta del Cuerpo Suizo de Socorro a una solicitud del Gobernador de Caldas y del Alcalde de Manizales, tras un mes de preparativos en el cual se decidió desarrollar la tecnología buscando adaptar los sismógrafos para operar en ambientes a temperaturas bajo cero grados, lo que suponía hacer uso de la electrónica militar. Indudablemente estos meses perdidos al lado de la inexperiencia que nos asistía, será una de las causas más relevantes en el trágico desenlace de los acontecimientos. Para información de ustedes, varios de los que actuábamos éramos de algún modo parte del equipo organizado desde 1979 por Ariel César Echeverri, con la misión de investigar el potencial geotérmico del Ruiz; la mayoría ingenieros con 500 horas de instrucción en Geofísica entre los años 1983 y 1984 impartida por eminentes profesores de las escuelas italianas de Nápoles y Pisa, y dos entre los miembros del grupo, con estudios en Geotermia. Del equipo hacíamos parte entre otros, Néstor García Parra QEPD, la geóloga Marta Lucía Calvache y Bernardo Salazar Arango como miembros del Departamento de Geotermia de la CHEC, además del grupo de geoquímica de aguas termales de la Universidad Nacional liderado por la Profesora Adela Londoño Carvajal.

LUCES Y SOMBRAS DE LA TRAGEDIA

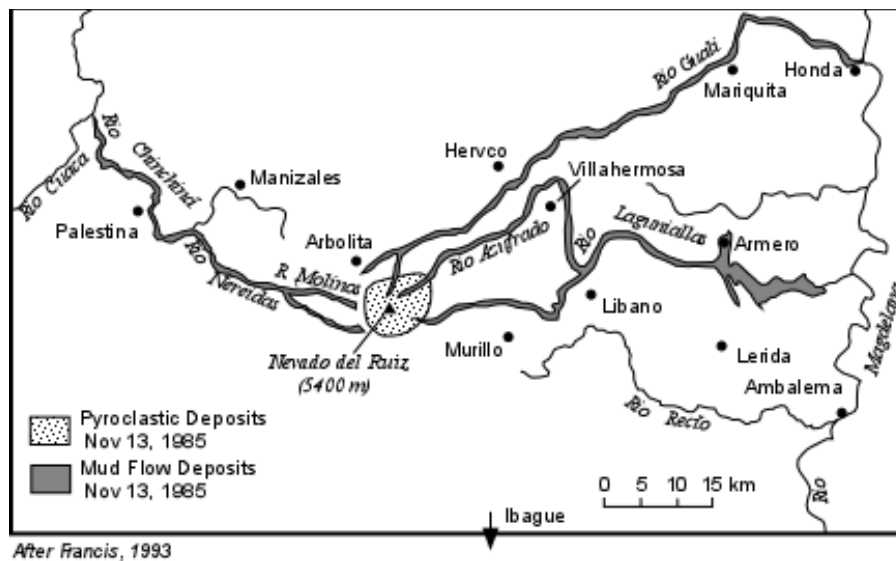


Imagen 39. Extensión espacial de los eventos del V. N. del Ruiz en 1985. Fuente: www.tulane.edu

Estando presto a salir Bruno Martinelli para Suiza quien un mes antes había cambiado un volcán de África, el Niragongo, por el Ruiz, este geofísico de enorme dimensión humana debió esperar para la evaluación de la información sismológica recogida en los entornos del antiguo refugio del Ruiz donde se hospedaba, porque al medio día de ese 11 de septiembre se produce una erupción freática en el cráter Arenas, cuyas cenizas llegan a Manizales para despejar las dudas de los más escépticos.

Confieso que si bien desde 1979 estábamos investigando el tema de los volcanes, el evento nos llevó a esa extraña dimensión que señala Lévi Strauss en *Tristes Trópicos*, porque frente a semejante fenómeno estábamos como quien cree saber de un extraño lugar porque colecciona sus imágenes, al que no ha viajado para sentir su compleja naturaleza y experimentar su carácter.

Esta erupción temprana y desconocida que se hace sentir en la ciudad y genera pequeños flujos de lodo que cierran la vía a Murillo, le da la connotación suprarregional al riesgo, y sobre todo detona la ya aplazada confección del mapa de amenazas del Ruiz. De lo ocurrido en ella, a finales de ese mes el equipo de Ingeominas pudo establecer, no sólo la velocidad del pequeño flujo de lodo, sino también la certeza de su ocurrencia en caso de una erupción mayor, dato importante para estimar el tiempo disponible para evacuar a Armero.

Igualmente Ingeominas informa de un represamiento del Lagunillas en la vereda El Cirpe, consecuencia de actividades mineras, un elemento aislado pero fundamental porque vinculará al imaginario de esos pobladores la amenaza temida con la suerte de Armero, así la magnitud de tal represamiento con tan solo 200.000 m³ no compitiera en tamaño y alcance espacial con los voluminosos lahares históricos. Tras el evento, se crea el Comité de Estudios Vulcanológicos de la Comunidad Caldense, bajo la coordinación de Pablo Medina Jaramillo con la secretaria científica de José Fernando Escobar Escobar como coordinador de Fiducial, fundación que reunía a las cinco universidades de Manizales y cuyas actas juiciosamente recolectadas dan testimonio de las actividades y esfuerzos de diferentes instituciones y autoridades de la ciudad, buscando darle buen trámite a una preocupante crisis que no encontraba el eco esperado en el gobierno nacional. Como ilustración: cuatro meses antes de la catástrofe aparece la famosa carta de la Jefe de la Oficina de Relaciones Internacionales del Ministerio de Educación, ofreciendo su mediación al gobernador de Caldas para que se le solicite por ese conducto a la Unesco "evitar que el volcán del Ruiz se reactive".

A finales de septiembre, además del histórico debate del parlamentario caldense Hernando Arango Monedero, calificado de apocalíptico en una respuesta del Ministerio que justifica con un pálido balance sus acciones insustanciales, el citado Comité que también recibe las advertencias de UNDRO sobre la posible ocurrencia de flujos de lodo por el río Chinchiná, entre otros eventos de menor relevancia para Manizales, conoce del Censo efectuado por Corpocaldas a lo largo del drenaje de sus tributarios, y revisa una carta del Gobernador de Caldas para solicitarle al gobierno central acciones para atender la problemática. En ese estado de cosas, recuerdo haber solicitado incluir en ella tareas de preparación para la comunidad expuesta en las zonas de alto riesgo y llamar la atención al gobierno para proveer lo que se requiriera para atender los evacuados, incluyendo entre ellos los que moran dentro de un radio de 10 Km y los pobladores de Armero, además de los censados.

Para entonces, los temidos temores del volcán identificados finalmente por Martinelli y reportados ahora por el equipo de sismología, a juicio de éste resultaban preocupantes; la columna de vapor alcanzaba alturas sostenidas que superaban los 10 km, y se implementaban estrategias informativas que hacían uso del manual de UNDRO para el debido manejo de las emergencias volcánicas. Además, la ya visible exacerbación de la actividad fumarólica era interpretada por nuestro grupo de geoquímica, como evidencia de que se empezaban a generar los efectos decisivos previstos por W. Giggembach sobre el tapón del cráter Arenas, y con ellos una posible reducción en la presión del sistema que conduciría a la erupción.

EL ESTADO DE LA PREVISIÓN

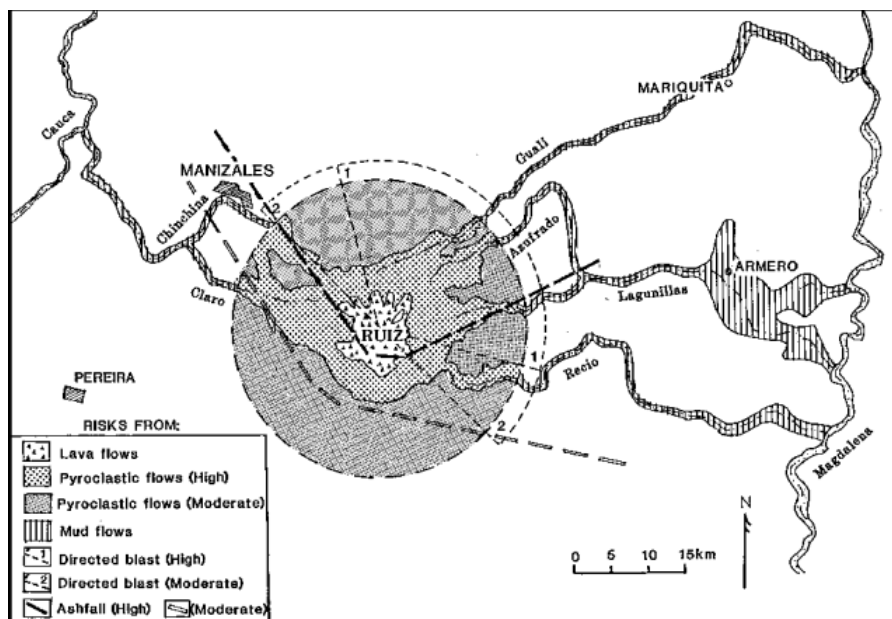


Imagen 40. Versión preliminar del mapa de amenazas. Ingeominas y U. de C. Fuente: volcano.si.edu

Entrado octubre, aunque en tan corto tiempo son notables los avances alcanzados en la confección del mapa de riesgos encomendado al equipo de geólogos de Ingeominas y de la Universidad de Caldas, y por la implementación del modelo metodológico y teórico propuesto por el Neo Zelandés W. Giggembach, útil para la evaluación de la dinámica pre-eruptiva en función de la volatilidad variable de los componentes gaseosos de los fluidos volcánicos – según su composición dependiese de carbono, azufre o cloro -, entre otros logros, también faltaba monitorear la topografía del edificio volcánico para advertir las posibles deformaciones causadas por incrementos en el campo de esfuerzos de darse el ascenso del magma.

Entonces se concretan gestiones en el Comité para satisfacer las deficiencias e incertidumbres sobre un proceso urgido de complementos instrumentales y conceptuales, como son traer hasta Manizales a Franco Barberi desde Italia, a Rodolfo Van der Laat desde Costa Rica y a Minard Hall desde Ecuador. Esto se logra, al igual que la traída de Darrel Herd del Servicio Geológico de EE UU, quien en concurrida conferencia en el Teatro 8 de Junio de la Universidad de Caldas desestima la ocurrencia de un desastre en caso de erupción, a pesar de haber señalado en el Comité la importancia de las tareas que hacíamos en virtud del riesgo existente.

Iniciando la segunda semana de octubre, aparece la versión preliminar del Mapa de Riesgos Potenciales del Volcán Nevado del Ruiz, donde además de consignarse la historia del Volcán se señalan las amenazas, entre las que se incluyen: riadas gasopiroclásticas a alta temperatura de alguna severidad con una probabilidad de 2/3 y alcance hasta los 20 km; flujos de lodo de hasta medio centenar de metros de potencia dependiendo del nivel de riesgo de las zonas, asignándoles una probabilidad del 100% en caso de erupción importante, riadas que alcanzaban en dicha cartografía todas las zonas que efectivamente se bañaron de lahares, entre ellas Armero; y también caída de cenizas con igual probabilidad extendiéndose solamente sobre una zona orientada hacia el noreste del cráter, y que por lo tanto excluía de caída de estos piroclastos transportados por el aire a sectores del occidente, omisión para la que sugerimos considerar esa posibilidad por el cambio de la dirección de los vientos regionales entre el verano y el invierno relacionado con la dinámica del clima bimodal andino, lo que se comprobaba con las cenizas del 11 de septiembre anterior y las que alcanzaron a Cartago en 1595.

Aunque hubo discrepancias sobre las características de los flujos piroclásticos, relacionadas no solamente con la distribución y alcance de los eventos, sino también con la inclusión de una erupción dirigida de ángulo bajo o blast, inclusión soportada en un depósito asociado a una erupción de alta energía que se observa sobre el talud de la vía a Murillo, por ser a nuestro juicio un evento poco probable que ameritaría otro tipo de manejo, siempre se consideró probable una erupción de entre 1 y 2 km³, con una columna eruptiva vertical y no de colapso, dado el coeficiente explosivo de nivel moderado bajo del magma andesítico del Ruiz, a diferencia de lo que puede esperarse de uno dacítico de nivel moderado alto como el de Cerro Bravo o el Huila, donde la columna eruptiva típica es de colapso, y por lo tanto con nubes ardientes de mayor alcance.

Entre tanto mientras las labores del monitoreo rudimentario continuaban, seguíamos confiados en que a falta de un sistema telemétrico el volcán se anunciaría a distancia y en que uno de nuestros miembros que permanecía en el lugar: el Ingeniero Bernardo Salazar Arango, exponiendo su vida para observar los sismógrafos allá, informaría en tiempo real por radio sobre cualquier evento de carácter sorpresivo: ambos, volcán y hombre, cumplieron a cabalidad, pero la última señal no fue suficientemente interpretada, como tampoco las que ya había dado el volcán anticipadamente desde horas de la tarde.

Hasta aquí la corta extensión espacial y temporal del monitoreo sismológico y geoquímico, donde gravitaba la falta de observaciones de otras variables físicas, como las deformaciones que dependían de medidas geodésicas no implementadas, y de unas observaciones morfológicas, que al no ser sistemáticas a causa de las dificultades y condiciones ambientales, resultaban insuficientes: todo este acervo impedía generar una línea base para el volcán, necesaria como instrumento para un diagnóstico adecuado y con suficiente aproximación, para calificar el grado de anomalía de los fenómenos observados.

Recuerdo cómo un día antes de la erupción, el grupo de geotermia descendió una vez más y por última vez al fondo del cráter Arenas, para tomar otra muestra de los gases intentando capturarlos en las fumarolas antes de que emergieran y entraran en contacto con la humedad del aire, para malograrse. En esta riesgosa expedición que incluía la tarea adicional de observar las eventuales dinámicas morfológicas, no se reportaron cambios significativos del cráter.

Pero al día siguiente, el de la erupción del 13, siendo las 7:30 PM cuando procedíamos a dar inicio al análisis geoquímico en el Laboratorio de la Universidad Nacional, observábamos las muestras obtenidas, con un aspecto turbio inquietante, asunto éste que sumado a los eventos preeruptivos del día, permite calificar la imposibilidad que teníamos de aventurar un pronóstico.

NOCHE DE MUERTE Y DESTRUCCIÓN



Imagen 41. Armero 1985. En focus.afp.com

Y a los pocos días de haber concluido la elaboración del mapa de amenazas, a pesar de la caída de cenizas que desde horas de la tarde afectaba a Armero, de las llamadas al cuerpo de bomberos de la “Ciudad Blanca” efectuada desde uno de los municipios cordilleranos, de haberse informado el inicio de la erupción por la doble vía que se esperaba: la del volcán y la del hombre, los flujos de lodo estimados después en 100 millones de metros cúbicos, que descendieron raudos desde los glaciares del volcán nevado por las dos vertientes cordilleranas, avanzaron arrasándolo todo hasta alcanzar los poblados ubicados en los valles de salida de los ríos, pero la población no fue evacuada.

Por la vertiente del Cauca las riadas de lodo tardaron más de una hora hasta río Claro y parte de Chinchiná, y por la del Magdalena unas dos horas hasta Armero, transitando por la cuenca del Lagunillas, y dos horas hasta las partes bajas de Mariquita primero, para seguir luego a Honda por el Gualí. En Armero los lahares, masas donde participaron agua y sólidos casi por mitades, cubrieron con 2 m de lodos unos 30 km² del valle, en varias direcciones incluida la del río Sabandija por el norte, ajena a este drenaje.

Y como me he preguntado ahora: ¿por qué antes del 13 de noviembre no se produjo ninguna acción ante la advertencia expresa de que en caso de una erupción, Armero sería borrado por una avalancha? – esto de conformidad con lo que el mapa oficial mostraba desde su primera versión de inicios de octubre, así fuese preliminar -.

Posiblemente el trabajo que emprendimos a la fecha fue tomado como un simple ejercicio académico, o también la sistemática preocupación por la información que se daba en la prensa, dudosamente calificada de alarmista, terminó con sus voces por apagar las luces de sensibles periodistas, y por dismantelar una estrategia que pudo contribuir a la necesaria apropiación social del territorio para lograr la prevención del desastre.

Calificados expertos de varios países, después de recopilar la información sobre los antecedentes y analizar los hechos, coincidieron en denominar lo ocurrido como “una catástrofe anunciada”, mientras aquí unos y otros rompían sus vestiduras amparados en la imposibilidad de predecir el comportamiento de un volcán, para decir que la suerte padecida por unos 25.000 colombianos fue culpa de la indómita naturaleza y olvidando de paso que los desastres no son naturales, así lo sean los eventos que los generan.

La erupción de 1595, tiene como antecedentes de importancia para estimar la duración de las fases preeruptivas del Ruiz, que la identificación del volcán por los conquistadores, se hizo varias decenas de años antes del paroxismo: hacia 1540 en crónicas desde Anserma y Cartago y hacia 1553 en un mapa desde Victoria Caldas y Mariquita.

En comparación con los eventos históricos del Ruiz acaecidos en 1595 y 1845, la segunda entre las tres erupciones históricas parece haber generado los mayores flujos de lodo, y la de 1985 no solo fue la de los lahares más modestos sino también la erupción de menor magnitud por volumen de lava erupcionada. Si por volumen la erupción del 19 de febrero de 1845, con unos dos km³ acumulados y vertidos tras 250 años de calma volcánica, pudo duplicar el volumen erupcionado en 1595, para la actual erupción después de 140 años de calma, el volcán podría disponer de al menos 1 km³ de magma, dado que lo se ha vertido ha sido solo una fracción de dicha unidad.

Respecto a la erupción de 1845, esto: la gran extensión de la fase de calma que le antecede, el tipo y característica de la erupción, al tratarse de un evento de mayor volumen, pero orientado y sin columna vertical notable, sumado a que el volcán no se anuncia con una

actividad preeruptiva visible a distancia desde principios del siglo XIX, son hechos que permitirían inferir un taponamiento del cráter por aquella época, situación que no ocurre ahora donde el conducto del cráter Arenas funciona adecuadamente según lo ocurrido en el Ruiz desde 1985.

En cuanto a los ambientes glaciares, mientras las dos primeras erupciones citadas se dieron durante una pequeña glaciación ocurrida entre 1550 y 1850, con picos fríos en 1650, 1770 y 1850, lo que se explica por una baja actividad solar, habrá que tener en cuenta el actual deshielo, donde los 29 km del manto de hielo del PNNN existente en 1979 se han reducido casi cuatro veces, como consecuencia del calentamiento global, fenómeno global donde inciden factores antrópicos (emisión de gases de invernadero y deforestación) y causas naturales (el incremento actual de la actividad solar).

Además, si bien la erupción de 1985 fue calificada de subpliniana o de nivel 3, al haber cobrado unas 25.000 víctimas mortales queda la lección para no subestimar estos eventos, dado que la del Ruiz (1985) con apenas 1/10 de km³ de magma vertido hasta ahora, por el número de vidas cobradas se ubica en el tercer lugar entre los desastres volcánicos más catastróficos del siglo XX, después del Tambora (1915) con 56.000 y del Krakatoa (1883) con 36.400 víctimas.

Esto es, hace 30 años a pesar del compromiso de la comunidad científica que asumió tareas, del esfuerzo de la Cruz Roja y de la Defensa Civil locales en materia de prevención, queda pendiente pagar un saldo que únicamente se liquida sin volver a repetir la tragedia de Armero. Y lo digo porque antes de la erupción del 13 de noviembre de 1985, previo al paroxismo de las 9:20 de la noche hora local, desde las 3:05 de la tarde hubo emisiones de ceniza, y antes del anochecer a modo de señal premonitoria la arena volcánica y fragmentos de pómez caían sobre al poblado tolimense, en un ambiente enrarecido por un extraño olor azufrado.

Todo, porque allí como en otros lugares se carecía de una instrucción precisa, de unos medios mínimos y de unos procesos previos de preparación adecuados, para que la población evacuara frente a un evento sorpresivo, el que también daba tiempo al menos para mitigar la desgracia. Esto es, la insuficiencia de la información gravitó, ya que no resultó suficiente la historia y que el mapa no se socializó; también faltaron las instrucciones y el protocolo para evacuar, señalando el por qué, cuándo, cómo y a dónde ir, por lo menos, e incluso, los simulacros del caso como parte de la información intangible.

EPÍLOGO



Armero antes y después del desastre, en <http://historico.unperiodico.unal.edu.co>

Imagen 42. Armero, antes y después del desastre, en UN-Periódico

Luego de los sucesos de Armero, cuando se dan las frecuentes noticias sobre las crisis de los volcanes Galeras, Huila y Cerro Machín, además de las del Ruiz, no dejamos de preocuparnos a pesar de saber que nuestros científicos de Ingeominas están altamente capacitados, que se hayan hecho estudios sobre el riesgo, y que se tienen mapas de amenaza y un eficiente sistema de monitoreo, y sobre todo, que existe en Colombia una institucionalidad con notable desarrollo en materia de gestión del riesgo.

Esto porque a pesar de la existencia de un Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres que ha hecho grandes esfuerzos, se ha consolidado y reestructurado, siempre quedan como preguntas: ¿por qué las personas no evacuan y qué falta en términos tangibles e intangibles?

Como evidencia de lo primero, antes del terremoto del Quindío, el Comité Local de Emergencias del pequeño municipio de Pijao, epicentro del sismo, no sólo se reunía periódicamente y producía sus actas, sino que contaba con presupuesto y tomaba sus propias decisiones, tal cual lo hizo el 25 de enero de 1999 y días siguientes, a pesar de quedar incomunicado el poblado y desarticulada su comunidad del contexto regional y nacional.

También, porque lo de haber "galerizado a Armero", posiblemente habría salvado a muchos armeritas de la hecatombe, del mismo modo que lo han hecho las comunidades indígenas de Belalcazar, Inza, Tesalia y otros asentamientos menores de Huila y Cauca en Abril de 2007, cuando tras las erupciones del Volcán Nevado del Huila se generaron lahares que llegaron al Magdalena, arrasando a su paso

cultivos, vías y puentes por el cañón del río Páez, donde unos 5.000 habitantes rivereños expuestos a las avalanchas, previamente habían evacuado a zonas seguras.

La “galerización”, término extraño para entonces y para quienes no saben del Galeras, refuerza la dialéctica del discurso como herramienta estratégica para entender la problemática que existe en Pasto, donde se repite lo que se hizo en Manizales cuando se desdibujó una estrategia comunicativa, con expresiones como “aquí todos éramos vulcanólogos” cuya perversa intención era detener el proceso de aprendizaje popular, en beneficio del mercado.

La dimensión social, política, cultural y económica de los desastres en Colombia, podría darnos esas respuestas que espero no se resuelvan con nuevos acontecimientos como los que se han vivido fruto de la imprevisión, por no comprender la naturaleza socioambiental de los conflictos en la construcción social del territorio, como lo ha sido el del proceso que explica el desastre de Armero.

Con las leyes de la Cultura, del nuevo Sistema Ambiental y de la Reforma Urbana, y en particular con la nueva Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, la LOOT, que pasa del enfoque municipal al de regiones y asociaciones de municipios, contemplando aspectos estructurales como la gestión integral del riesgo y el manejo responsable del medio ambiente, hoy se contempla la dimensión de los desastres y se consagra el derecho de la participación ciudadana; pero urge implementar la gestión del riesgo, primero, asegurando las acciones misionales de institutos como el Ingeominas y las de complemento de las autoridades ambientales; segundo, avanzando con los procesos de ordenamiento del territorio previendo los usos conflictivos del suelo; y tercero, fortaleciendo los procesos pedagógicos de apropiación social soportados en la participación comunitaria y de la sociedad civil.

Al respecto, mientras la Previsión a corto plazo que se relaciona con los procesos geodinámicos y afines, incluye las tareas de observación sistemática de variables físicas y el desarrollo de modelos, tal cual lo hace ahora el Observatorio Vulcanológico de Manizales, para la Previsión general que se materializa en mapas de amenaza para estudiar los riesgos naturales y asegurar el uso sostenible del suelo, en materia de cartografía y de acciones de las autoridades territoriales, aún encontramos profundas deficiencias, al igual que en los procesos del ordenamiento del territorio por no ser concebidos con enfoques del orden socioambiental.

Esta loable y muy difícil labor para el caso de los volcanes activos, la han desarrollado oportunamente los científicos de Ingeominas en los tres segmentos de los Andes colombianos; pero en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, y de ordenamiento ambiental de cuencas, sabemos hoy se obliga a contemplar la dimensión regional y a aplicar los mapas de amenaza durante los extensos períodos de calma sísmica y volcánica, para proceder con una ocupación no conflictiva del suelo en términos de exposición a la amenaza y mitigación de riesgos de esta naturaleza.

Me temo que con una visión de corto plazo y la baja propensión a las acciones estructurales señaladas, estaremos desaprovechando el esfuerzo de muchas instituciones del país, como la de nuestros observatorios vulcanológicos y sismológicos que han perdido algunos de sus miembros, comprometiendo la suerte de la Nación y exponiendo a varias comunidades vulnerables de Colombia en lugares donde el riesgo no resulta racionalmente mitigable.

Manizales, Noviembre 11 de 2015.

Nota: Este documento preparado para la conmemoración del trigésimo aniversario de la mayor tragedia socio-ambiental de la historia de Colombia, incluye algunos ajustes a la publicación inicial de 2005 y a Las Lecciones del Ruiz a los 25 Años del Desastre de Armero.

7.9. ÁRBOLES, POBLACIONES Y ECOSISTEMAS

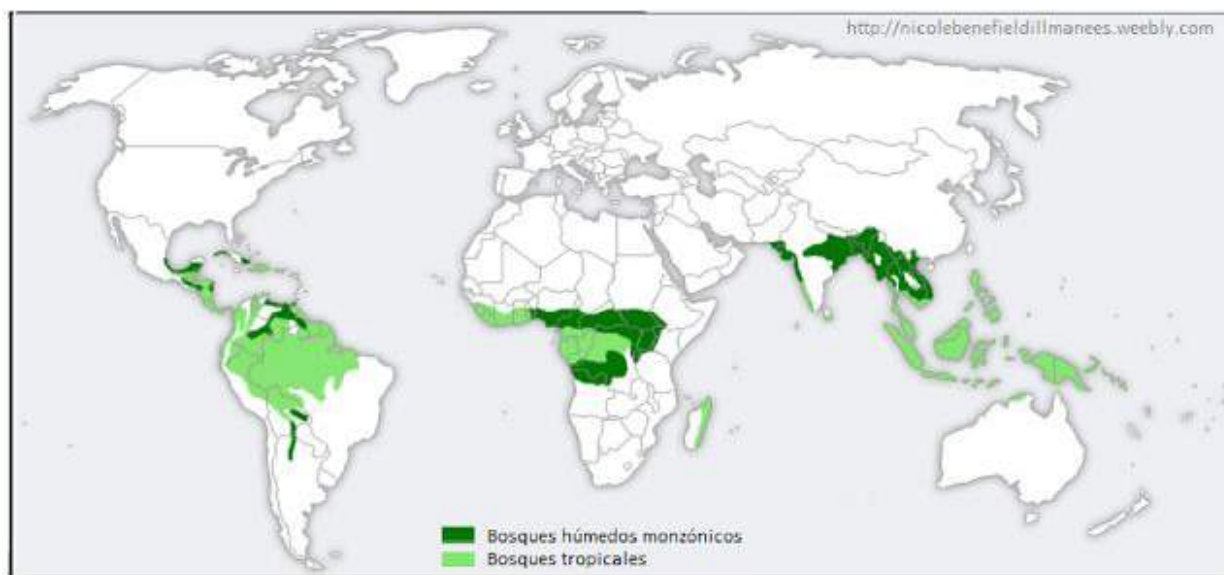


Imagen 43A: Bosques tropicales del mundo, en <http://nicolebenefieldillmanees.weebly.com>

El cambio climático como factor de riesgo que compromete el suministro de agua en el 63% de las ciudades del planeta y la seguridad alimentaria a nivel global según el Consejo Mundial del Agua (2017), debe ser motivo para reflexionar sobre la necesidad de una cultura

que vele por la protección, conservación y restauración de los bosques. Aunque 1.600 millones de seres humanos en los países más pobres sobreviven por los alimentos, materiales, agua, medicinas, fibras o leña que les provee, también con la deforestación los árboles están desapareciendo de la superficie de la tierra: cerca del 46 por ciento los bosques del mundo, se ha arrasado por el Homo sapiens.

Las especies arbóreas que se estiman en 60 mil a nivel global, de las cuales la mayoría son tropicales, equivalen 1/5 de todas las especies de plantas terrestres. En Colombia, donde contamos con 7.500 de ellas, el hábitat natural de algunas se ha reducido el 80 por ciento: es el caso de maderables finos como Abarcos, Caobas y Cedros, y de árboles importantes para otros usos, como el Canelo de los Andaquíes y el Palorosa, que son las 5 más amenazadas, a las que se suman 10 más: Molinillo, Almanegra, Mangle Nato, Roble, Guayacán, Marfil, Palma de cera de la Zona Cafetera, Nolí o Palma americana, Palma de moriche, y Mararay de San Carlos. Nombres como Guaduas, Arbolocos, Alisos, Tulipanes, Pino colombiano y Arrayanes, evocan también valores culturales y usos económicos y ambientales del árbol.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que en la pasada década planteaba sembrar 1 árbol por habitante del planeta, busca proteger las áreas más biodiversas donde muchas de las especies endémicas están en peligro de extinción. Según la Universidad de Yale, aunque tenemos un per cápita global de 422 árboles, a través de la explotación forestal y de actividades como la agricultura, la ganadería o la minería, cada año derribamos alrededor de 15 mil millones de árboles, y en el comercio de madera mundial, de conformidad con la WWF, la ilegalidad representa 7.000 millones de dólares al año.

En este planeta donde el tráfico ilegal podría representar el 75% del comercio de madera en 2017 según la WWF, aunque somos el país más biodiverso por kilómetro cuadrado, aún deforestamos 200 mil hectáreas por año y nuestro escenario de riesgos contempla pasivos ambientales por procesos como: sobreexplotación en las selvas, incendios forestales y talas intensivas para expandir la frontera agrícola y urbana o extender potreros, además de plagas de insectos y enfermedades forestales; fenómenos todos cuyas consecuencias han sido la pérdida del hábitat de especies y ecosistemas, además de caos en la regulación del ciclo del agua, y de erosión del suelo por acción de vientos y escorrentías, lo que se traduce en desertificación y desastres por ocurrir.

Si en Colombia, dado que el 74% de la población habita ciudades y cabeceras, falta conocer de las interacciones en el trópico andino entre ecosistemas urbanos y entornos suburbanos y rurales asociados, y profundizar en el conocimiento de la distribución de los árboles para comprender la biosfera terrestre y mejorar el hábitat, también en Manizales, donde una gestión histórica el Honorable Concejo Municipal acoge el clamor mayoritario de un Cabildo abierto que reclama poner freno a las regresiones ambientales del modelo de expansión urbana, nuestra planificación deberá desarrollar una política pública con estrategias de adaptación al cambio climático y suministro de servicios ambientales, además de acciones para recuperar cuencas y rondas hídricas deforestadas, y prevenir la fragmentación de bosques que amenaza nuestra biodiversidad.

Adicionalmente, desde la academia deberemos investigar sobre los ecosistemas urbanos y su relación con la estructura ecológica en este fragmento del medio tropical andino, con su particular clima, laderas inestables y ambiente vulcano-tectónico, como fundamento del bienestar general con el objeto de lograr un desarrollo tecnológico autóctono que le ofrezca solidez ecológica a las transformaciones del medio natural a través de la cultura, sin comprometer el ecosistema al satisfacer las demandas del territorio, mediante la creación de elementos para la arquitectura del paisaje, la regulación acústica, térmica y lumínica, la química ambiental y ecología de los ecosistemas, la calidad del aire y del clima, y la estabilidad de los suelos en laderas y cauces de protección. [Ref.: La Patria. Manizales, 2017.10.9]

7.10. DEGRADACIÓN DEL HÁBITAT Y GESTIÓN AMBIENTAL

RESUMEN: Para comprender los conflictos socioambientales de Colombia y orientar la gestión del hábitat, resulta fundamental partir del derecho biocultural que ampara tanto a las comunidades como a los ecosistemas del territorio, a la luz de las trascendentales decisiones que ha tomado la Corte Constitucional sobre la materia. Si el territorio es una construcción social e histórica, también un sujeto de derechos bioculturales, en el cual el ordenamiento deba darse dándole coherencia a las complejas y frágiles relaciones dialécticas, de simbiosis y parasitismo, entre las comunidades que lo habitan y los ecosistemas con su particular estructura ecológica de soporte.



Imagen: Corriente trenzada en el Río Grande de La Magdalena. Chucuri (2013) Black Drone in: <https://www.shutterstock.com/>

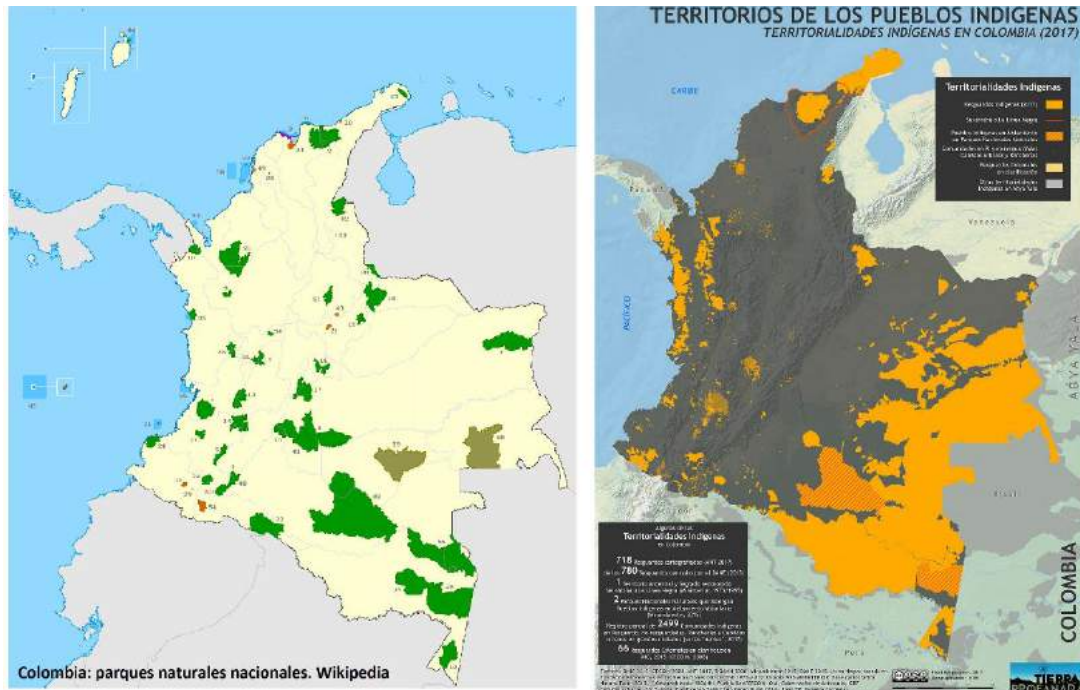


Imagen 43B: Parques Naturales Nacionales de Colombia (Wikipedia) y Territorios indígenas en Colombia al 2017 (geoactivismo.org).

Habrá que repensar el tema de la gestión y educación ambiental, de un lado, porque urge un plan para salvar el planeta de las dinámicas de un modelo de consumo desmedido, que eleva la huella ecológica a 2,7 hectáreas per cápita, frente en 1,8 hectáreas de biocapacidad del planeta por habitante; y también, porque entre otros factores de deterioro del medio ambiente que explican la falta de agua que amenaza a 2.500 millones de habitantes y el hambre que padece el 11% de la población mundial, gravitan múltiples problemáticas que continúan acentuando la actual crisis humanitaria, asociada a los impactos globales de la contaminación ambiental: de conformidad con el informe de la Comisión Lancet sobre Contaminación y Salud (2017), las pérdidas se estimaron en el 6,2% de la producción económica del planeta. En Colombia, la cuantía que ascendió al 4,1% del PIB de 2015, fue el equivalente al presupuesto que en 2017 se destinó para al sector de la educación y a 1,5 veces al de salud y protección social.

Ahora, si la demanda de alimentos en el mundo continúa creciendo, y con ella la presión sobre los productos agrícolas y sobre el agua a costa de la biodiversidad, entonces América Latina probablemente tendrá que ser un importante proveedor global, porque algunas regiones pobladas como India y China tendrán dificultades para producir sus propios alimentos, razón por la cual deberemos prever nuevas dificultades para el país, cuando en nombre del mercado empecemos a presionar nuestros recursos para producir alimentos, tal cual lo venimos haciendo por décadas exportando materias primas a la luz de un modelo extractivista. En dicha problemática, gravitará la falta de una política pública ambiental y de un sistema de indicadores de largo plazo, que en conjunto respondan a un plan concertado dotado de estrategias que orienten la labor ambiental institucional, cuyo objeto sea la sustentabilidad y preservación de nuestro patrimonio cultural y natural, en bien de la Nación.

A modo de diagnóstico, estos cinco hechos: 1- El que en Colombia, gracias a la ocurrencia de eventos asociados al cambio climático que han afectado al 26% de su población, sea el país con la mayor tasa de desastres Naturales en América Latina; 2- La inclusión en 2017 de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el Registro Montreux, reconocida herramienta en la que están inscritos 48 humedales en estado crítico del mundo; 3- El vertimiento de carga contaminante concentrado en 150 municipios, situación que según el Estudio Nacional del Agua afecta las fuentes hídricas de ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Villavicencio, Manizales y Bucaramanga; 4- El panorama desalentador de la biodiversidad del país a causa de la deforestación, proceso degradador que según el Instituto Alexander von Humboldt, amenaza a 2.700 especies de más de 50.000 que tiene Colombia; 5- El caso de Medellín con la contingencia ambiental del aire, como emblema a nivel nacional de una contaminación que según el Departamento Nacional de Planeación, se valoró en 15,4 billones de pesos destinados en el 2015 al sector de la salud, y la cual se constituye en el tercer factor generador de costos sociales, después de la contaminación del agua y de los desastres naturales.

De este modo, por lo menos en Colombia habrá que dejar de aplicar a los grandes males ambientales del país “medicinas” insuficientes que no pueden corregir los desarreglos que aún progresan; para el efecto: 1- En lugar de vincular a las campañas de educación a los ambientalistas ya formados y a otros actores sociales no vinculados a los conflictos, se deberá educar a quienes provocan los daños ambientales o están sufriendo sus consecuencias, y también acudir a los agentes que tienen la capacidad y responsabilidad de intervenir para asegurar una acción ambiental eficaz; 2- Y en lugar de tratar temas insustanciales y superficiales mediante campañas

de educación ambiental desarticuladas del contexto, se deberá orientar la gestión a la solución de los problemas más graves y urgentes del territorio, constituyendo para el efecto una red sinérgica de actores sociales e institucionales con capacidad política, para crear la conciencia ciudadana que demanda la transformación social y ambiental del territorio.

* [Ref.: Las Patria. Manizales, 2018.03.26]

Lecturas complementarias

Un canal bioceánico por el Chocó biogeográfico.

Este documento trata sobre la importancia del Pacífico Colombiano y las limitaciones del transporte de carga del país, en el marco de un sistema intermodal de carga con plataformas logísticas de complemento, para comentar sobre el Canal Atrato-Truandó, un paso interoceánico sin esclusas para las grandes embarcaciones que hacen uso de la nueva troncal transoceánica que cruza las Américas, y sobre un ferrocarril por el Chocó biogeográfico articulado a Colombia como alternativa, que transite salvando el Tapón del Darién sin afectar los PNN y haga uso de la hidrovía del Atrato como complemento. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64259/uncanalbioceanicoporelchocobiogeografico.pdf>

Un diálogo con el Paisaje Cultural Cafetero PCC.

La declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero, impone retos para que las transformaciones ambientales y desarrollos socioeconómicos, proporcionen un medio ecológicamente sólido compatible con nuestra cultura. El desafío que emplaza a nuestras instituciones a emprender políticas públicas y sectoriales, concertadas con las comunidades de base, debe partir de la Federación Nacional de Cafeteros y acompañarse por el Estado.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9977/gonzaloduqueescobar.201230.pdf>

Temas rurales para la ecorregión cafetera.

La situación rural donde gravita una profunda brecha de productividad, no podrá soportar las consecuencias del TLC con los EE.UU.: los ingresos caerán entre la cuarta parte y la mitad, como consecuencia de haber castigado al sector rural para buscar en el negocio ventajas para otros sectores agroindustriales de la economía colombiana. La solución partirá de diferenciar la producción rural y artesanal de la industrial, y de incorporar ciencia y tecnología al lado de la cultura, para elevar los ingresos rurales.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8010/gonzaloduqueescobar.201157.pdf>

Ferrocarril Cafetero: un tren andino para integrar el territorio

El Ferrocarril Cafetero, un proyecto de gran impacto para Colombia, que al articular el Sistema Férreo Central con el Tren de Occidente, permite implementar la multimodalidad para llegar a los puertos marítimos, repotenciando el Puerto Multimodal de La Dorada y detonando una plataforma logística mediante un puerto seco en el Km 41, plataforma que se extendería desde La Virginia hasta La Felisa.

Ver en: <https://youtu.be/26q-zGOY5N4>

Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia

Sobre la necesidad de reducir los efectos de los desastres por la vía de la vulnerabilidad en Latinoamérica y El Caribe, y particularmente en Colombia. El SINPAD y las amenazas naturales en Colombia. La gestión ambiental, los riesgos específicos y de cúmulo, y relaciones con CTS.

Ver en: <https://www.youtube.com/watch?v=jz14hNG1Tsc>

TEXTOS U.N.CON COAUTORIA DEL AUTOR:

<i>Agricultura sostenible: reconversión productiva en la cuenca del río San Francisco.</i>	<i>La cosmología de Stephen Hawking.</i>
<i>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</i>	<i>La logística del transporte: un elemento estratégico en el desarrollo agroindustrial.</i>
<i>Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.</i>	<i>Laudato si: El Cuidado de la Casa Común. Memorias.</i>
<i>Ciencias naturales y CTS.</i>	<i>Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión.</i>
<i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i>	<i>Manual de geología para ingenieros. . .</i>
<i>CTS, Economía y Territorio.</i>	<i>Mecánica de los suelos.</i>
<i>El territorio caldense, ¿un constructo cultural? – UMBRA.</i>	<i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT de Manizales.</i>
<i>Elementos para una visión del desarrollo de Caldas.</i>	<i>Preservación ambiental e hídrica del paisaje cultural cafetero.</i>
<i>Geomecánica.</i>	<i>Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia.</i>
<i>Geotecnia para el trópico andino.</i>	<i>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</i>
<i>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</i>	<i>Revolución urbana, desafío para el Eje Cafetero.</i>
<i>Guía astronómica.</i>	<i>Sistematización de Experiencias y Estrategias de los PAI de la cuenca del río Guarínó.</i>
<i>Introducción a la teoría económica.</i>	<i>UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.</i>
<i>Isaac Newton: de Grecia al Renacimiento.</i>	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Amero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos "verdes"*

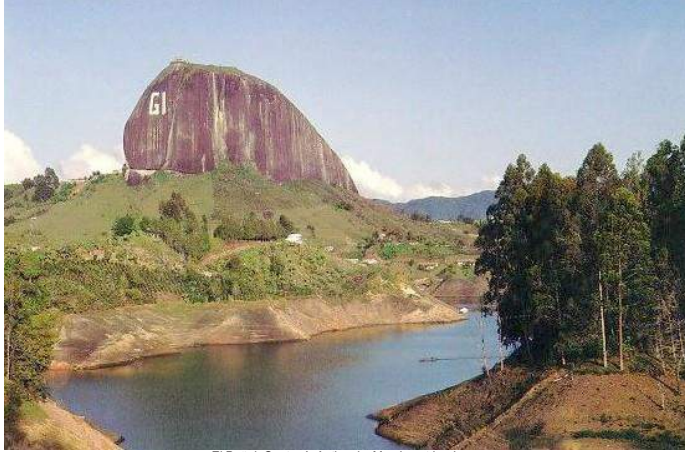
Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



El Peñol, Guatapé, Antioquia. Members.tripod.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 08

INTEMPERISMO O METEORIZACION

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Intemperismo o meteorización es la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, a la humedad y al efecto de la materia orgánica; puede ser intemperismo mecánico o de desintegración, y químico o de descomposición, pero ambos procesos, por regla general interactúan. Las variaciones de humedad y temperatura inciden en ambas formas de intemperismo toda vez que afectan la roca desde el punto de vista mecánico y que el agua y el calor favorecen las reacciones químicas que la alteran.

Distintos factores ambientales físicos y químicos atacan a las rocas y las cuartean, disgregan y descomponen, y según el carácter de los factores que produzcan la meteorización se distinguen la meteorización física y la meteorización química.

8.1. PROCESOS EXTERNOS

Estos procesos comprenden la meteorización, erosión, transporte y deposición. Para el transporte la energía potencial que provee la gravedad se transforma en cinética. Otra fuente de energía es el Sol responsable del movimiento del aire y formación de lluvias. A la denudación o acción niveladora se oponen otras fuerzas internas que emergen los continentes. Los continentes pierden un metro de espesor de sus tierras emergidas cada 30.000 años, pues un medio de transporte como el agua, lleva materiales por los ríos al mar.

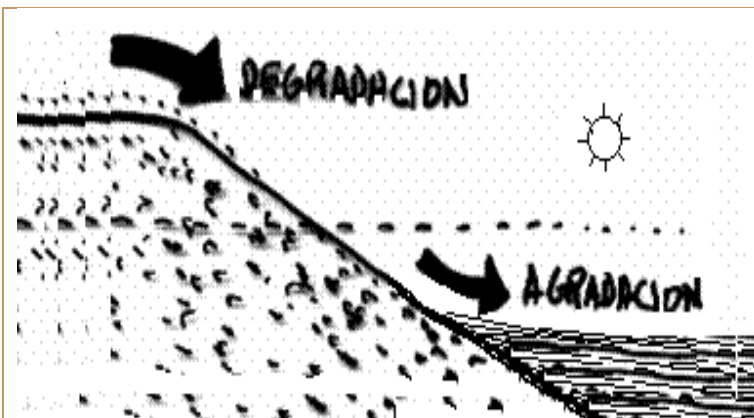


Figura 34. Procesos de gradación de la corteza. Son dos: degradación (meteorización y diastrofismo) y agradación (vulcanismo y diastrofismo). Según Juan Montero, curso de geología, U.Nal.

La faz de la Tierra cambia, es dinámica, pues hay dos factores principales que dan forma al terreno: los procesos constructivos que crean accidentes orográficos nuevos y las fuerzas destructivas, como la erosión, que van desgastándolos poco a poco. Por regla general cuanto

más alta es una montaña, más reciente es su formación; el Himalaya no tiene más de 50 millones de años y hace 400 millones de años la cordillera Caledoniana tenía su mismo tamaño; de ellas nos quedan hoy los vestigios del período orogénico caledoniano en Groenlandia, los Apalaches, y las Highlands de Escocia y la meseta costera de Noruega.

El tiempo en cualquiera de sus formas es el agente principal de la erosión. La lluvia barre la tierra suelta y penetra en las grietas de las rocas. El CO₂ del aire reacciona con el agua lluvia formando el débil ácido carbónico que ataca químicamente la roca someténdola a una acción definitiva de largo plazo.

La lluvia se infiltra bajo tierra pudiendo reaparecer después en forma de manantiales. De ellos nacen los arroyos y ríos que se abren paso entre las rocas, arrastrando material de los montes a la llanura.

Cuando hace mucho frío el hielo y la helada, pueden quebrantar las rocas y en las regiones perpetuamente frías formar glaciares, que excavan valles y arrastran grandes cantidades de rocalla arrancada por su erosión.

En las zonas secas el agente de erosión continuo es el viento y el más definitivo el agua de la ocasional lluvia. El primero arrastra menudas partículas de arena que pulen las rocas expuestas.

También los seres vivos contribuyen a la evolución del paisaje. Las raíces de los árboles se introducen a la fuerza por las grietas de las rocas acelerando su fragmentación. En cambio las raíces de las gramíneas y otras plantas menores ayudan a retener la tierra evitando su erosión por la lluvia y el viento.

La naturaleza misma de las rocas determina su susceptibilidad a los agentes erosivos, pues la caliza y el granito que reaccionan con el ácido carbónico de la lluvia resultan más propensos a la degradación química que otros tipos de rocas menos afectables por la lluvia ácida. La arenisca suele ser más dura que las arcillolitas y cuando ambas están expuestas en capas alternas, erosionado el segundo más que el primero, el afloramiento resulta con un aspecto corrugado y escalonado. Las cascadas y rápidos se producen, entre otros casos, cuando los ríos cruzan capas o intrusiones de roca ígnea dura situada sobre rocas sedimentaria más blanda.

Las fuerzas erosivas del viento, los glaciares, los ríos, las olas y las corrientes del mar son agentes esencialmente destructores, pero pueden ejercer también un efecto constructivo. Las partículas roídas por los ríos terminan depositadas en deltas y marismas en forma de estratos de fango y arena; las que lleva el viento en las zonas áridas descansan en forma de arenas de desierto, y los grandes peñascos y partículas de arcilla que producen y transportan los glaciares dan lugar a espectaculares morrenas.

8.1.1 La meteorización física. Es causada por procesos físicos, se desarrolla fundamentalmente en ambientes desérticos y periglaciares. Es que los climas desérticos tienen amplia diferencia térmica entre el día y la noche y la ausencia de vegetación permite que los rayos solares incidan directamente sobre las rocas, mientras en los ambientes periglaciares las temperaturas varían por encima y por debajo del punto de fusión del hielo, con una periodicidad diaria o estacional.

8.1.2 La meteorización química. Causa la disgregación de las rocas y se da cuando los minerales reaccionan con algunas sustancias presentes en sus inmediaciones, principalmente disueltas en agua, para dar otros minerales de distintas composiciones químicas y más estables a las condiciones del exterior. En general los minerales son más susceptibles a esta meteorización cuando más débiles son sus enlaces y más lejanas sus condiciones de formación a las del ambiente en la superficie de la Tierra.

8.1.3 Alteración tectónica e hidrotermal. No son formas de meteorización la alteración tectónica y la alteración hidrotermal. La primera está asociada a los ambientes de fallas activas, mientras la segunda es una forma de degradación ocasionada por fluidos hidrotermales, la cual tampoco puede ser tomada por meteorización. Producto de una y otra forma de alteración son, en su orden, las brechas tectónicas y la argillización de materiales, dos fenómenos frecuentes en la zona andina colombiana. Tampoco es intemperismo ni la acción abrasiva de olas, corrientes, hielo y viento; tampoco la acción del hombre ni el efecto mecánico del vulcanismo, la gravedad y el diastrofismo (inclinación, plegamiento y fracturamiento de roca).

8.2. FACTORES DEL INTEMPERISMO FISICO O MECANICO

Los factores del intemperismo mecánico son: insolación, gelivación, palpitación, exfoliación, acción de las raíces y crecimiento cristalino.

8.2.1 La insolación. Fenómeno de expansión y contracción térmica del material por variaciones de la temperatura. Si la variación es súbita afectará la superficie de la roca; si es lenta, interesará toda la masa. En el segundo caso aparecerían fisuras cuando el material heterogéneo, (minerales con diferentes coeficientes de contracción y dilatación), pueda generar respuestas diferentes en términos de

esfuerzos. La insolación es más eficiente en los desiertos pues la sequedad ambiental permite que durante el día el calor no se pierda en calentar la humedad de la atmósfera y durante la noche no exista reserva atmosférica de calor para que caiga la temperatura.

8.2.2 Gelivación o acción de las heladas. Este factor es más eficiente que el anterior. Cuando el agua penetra en las fracturas de las rocas para luego congelarse, aumenta su volumen en un 9% y genera esfuerzos que fracturan el material. Con variaciones de la temperatura por arriba y abajo del punto de congelación y el nuevo abastecimiento de agua penetrando en el material a través de diaclasas y poros, el hielo, actuando en forma semejante a una cuña, hará progresar las disyunciones afectando sucesivamente el material.

Cuadro 9. Resistencia de algunas rocas en Kgf/cm²

Roca sometida	compresión σ_c	tracción σ_t	corte τ
Arenisca	150-500	10-30	50-150
Caliza	400-1400	30-60	100-200
Granito	1000-2800	30-50	150-300
Diorita	1000-2500	-	-
Gabro	1000-1900	-	-
Basalto	2000-3500	-	-
Mármol	800-1500	30-90	100-300
Pizarra	700	250	150-250
Concreto Corr	210	20	10

Belousov, V. V. Geología estructural, MIR, 1979.

Mecánicamente es más vulnerable la roca cerca a la superficie que en el interior y es más competente a esfuerzos de compresión que a esfuerzos de tensión y cizalladura según lo enseña el cuadro 9.

8.2.3 Palpitación. Es el movimiento del suelo causado por masas lenticulares de hielo, cuando el agua lluvia que ha penetrado al subsuelo se congela durante el invierno aumentando su volumen. El mecanismo de congelamiento-fusión del agua, conforme la temperatura fluctúa por arriba y abajo del punto de fusión, da el particular movimiento que conduce a la alteración física del suelo.

8.2.4 Exfoliación. Es una forma de meteorización que conduce, no a la desintegración granular de la roca, sino a su descamación, pues se desprenden de la roca láminas o capas curvas. Se presentan dos productos de exfoliación: los domos de exfoliación por despresurización de un macizo rocoso, y los peñascos intemperizados esferoidalmente, por exfoliación térmica.

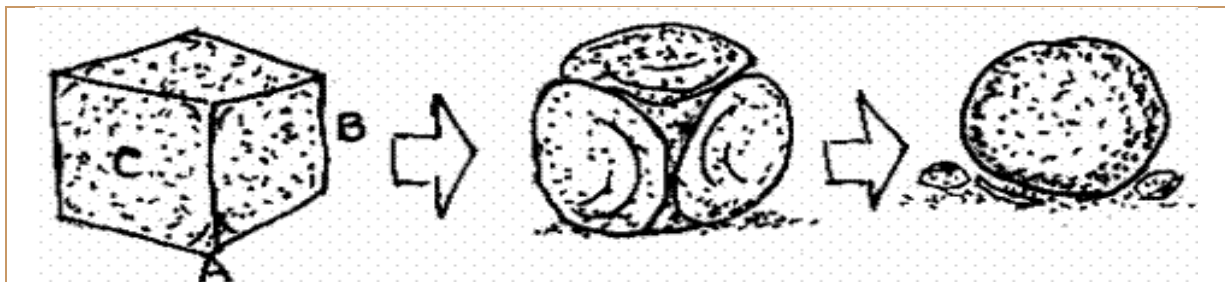


Figura 35. Formación de un peñasco esferoidal: proceso dado a partir de un bloque, por meteorización diferencial. En A convergen tres caras, es la zona más frágil. En la arista B convergen sólo dos caras mientras en el costado C hay una cara. B es menos resistente que A y más que C. Adaptado de Longwell y Flint, Geología Física.

La despresurización es un relajamiento mecánico de una masa rocosa cristalina sepultada que posteriormente por erosión, emerge. La pérdida de presión de confinamiento significa una caída de las fuerzas confinantes y como respuesta un incremento en el volumen de la masa ya descubierta, para que las fuerzas de distensión den el domo, como ejemplo el Pan de Azúcar en Río de Janeiro o el Peñol en Guatapé (Antioquia).

La exfoliación térmica, segunda forma, es el efecto mecánico del intemperismo químico que favorece la separación de capas sucesivas y delgadas de un bloque inicialmente cúbico que se transforma en esfera, por ejemplo el granito de bolas. En la fig. 35 el cubo se transformará

en esferas por velocidad diferencial de intemperismo ya que C con tres caras es más vulnerable que B con dos caras convergiendo y B es más vulnerable que A donde sólo se expone una cara.

8.2.5 Acción de las raíces. Las raíces que crecen en las grietas de las rocas generan esfuerzos de tracción. Se trata de un efecto de cuña asociado al engrosamiento de la raíz que se desarrolla y progresa, colaborando en la dislocación de los materiales rocosos.

8.2.6 Crecimiento cristalino. El crecimiento de cristales de sales a partir de disoluciones acuosas en los poros y diaclasas es también un importante factor de meteorización física, sobre todo en los climas áridos y semiáridos donde es muy común.

8.3. FACTORES DEL INTEMPERISMO QUIMICO

Los factores del intemperismo químico son cinco, el intemperismo mecánico, la composición mineralógica original, la profundidad de los materiales y las variaciones de la temperatura y de la humedad.

8.3.1 El intemperismo mecánico. Es el factor más importante de intemperismo químico, porque el proceso garantiza mayor área de exposición de los materiales.

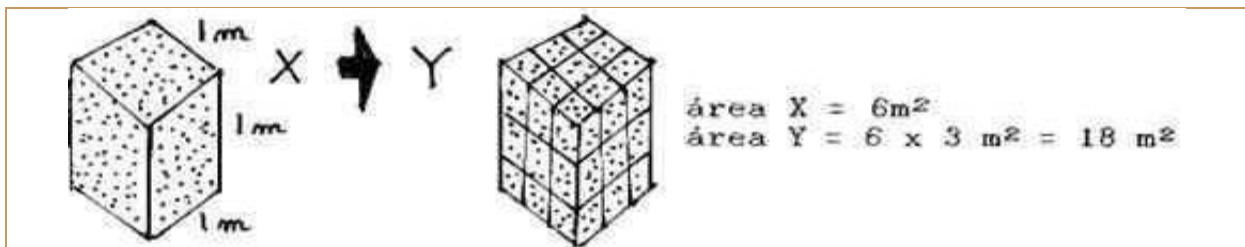


Figura 36. Bloque fracturado merced a un sistema de diaclasas. Las fracturas son ortogonales y de igual espaciamento. Se observa cómo el fracturamiento ofrece más área de exposición pues si el bloque X tiene 6 m^2 , la formación de pequeños bloques con aristas 3 veces más pequeñas, triplicará el área de exposición. Adaptado de Leet y Judson, Geología física.

8.3.2 La profundidad. Porque los materiales de la superficie están más expuestos a las variaciones de temperatura y la humedad y por consiguiente al aire y la materia orgánica. En la superficie existen organismos vivos que favorecen la alteración de la roca.

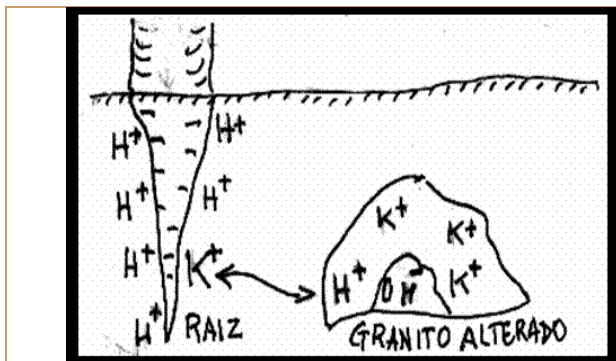


Figura 37. Raíz de una planta formando arcillas. Por las cargas eléctricas (-) de la raíz hay adherencia de iones de hidrógeno (H^+); la ortoclasa tendrá disponible iones de potasio (K^+). Adaptado de Leet y Judson, Geología física.

En la figura 37 se ilustra un proceso, de interacción planta suelo: por intercambio de cationes, el potasio pasa a alimentar la planta, intercambiándose por el hidrógeno, que pasa a oxidarse en la roca ígnea, donde se forma la arcilla.

8.3.3 La composición del mineral original. Este es un factor que alude a la génesis y tipo de roca, a su textura. Por ejemplo, entre los metales el hierro se oxida más rápidamente y entre los silicatos, según Bowen, el cuarzo resiste más que los otros de la serie.

8.3.4 La temperatura y la humedad. Son dos factores climáticos que condicionan la velocidad e intensidad de las reacciones químicas; la humedad favorece la producción de ácido carbónico, además de proveer otros ácidos de reacción. Las rocas se degradan por ciclos de

humedecimiento y secado antes que por una humedad y temperaturas fijas; la intensidad en la variación de ambos factores es el aspecto fundamental.

8.4. FORMAS DEL INTEMPERISMO QUIMICO

Estas formas dependen del agente y se denominan:

- **Disolución.** Es la forma más sencilla de ataque químico y consiste en disociar moléculas de rocas por ácidos como el carbónico y el húmico. Rocas solubles son las calizas y las evaporitas.

- **Hidratación.** Fragmentación de la roca como consecuencia del aumento de volumen producido por el agua de cristalización. Se explica porque algunos minerales pueden incorporar agua a su estructura cristalina, en proporción definida. Ej., yeso y anhidrita.

- **Hidrólisis.** Consiste en la incorporación de iones de H⁺ y OH⁻ a la red estructural de los minerales. Supone separar una sal en ácido y base. Cuando el agua se descompone para que el ion OH⁻ reaccione con las rocas, en especial silicatos y sobre todo feldespatos, se obtienen arcillas. Las rocas ígneas tienen cationes metálicos Mg, Ca, Na, K, Fe y Al, que con el hidróxido (OH⁻) forman bicarbonatos y carbonatos solubles.

- **Oxidación.** Aquí los componentes de las rocas reaccionan con el oxígeno que se halla disuelto en el agua. Ocurre frecuentemente en los compuestos de hierro donde es más visible por los colores rojizos y amarillentos del Óxido e hidróxido férrico, respectivamente.

- **Carbonatación.** Fijación del CO₂. Esta especie y el agua forman ácido carbónico. El H₂CO₃ reacciona a su vez con el carbonato cálcico para formar bicarbonato en los paisajes kársticos (propios de los yacimientos de mármoles, dolomías y calizas).

- **Reducción.** Que es disminuir o perder oxígeno, lo contrario de oxidación. Algunos minerales al sufrir reducción provocan la alteración de la roca.

8.5. FRAGMENTOS LITICOS

8.5.1 Tamaños de partículas en suelos típicos

Antes se pensaba que las propiedades de un suelo dependían exclusivamente del tamaño de sus partículas; hoy este concepto sólo es válido como una regla que se aplica a los suelos gruesos. Las arcillas y los limos finos tienen comportamientos asociados a fuerzas eléctricas, por oposición al de los suelos granulares, que es de carácter mecánico.

Son varios los sistemas de clasificación de suelos, y la diferencia entre unos y otros radica en los tamaños de partículas y fuerzas que actúan entre ellas. Gradación y frecuencia por diámetros para los suelos grueso-granulares friccionantes (arenas, gravas, etc.), y límites de plasticidad y consistencia para los fino-granulares cohesivos (limos y arcillas).

Cuadro 10. Tamaños típicos de partículas y fragmentos de suelo.

NOMBRE DEL SUELO	TAMAÑO PARTICULA mm)	TERMINO CUALITATIVO
Arcilla	Inferior a 0.002	Similar a la harina
Limo	Fino 0.002 - 0.006 Medio 0.006 - 0.02 Grueso 0.02 - 0.06	Azúcar pulverizada donde los granos no se distinguen
Arena	Fino 0.06 - 0.2 Media 0.2 - 0.6 Grueso 0.6 - 2.0	Azúcar o sal de mesa; los granos se distinguen
Grava	Fino 2.0 - 6.0 Medio 6.0 - 20.0 Grueso 20.0 - 60.0	Mayor que la cabeza de una fósforo
Canto rodado (guijarros)	60.0 - 200.00	Mayor que el puño de un niño. Piedras propiamente dichas
Boleos o bolos	Superior a 200	Piedras y bloques

Adaptado de Alberto J. Martínez Vargas, Geotecnia para ingenieros, Lluvia Editores, 1990.

8.5.2 Tipos de arcillas. Las arcillas son, en el sentido mineralógico, cristales microscópicos con átomos dispuestos en planos. Los cationes de silicio y aluminio, principalmente, están en el interior de una trama de átomos de oxígeno cuyas esferas iónicas son voluminosas.

Si el volumen de los vacíos de la trama de los oxígenos lo permite, los cationes señalados pueden sustituirse por otros de hierro, magnesio, calcio o potasio. Otros iones pueden completar las capas y unir las entre sí.

Las principales arcillas, son: la caolinita, que presenta una baja capacidad de intercambio y dos capas de cationes, se llama arcilla 1/1 (capa tetraédrica + capa octaédrica); la illita y la esmectita (por ejemplo, la montmorillonita) que son arcillas 2/1 con una capacidad de intercambio media en la illita y alta en la montmorillonita (arcilla hinchable o expansiva).

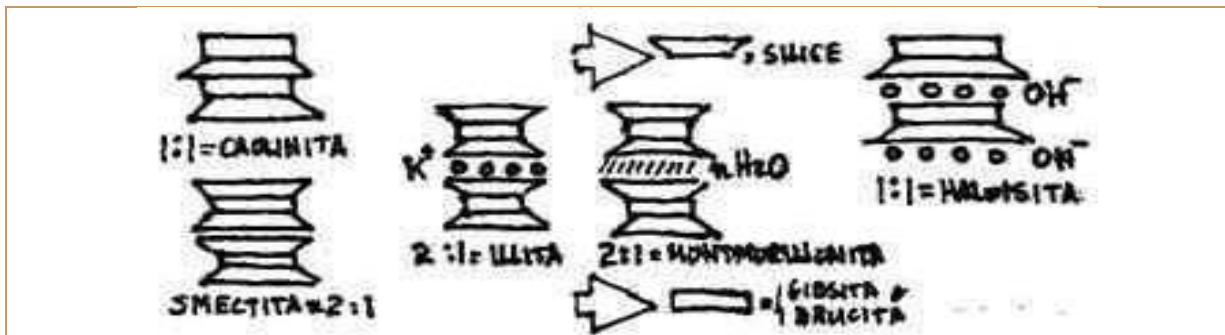


Figura 38. Representación simbólica de las arcillas. La estructura fundamental se establece con un rectángulo y uno o dos trapecios. El trapecio representa un tetraedro de silicio y el rectángulo un octaedro de Aluminio (gipsita) o de Magnesio (brucita). Según Juan Montero, curso de Geología Universidad Nacional.

Los minerales de arcilla producirán caolinita si el clima es tropical drenado y en especial cuando el material parental es granito, illita si se da en clima seco y frío y montmorillonita, que se asocia a bentonita si se da en suelos alcalinos, pero mal drenados.

- **La caolinita.** Es rica en sílice y aluminio, colores: blanco, amarillo, verde y pardo. Muestra una perfecta exfoliación, es apreciada para fabricar utensilios.

- **La illita.** Está ligada por potasio, con sílice y aluminio; normalmente amarilla o roja, si tiene hierro, o blanca si es pura.

- **La montmorillonita.** Presenta magnesio o aluminio hidratado entre láminas de silicio. Tiene en su estructura molecular n moléculas de agua; el parámetro n , variable, le da su característica de expansiva.

Para distinguir entre limos y arcillas debemos precisar que la cohesión entre las partículas de arcilla es mayor, tanto en el estado seco como húmeda. Un trozo de arcilla seco es duro y resistente, el de limo tiende a pulverizarse. Dentro de ciertos grados de humedad la arcilla es plástica, mientras el limo trata de agrietarse. Los granos de arcilla son más finos y se precipitan tardíamente en aguas tranquilas, siendo el tiempo de asentamiento para el material disperso en una vasija, de horas a días para la arcilla y de minutos u horas para los limos.

Debe tenerse en cuenta la movilidad de los cationes. Es alta en los cationes de Ca, Na, Mg y K; mediana en los de K, Mg, Si y Fe^{+2} (ferroso), y baja en los de Al y Fe^{+3} (férrico). Por ello en suelos mal drenados quedan Ca, Na, Mg y K favoreciéndose la montmorillonita y en los bien drenados quedan sólo Al y Fe^{+3} formándose caolinita y óxidos de hierro. La illita se forma en suelos medianamente drenados.

8.5.3 Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo. Las arenas y las materias orgánicas presentan buena permeabilidad en estado seco o húmedo. Las arcillas no, sobre todo la illita y la montmorillonita. Las alófanos son la excepción, pues su permeabilidad en estado húmedo es alta.

La estabilidad volumétrica de arenas, limos, micas, carbonatos y sulfatos, es buena, mientras la de las arcillas no, y en particular la de la montmorillonita que es muy baja. La plasticidad y cohesión son muy altas en la montmorillonita y arcillas alófanos y muy baja en los limos.

La resistencia del material seco es muy alta en la montmorillonita, y del material húmedo es muy baja en limos, montmorillonitas y materia orgánica. La compactación con humedad óptima es muy alta en carbonatos y arcillas alófanos, pero muy baja en micas, montmorillonitas y materia orgánica.

La estabilidad al intemperismo es muy alta en la arena y los carbonatos y muy baja en micas y materia orgánica. La abrasividad es alta en las arenas y muy baja en arcillas, sobre todo en la illita y la montmorillonita.

La arena muy fina es abrasiva y no manifiesta cohesión; presenta además problemas ingenieriles cuando el material es uniforme. La mica se intemperiza fácilmente, es compactable y no tiene cohesión. La biotita causa más problemas que la moscovita. Los carbonatos se pulverizan fácilmente y son solubles en ácidos, mientras los sulfatos atacan al cemento Pórtland, tienen alta plasticidad y alta relación de vacíos.

La caolinita no es expansiva, es de baja plasticidad y baja cohesión, mientras que la illita y más aún la montmorillonita, son expansivas, de plasticidad media e impermeables. En ambas como en la clorita, hay que considerar la salinidad.

Deben tenerse en cuenta suelos con problemas ingenieriles como los suelos expansivos, colapsables, desleibles y dispersivos. En el medio ambiente puede haber sustancias activas y reactivas, y factores que alteren el suelo provocándole daños de composición, químicos y mecánicos, según sus componentes constitutivos.

Existen arcillas sensitivas y suelos que colapsan al recibir agua por primera vez. Hay suelos desleibles que son de naturaleza salina y portan iones Na^+ que los hace dispersivos. Los suelos activos pueden ser químicamente neutralizados.

La materia orgánica es de alta permeabilidad, difícilmente compactable y rápidamente degradable por oxidación. No sirve como material de fundación y debe evitarse en la base de los rellenos. Los minerales de alteración son la clorita y la sericita que explican fenómenos de cloración y sericitación. En este caso el mismo fluido produce en la masa ganancia de sílice cementante (silificación), mejorando las características de la roca alterada.

El potencial de licuación de una arena aumenta cuando el material es fino y suelto. Debe existir un ambiente saturado y amenaza sísmica con eventos de suficiente energía.

Para efectos prácticos es importante separar suelos sin fuerte influencia mineralógica, con fuerte influencia y con muy fuerte influencia. En el tercer grupo encajan los andosoles, por tener haloisitas y alófanas, mientras las lateritas encajan en el primero. Las alófanas tienen capacidad de almacenar agua y sufrir cambios de volumen irreversibles. Las haloisitas en últimas son livianas y cambian su naturaleza a alta temperatura. Las lateritas pueden ser fersialíticas, ferralíticas o ferruginosas, según el clima

8.6. SUELOS

Un suelo observado y definido en un momento dado es el resultado de todos los procesos que han transformado el material original, es decir, la roca que antes había donde hoy se halla el suelo.

El entendimiento de estos procesos permite conocer mejor y prever el comportamiento del suelo. El agricultor o el ingeniero modificarán estos procesos mediante aporte de elementos químicos, drenajes, etc.

El estudio de la génesis de los suelos, que se puede inferir de los cortes, presenta un doble interés práctico, puesto que permite definir los tipos y, en consecuencia, las unidades conceptuales y geográficas de suelos y así mismo plantear mejor las leyes del comportamiento del suelo.

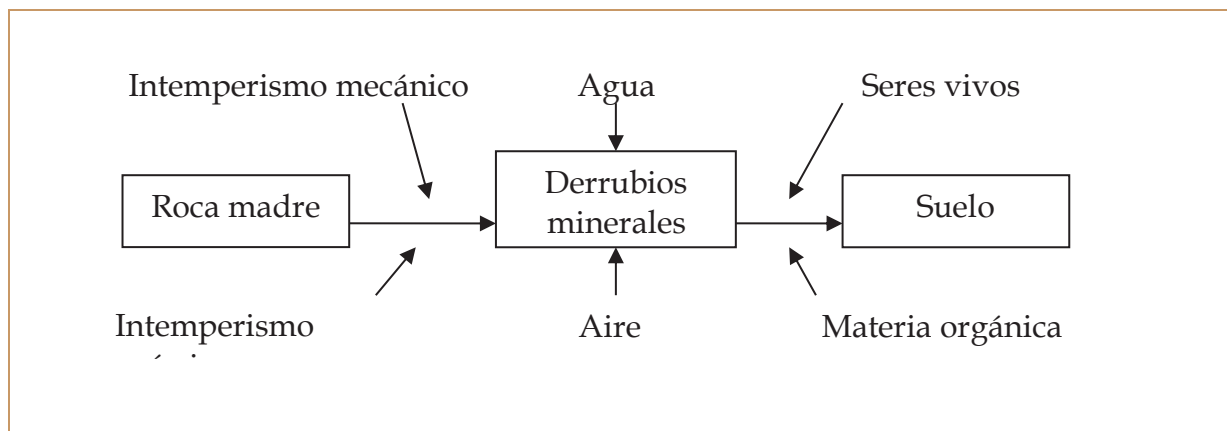


Figura 39. Etapas y procesos en la formación del suelo. El esquema muestra como la roca madre se transforma en derrubios minerales, y estos en suelo. Según Amoros García y otros, Geología.

Los procesos de alteración suponen la evolución de la materia mineral, casi siempre en interacción con la materia orgánica, y los procesos de desarrollo entrañan la aparición de organizaciones nuevas en comparación con la roca madre.

8.6.1 Definiciones relacionadas con suelos

- **Clima.** Condiciones del tiempo meteorológico en conjunto pero en un período de varios años (a largo plazo).
- **Lixiviación.** Remoción continua de materiales solubles, por las aguas que se introducen a través del regolito o por los poros e intersticios de las rocas.
- **Sedimentos.** Acumulación de partículas de rocas que han sido transportadas.
- **Regolito.** Es el material suelto constituido por partículas de rocas.
- **Suelo residual.** Es el suelo que cubre la roca de la cual se deriva. En consecuencia no es suelo transportado.
- **Suelo transportado.** Es el suelo que se forma lejos de la roca madre. En consecuencia no es suelo residual.
- **Tiempo (meteorológico).** Condición del aire a corto plazo, estado de la atmósfera.
- **Humus.** Residuo de la descomposición de tejidos orgánicos que da el color oscuro a la parte superior de un perfil de suelos y que con el agua genera ácidos que propagan el intemperismo químico.
- **Suelo.** Parte del regolito que sostiene las plantas y se estudia en la edafología.

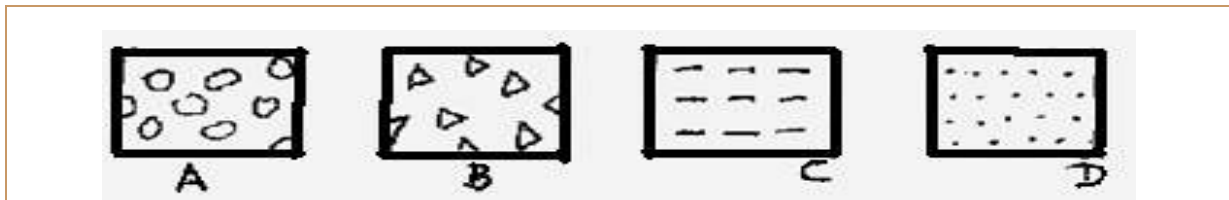


Figura 40. Depósitos sedimentarios con clastos. A. conglomerado, B. aglomerado y brecha, C. arcilla, D. arena. Fuente Diccionario Ilustrado de la Geología, Círculo de Lectores.

- **Saprolito.** Regolito que mantiene la estructura de la roca madre.
- **Agglomerado.** Depósito compuesto de bloques angulosos en una matriz fina.
- **Conglomerado.** Depósito compuesto de bloques redondos, en una matriz de finos.
- **Brecha.** Depósito compuesto de guijarros y chinias en una matriz fina.
- **Areniscas.** Depósitos consolidados de arena (rocas sedimentarias detríticas).
- **Limolitas.** Limos consolidados (rocas sedimentarias detríticas).
- **Arcillolita.** Arcilla consolidada (roca sedimentaria detrítica).

Las limolitas y arcillolitas se llaman genéricamente shale o lutita.

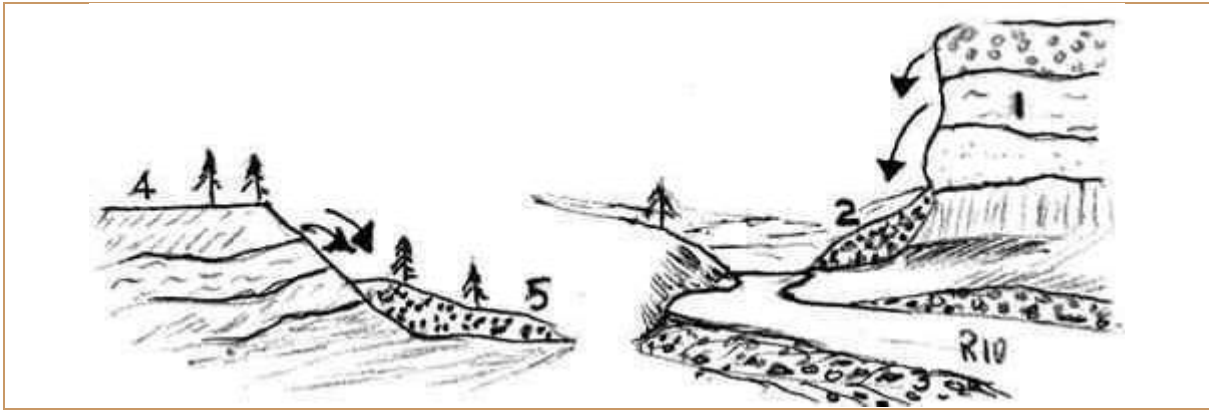


Figura 41. Otros depósitos sedimentarios. 1. Eluviión: depósito in situ; 2. Coluviión: depósito de ladera; 3. Aluviión: depósito de corriente; 4. Suelo autóctono: el que se desarrolla en la roca madre; 5. Suelo alóctono: el que ha sido transportado.

8.6.2 Perfil del suelo. El suelo es la capa que envuelve la corteza terrestre. Para el agrónomo, es la capa que está formada por una mezcla de compuestos orgánicos, material mineral, aire y agua, y que además de dar soporte para el crecimiento de las plantas, suministra elementos nutritivos para las mismas. El suelo tiene su origen en el material petrográfico que se transforma. A medida que la roca se altera de esa manera en profundidad, se da una sucesión de capas entre la superficie y la roca madre, denominada perfil del suelo, el que puede tener un espesor del orden de 1.2 metros. Se denomina suelo maduro al que presenta el perfil completo (suelo evolucionado).

- **El horizonte A.** Es la capa más superficial, fácilmente reconocible por su color oscuro debido a que es la más rica en materia orgánica. Su espesor es variable y depende del grado de erosión y del clima predominante.

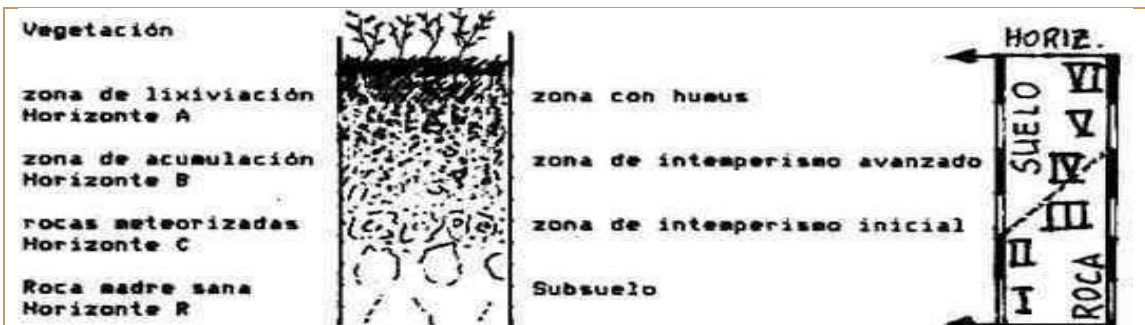


Figura 42. Perfil de un suelo: los horizontes reflejan una anisotropía vertical, cuyas características están bien determinadas. En geotecnia, los horizontes se denominan con números romanos de abajo hacia arriba, siendo I la roca sana y VI el suelo orgánico, como aparece a la derecha. Adaptado de Juan Montero, curso de geología, U. Nal.

El horizonte A presenta uno u otro de los caracteres siguientes o ambos al mismo tiempo: a) presencia de materia orgánica y b) empobrecimiento de constituyentes, tales como arcilla, hierro, aluminio, etc. Además, puede mostrar unos subhorizontes que se superponen de arriba abajo cuando están presentes simultáneamente en el perfil, así: A₀₀, un horizonte de superficie formado por residuos vegetales fácilmente identificables; A₀, un horizonte constituido de restos vegetales, parcialmente descompuesto y prácticamente irreconocibles sobre el terreno; A₁, un horizonte que normalmente contiene menos del 30% de materia orgánica bien mezclada con la parte mineral y de color generalmente oscuro; A₂, un horizonte de color más claro que el anterior, empobrecido en hierro, arcilla y aluminio y con una correlativa concentración de minerales, y el horizonte A₃, que es de transición

- **El horizonte B.** Es la capa que se encuentra inmediatamente debajo de la capa A; es de un color más claro y de un espesor variable, dependiendo del grado de desarrollo del perfil. Se puede considerar esta capa como de transición. Normalmente contiene más arcilla y óxidos de hierro que los estratos A y C. El material lixiviado se acumula en este horizonte y genera problemas de actividad en los suelos, lo que lo constituye en un problema como estructura de fundación.

El horizonte B es claramente diferenciable por su estructura, color y componentes, resultando diferente de la roca madre y con los minerales primitivos profundamente alterados o transformados. El horizonte B se subdivide en tres, así, el B₁ que es de transición con A pero más parecido a B que a A, el B₂ que constituye la parte esencial de B y que corresponde ya sea a la acumulación principal o bien al desarrollo máximo de la diferenciación, y el B₃ un horizonte de transición con C, pero más parecido a B que a C.

- **El horizonte C.** Es la capa más profunda del perfil y constituye lo que se conoce como material parental, cuyo color puede ser rojo, amarillo, gris, etc., colores que dependen del grado de alteración y composición de la roca original. Se compone de trozos de roca suelta ligeramente meteorizados.

Este se define como horizonte mineral distinto de la roca inalterada y relativamente poco afectado por los procesos edafogénicos que llevaron a la individualización de los horizontes A y B, subyacentes.

- **El horizonte R.** En la base del conjunto estaría el horizonte R, que es la roca no alterada situada bajo el perfil y que puede perfectamente no ser la roca madre del suelo o serlo sólo parcialmente.

En Colombia son frecuentes las bauxitas y lateritas, que son depósitos residuales formados bajo condiciones muy calientes y húmedas. Las bauxitas contienen óxidos de aluminio hidratados y las lateritas óxidos de hierro hidratados.

8.6.3 Estructura y textura de los suelos. En el horizonte A del suelo predomina la fábrica textural.

En el horizonte B hay equilibrio entre textura y estructura. En el horizonte C predomina la fábrica estructural. Los horizontes A_{00} y A_0 son suelo residual incompetente para fundaciones, donde no se reconoce la macrofibra de la roca.

Los horizontes A_1 , A_2 y A_3 son roca completamente meteorizada donde se conservan los rasgos de la roca. Estos son los horizontes VI y V, yendo de la superficie hacia abajo. En ellos la estabilidad está gobernada por la fábrica textural.

El horizonte B_1 , y en ocasiones B_2 , muestra roca altamente meteorizada con fragmentos desmenuzables. Este es el horizonte III donde el suelo predomina sobre la roca. El horizonte B_3 , y en ocasiones B_2 , muestra roca moderadamente meteorizada con fragmentos no desmenuzables. Este es el horizonte IV, donde la roca predomina sobre el suelo.

El horizonte C muestra en la parte superior roca débilmente meteorizada y en la parte inferior roca fresca competente para fundar. Se requieren explosivos para excavar este horizonte. Estos son los horizontes V y VI respectivamente, en los que predomina la fábrica estructural.

La roca como material primario de los suelos tiene un alto grado de variabilidad, la que se manifiesta en las características físicas, químicas y estructurales de los suelos. Así, si un granito da origen a suelos arenosos, el basalto, a suelos arcillosos. En el primer caso predomina el cuarzo y la acidez del suelo, y en el segundo disminuyen, dando paso al hierro, al aluminio y a los minerales básicos. Estructuralmente, los agregados de partículas de suelo, en los que participan arenas, limos y arcillas, se forman merced a la arcilla y la materia orgánica que actúan como cementantes de los "terrones".

De la proporción de partículas finas en el suelo, se crearán condiciones más o menos favorables para el movimiento de agua capilar, existirá o no un buen drenaje del suelo y se tendrá un suelo de relativa plasticidad, nivel de cementación y porosidad.

La fertilidad del suelo, es decir, la presencia de elementos nutrientes para las plantas, depende no sólo de la roca madre, y minerales presentes, sino de los niveles de alteración que alcancen. La fertilidad, se puede traducir en productividad si las condiciones físicas y químicas garantizan elementos nutritivos abundantes al alcance de las plantas. Los suelos arcillosos, de pobre aireación, de capa freática alta y fluctuante, crean dificultades para el buen desarrollo radicular.

La textura del suelo se refiere a la proporción en que se encuentran las partículas finas, pudiendo ser el suelo arenoso y suelto, el que por regla general es liviano; franco-limoso, suelo que por regla general resulta entre liviano y pesado, y suelo arcilloso, el que resulta pesado en razón de su densidad.

8.6.4 Proceso de degradación del suelo. Las arcillas son minerales secundarios derivados de aluminosilicatos, o también roca clástica y suelta, que además de minerales de arcilla tiene cuarzo sin brillo, con constitución terrosa y que al admitir agua se vuelve plástica. Como mineral puede ser principalmente caolinita, illita o montmorillonita, salvo cuando está en procesos de formación amorfa.

Del proceso de meteorización de los silicatos y la acción del H_2CO_3 , se obtienen minerales de arcilla y otros que dependen de la roca madre, del deslave de bases y del clima, principalmente, así: cuarzo y micas de los que posteriormente se deriva sílice en solución; carbonatos de Na, Ca y K, de los que posteriormente se obtiene la calcita, y carbonatos de hierro y magnesio, de los que se deriva la limonita y la hematita.

8.6.5 El color en los suelos. El color tiene importancia desde el punto de vista agronómico. La buena aireación se puede relacionar con la porosidad. Si es reducida, se dificulta la oxidación presentándose el hierro ferroso Fe^{++} de color gris, el que al oxidarse pasa a hierro férrico Fe^{+++} de color rojo.

- **El color negro.** Es debido al humus, y se debilita a medida que se oxida la materia orgánica. En suelos arenosos aumenta el aire con la labranza dándose la oxidación y desgaste que explica el debilitamiento del negro. Pero no siempre el negro se explica por humus. Existen pizarras, como las de la formación Villeta, o suelos con manganeso presente como los derivados del piso Guaduas.

- **El color rojo.** Se explica por hierro férrico no hidratado, compuesto que pone en evidencia un drenaje y aireación buenos. Contrariamente, el color amarillo se relaciona con el óxido de hierro férrico pero hidratado, anunciando humedad o mal drenaje.

- **El color gris.** Se explica por hierro no oxidado, es decir, óxido de hierro ferroso; puede tener variaciones que llegan hasta el azul. Si la tonalidad es gris, parda o amarilla, dentro de la zona de fluctuación del agua freática, falta drenaje y la aireación es poca o nula. Estos colores grises y moteados son frecuentes en suelos de topografía plana o en hondonadas donde el agua se acumula. De presentarse en laderas, donde el drenaje se facilita, sólo se explicarían por procesos de oxidación del material que da origen a esa tonalidad.

- **La materia orgánica.** Es el conjunto de los productos de origen biológico del suelo que en unos cuantos años y bajo climas medios, evoluciona químicamente a humus. Acto seguido el humus se mineraliza lentamente descomponiéndose el 1% de su masa cada año en compuestos químicos simples como el CO_2 y el NH_4 . Así, el humus es una fuente de nitrógeno por lo que resulta de utilidad conocer la cantidad total de humus de un suelo y la relación carbono/nitrógeno del humus. El humus y la arcilla del suelo, son coloides electronegativos.

8.6.6 Factores de evolución y formación de los suelos.

- **El material Parental.** La porosidad, la permeabilidad, la constitución, etc., de la roca madre. La roca subyacente determina buen número de las características de los suelos y sobre todo de los suelos jóvenes, mientras los horizontes superficiales se forman a partir de materiales de aporte, ajenos a la roca subyacente. Las propiedades químicas del material tienen una gran influencia sobre la evolución del suelo. Los suelos formados sobre rocas ricas en bases a menudo presentan arcillas tipo illita o montmorillonita, son ricos en humus y más fértiles, mientras las rocas ácidas pueden dar origen a suelos con arcilla tipo caolinita o vermiculita, en general más lixiviados y más pobres que los anteriores.

- **Tiempo (cronológico).** Se puede hablar de suelo maduro o joven, pues el clímax en la formación de un suelo demanda de decenas a miles de años. La duración puede intervenir como un factor de diferenciación, de tres maneras: a) las propiedades del suelo varían en función de la hora (temperatura, contenido de CO_2 atmosférico y actividad de elementos vivos. b) En función de la estación, el contenido de agua, de nitrógeno nítrico, el pH, etc. c) Por último, en el transcurso de los años, pues un suelo pasa por las fases de juventud, madurez y senilidad. Además el clima de la Tierra cambia a largo plazo.

- **Topografía.** Porque de divisorias, vaguadas, valles y pendientes del terreno, depende su drenaje y la orientación de la ladera, siendo más favorable la que recibe el Sol matutino. Además en los flancos de los valles los espesores son menores que en las mesetas y hondonadas. No debe olvidarse que la topografía es a la vez una manifestación particularmente evidente de variaciones de edad, clima y roca.

- **Formadores biológicos.** La microflora y la microfauna son fuente de humus y la dependencia suelo-fauna, resulta vital para la acción bacteriana. Algunos de estos seres son los transformadores iniciales de la energía química para la evolución del suelo y otros utilizan parcialmente esta energía para transportes que modifican el suelo. Los animales provocan transporte de materia y contribuyen a la transformación de la materia orgánica, mientras los vegetales actúan mediante la subida de los cationes extraídos por las raíces y concentrados en la superficie; además la planta protege el suelo contra elementos atmosféricos, sintetiza las materias orgánicas gracias a la luz solar y tiene efectos mecánicos y químicos por el crecimiento y la acción de las raíces.

- **Clima.** De la temperatura y del balance hídrico dependerá la velocidad e intensidad de acciones de las reacciones químicas típicas del intemperismo químico. Cuando los factores climáticos son mínimos como en los desiertos fríos o en los desiertos cálidos y secos, el suelo no evoluciona. Sobre una misma roca varía el suelo con el clima, así: en las zonas frías del norte de Europa y sobre un granito existen suelos poco desarrollados; en Francia, bajo un clima templado húmedo, encontramos suelos lixiviados, y en Costa de Marfil bajo un clima tropical húmedo existe un suelo ferralítico.

8.6.7 Clases de suelos. Se pueden distinguir trece clases de suelos, de las cuales se darán indicaciones generales sobre procesos de formación, principales variaciones y posibilidades de utilización.

- **Suelos minerales brutos.** Comprende suelos de desiertos calientes y de desiertos fríos. La falta de evolución puede ser debida a causas climáticas. Estos suelos pueden ser suelos con minerales brutos organizados y no organizados y pueden ser suelos con minerales brutos blandos o macizos y compactos.

- **Suelos poco evolucionados.** Comprenden suelos no climáticos, climáticos y orgánicos. Esta clase agrupa los suelos en los cuales la alteración de los minerales primarios queda limitada y la diferenciación de los suelos es poco discernible, salvo la del horizonte superficial humífero. Es evidente que no existe horizonte B por lo que el perfil es del tipo A C.

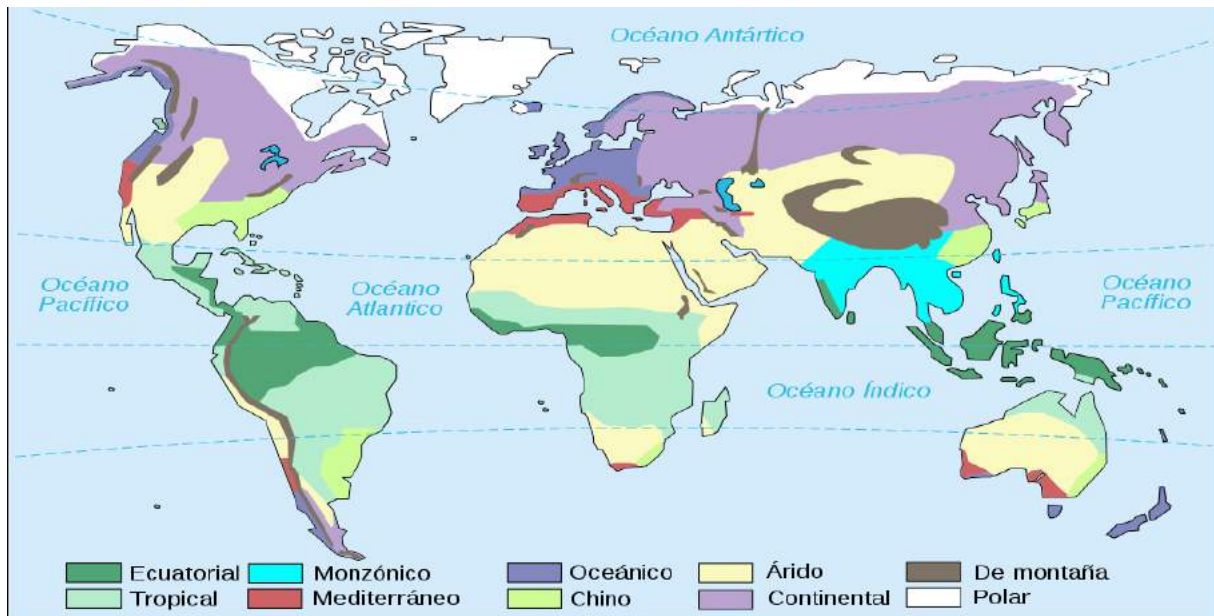


Imagen 43C. Zonas climáticas del mundo, en <https://commons.wikimedia.org>

- **Vertisoles.** Son suelos de regiones cálidas bastante húmedas con prolongada estación seca. Tienen color muy oscuro no por materia orgánica sino por su forma de fijación sobre la arcilla, la que siendo expansiva en proporción supera el 30%. Durante el período seco el suelo se agrieta y los pequeños poliedros caen dentro de las grietas de contracción. En estado húmedo los vertisoles son plásticos y pegajosos.

- **Andosoles.** Están asociados a materiales volcánicos (tefras). Son suelos muy negros, friables y caracterizados por la abundancia de productos amorfos en su fracción mineral. Su densidad aparente es baja (0,8) pero el contenido de agua del suelo in situ puede alcanzar el 200%. Presentan propiedades tixotrópicas muy destacadas, pH ácidos (4 a 6) y materia orgánica estable.

- **Suelos calcimagnésicos.** Su génesis está dominada por la presencia de carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio. Están asociados a rocas calcáreas, dolomíticas o yesosas. Si el suelo es cálcico, el perfil es de poco espesor y tipo A-C, generalmente. En climas muy húmedos templados los suelos sobre calizas duras son ácidos. A menudo los suelos calcimagnésicos son deficitarios en nitrógeno a pesar de un buen contenido de humus y son pobres en fósforo asimilable porque este elemento se encuentra precipitado en forma insoluble.

- **Suelos isohúmicos.** El contenido de materia orgánica decrece con la profundidad, pero se mantiene considerable. Es un humus de estepa rico en nitrógeno y ácidos húmicos grises. Su vegetación es a veces de gramíneas y otras de arbustos. En ellos es intensa la actividad biológica; la arcilla se presenta estable acumulándose ligeramente en profundidad, donde se concentra también la caliza. La definición y clasificación de estos suelos plantea el máximo de problemas en las regiones de clima caliente.

- **Suelos empardecidos.** Comprende los suelos lixiviados y los suelos pardos. Estos suelos evolucionan bajo la acción de una materia orgánica que se descompone rápidamente, generando compuestos insolubles que afectan la arcilla y forman agregados relativamente estables. El hierro se libera parcialmente bajo la forma de hidróxidos que se unen a la arcilla y al humus. Son suelos típicos de regiones templadas y a veces de climas calientes semihúmedos.

- **Suelos podsolizados.** En regiones de temperatura media bastante baja, a menudo con invierno muy frío y abundantes precipitaciones, bajo bosque de coníferas, los suelos presentan en superficie un horizonte de humus muy tosco y en profundidad un complejo enriquecido con humus pardo oscuro mezclado con materia mineral y sesquióxidos de hierro, ocre orín y aluminio de alteración. Aunque generalmente son suelos profundos, los que son ácidos y tienen humus muy burdo son muy poco fértiles.

- **Suelos con sesquióxidos metálicos.** Esencialmente en los trópicos y zonas mediterráneas hay suelos rojizos y pardos, ricos en sesquióxidos metálicos de hierro e incluso aluminio y magnesio. Exhiben concreciones metálicas y caparzones endurecidos. Esta excepcional riqueza de sesquióxidos se debe a una alteración muy apurada de los minerales de la roca bajo la influencia de un clima suficientemente caliente y húmedo, en presencia de materia orgánica, que se descompone rápidamente.

- **Suelos fersialíticos.** Comprende suelos rojos y pardos fersialíticos y suelos ferruginosos tropicales. Son suelos con sesquióxidos de hierro, un humus muy evolucionado y presencia de un complejo arcilloso de illita dominante con caolinita y montmorillonita e incluso vermiculita. Son ricos en goethita, hematita y complejos de hierro-silíce. Los ferruginosos tropicales son muy ricos en hierro libre y se forman en clima tropical semihúmedo con larga estación seca y en ambiente de sabana arbustiva o arbórea. Se dan en ambientes a temperaturas entre 20 y 25 °C y bajo precipitaciones de 1000 a 1500 mm anuales, mientras los fersialíticos se forman en climas con temperaturas entre 13 y 20 °C y precipitaciones entre 500 y 1000 mm anuales.

- **Suelos ferralíticos.** Estos suelos que presentan acorazamiento, se dan en climas con temperaturas entre 25 °C y la máxima y precipitaciones de más de 1500 mm. En el trópico bajo sabana, el suelo más frecuente es de tipo ferruginoso, por el clima, pero bajo bosque, casi siempre el ferralítico es el más abundante, es más profundo y coloreado, con mejor estructura y más friable. Los suelos ferralíticos se forman por la rapidísima descomposición de la materia vegetal, la acelerada alteración de los minerales de la roca madre y el elevado arrastre de bases y silíce. Forman tierras profundas, salvo en regiones tropicales suficientemente húmedas donde se presenta el acorazamiento por la liberación de óxidos e hidróxidos hierro, manganeso, aluminio, etc.

- **Clase de suelos hidromorfos.** Los fenómenos de excesos de agua en el suelo se pueden producir en suelos muy diversos. Ello supone un déficit de aireación que dificulta la oxidación y facilita la reducción microbiana. El hierro y el magnesio son más solubles en estado reducido y migran al interior del perfil formando concreciones, caparazones o manchas de color vivo. También migran todas las sales solubles mientras la materia orgánica se oxida lentamente para transformarse en turba.

- **Clase de suelos salsódicos.** Las sales solubles aumentan la presión osmótica y son principalmente cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, magnesio, calcio y menos frecuente, de potasio. Las sales solubles aumentan la conductividad de la zona saturada y el suelo se hace salado manifestándose su estado en la vegetación. El sodio, extremadamente móvil se fija sobre el complejo arcilloso degradando su estructura que se hace difusa.

En presencia de agua dulce la arcilla sódica se hidroliza y el horizonte superficial se convierte en un barro pero en la de agua salada o cuando el suelo se seca, la arcilla se flocula tomando una estructura prismática o cúbica.

8.7. ZONAS RICAS DEL PAIS

Los elementos biofísicos que conforman las regiones naturales de Colombia, cambian: mientras en el ecosistema de sabana tropical semi-seca de la Orinoquía aparecen los suelos más viejos del país, en la húmeda Amazonía y en el lluvioso Andén del Pacífico, las altas precipitaciones afectan su desarrollo; entre tanto, en la región Caribe donde la asimetría de varios factores como relieve y clima explica contrastes como los de la Guajira respecto a la región Momposina, también en la región Andina gracias al régimen bimodal de climas variados, paisajes de montaña, altiplanicies y valles, se han formado suelos en su mayoría jóvenes, de mediana fertilidad natural y ligera acidez; finalmente, mientras en la región insular del Pacífico no hay presencia de suelos, en el archipiélago la mayoría son fértiles y bien drenado.

Las cordilleras andinas son jóvenes y sus suelos no tienen la madurez ni la estabilidad de los suelos de la plataforma africana. Una hectárea en la sabana de Bogotá es 24 veces más productiva que una hectárea promedio en los llanos, suelos estos últimos lateríticos (oxidados). Similarmente, los suelos de la alta Cordillera Central, caso Marulanda (Caldas) y Murillo (Tolima), son en promedio 10 veces más productivos que los suelos de los Llanos Orientales colombianos. Igualmente, los del Chocó están lixivados por las intensas lluvias.

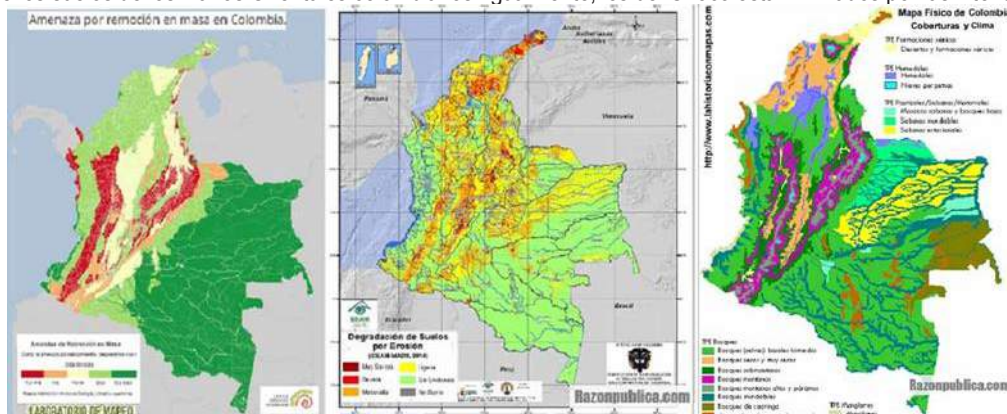


Imagen 44.A Colombia: movimientos en masa, erosión_coberturas y clima. Razón Pública.

De estas dos regiones sus suelos tendrán vocación para la ganadería extensiva, para la agricultura de subsistencia y para la silvicultura. En la zona andina se demandan prácticas para un uso y manejo adecuados de sus suelos inestables pero productivos.

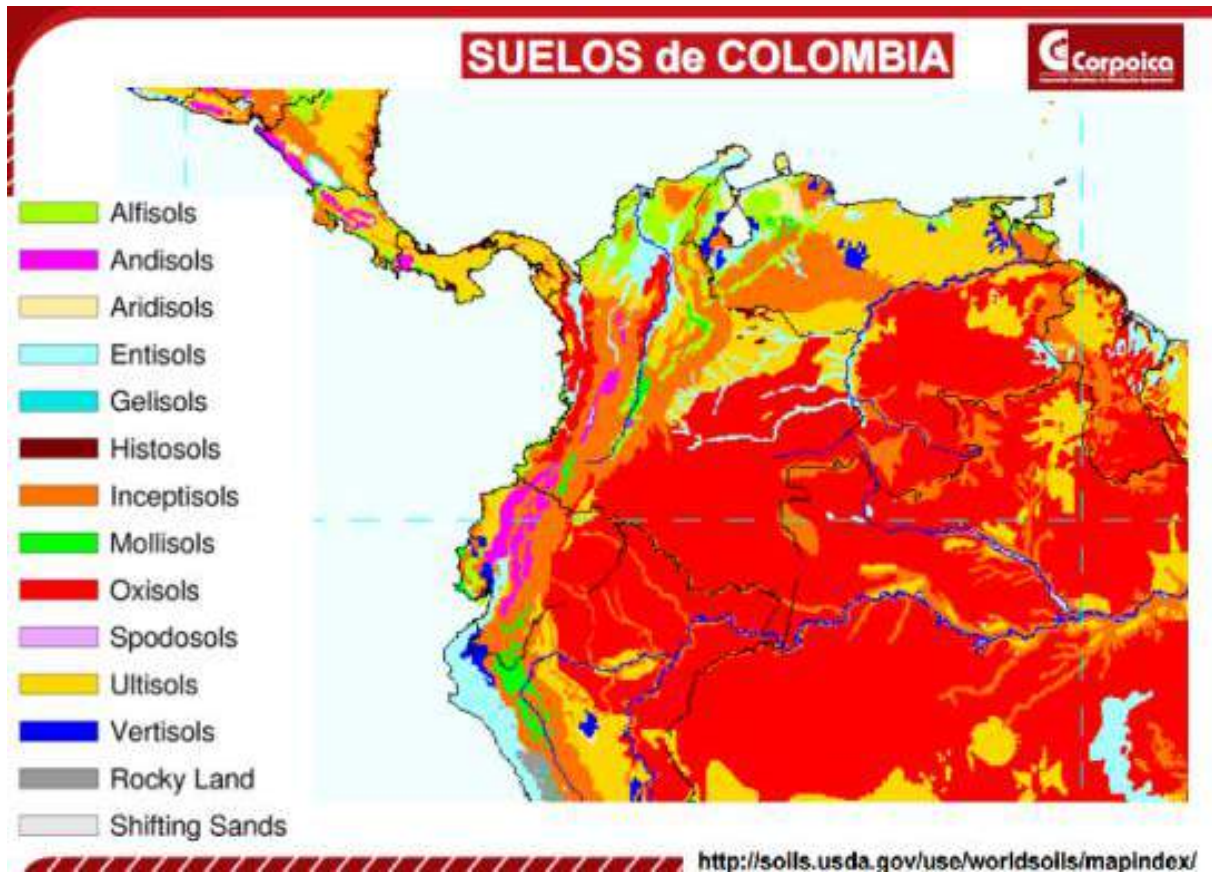


Imagen 44B: Mapa de Suelos en Colombia, según Corpoica, en [eusols.jrc.ec.europa.eu](http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/):

En fuertes pendientes, si el uso es agricultura, se deben evitar cultivos rotativos y en algunos deberá tenerse en cuenta prácticas de conservación (bosques, productores y no productores).

Por su alta productividad, en Colombia sobresalen las siguientes regiones:

- Valle del Cauca (desde Cartago hasta Cali).
- Valle del Magdalena (alto, medio, bajo).
- Valle del Sinú y San Jorge (unidad que incluye a Urabá).
- Altiplano Cundiboyacense (incluye la sabana).
- Región entre Túquerres e Ipiales.
- Zona Cafetera (desde Caicedonia a Andes).
- Región entre San Félix y Roncesvalles (incluye a Murillo y Marulanda).

En Colombia, de cada 10 Ha, cerca de 5 Ha presenta algún nivel de degradación y 3 Ha presentan son susceptibles a la desertificación o presentan algunos síntomas del fenómeno. Igualmente, en Colombia, donde 4 Ha de cada 10 Ha son de suelos aprovechables, los conflictos entre uso y aptitud del suelo vienen pasando factura al valioso patrimonio natural: de 4 Ha utilizadas en ganadería, solo 2 Ha resultan ser aptas para dicho uso.

En los fértiles valles del Magdalena Medio y Centro, al igual que en zonas fértiles del Bajo Cauca, Bajo Magdalena, Sinú y San Jorge el control de inundaciones, los sistemas de riego y el drenaje, serán factibles para habilitar grandes extensiones de tierras productivas, que no deberían estar destinadas a actividades de ganadería extensiva.

Además, mientras en regiones como el bajo Cauca, bajo Magdalena, Sinú y San Jorge los índices de subutilización alcanzan el 50%, en la cuenca occidental del Orinoco, región de los ríos Apure, Arauca, Meta y Guaviare, se presenta una notable subutilización de los suelos, así presenten limitaciones.

En la región andina, donde la potrerización ha avanzado niveles preocupantes, como lo muestra la ecorregión cafetera donde se acerca al 50% de las coberturas, cuantía que supera 12 veces la extensión apta para dicho uso, para enfrentar el cambio climático urge, además de una reducción sustancial de las superficies de pastoreo, una reconversión productiva soportada en prácticas agroforestales y silvopastoriles, y en la recuperación de los bosques de galería.

8.8- AMENAZA CLIMÁTICA EN EL TRÓPICO ANDINO

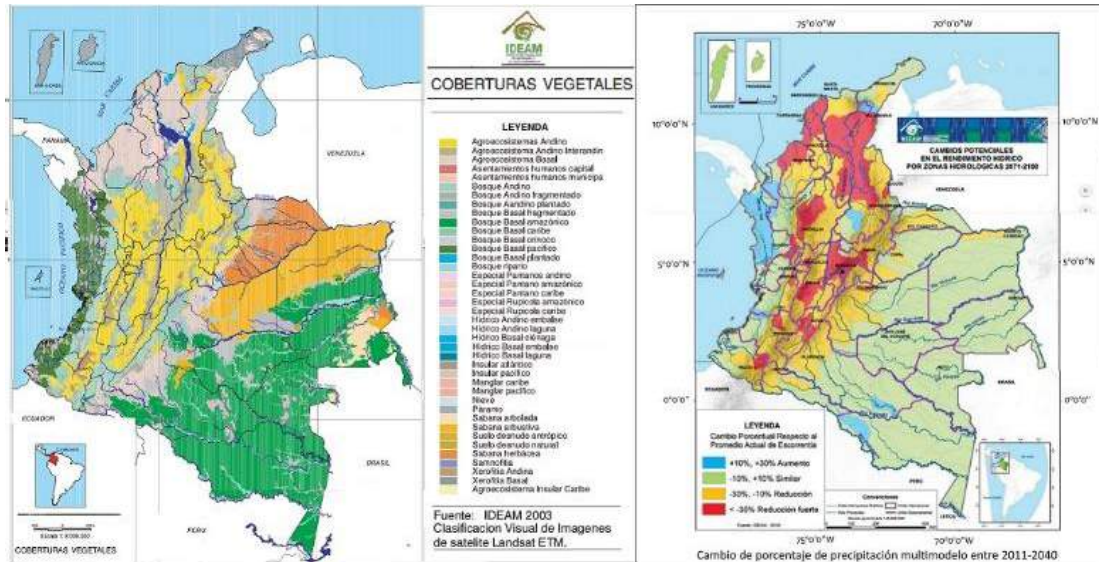


Imagen 45. Colombia: Coberturas vegetales (IDEAM 2003) y Estimación de la variación porcentual de la precipitación 2011-2040 (IDEAM).

Dado el calentamiento global, veamos los efectos esperados en los Andes colombianos, y algunas reflexiones y acciones frente a esta grave problemática ambiental. A pesar de los acuerdos internacionales legalmente obligatorios que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las evidencias que deja el dramático deshielo de las cumbres nevadas de Colombia y las lluvias anticipadas de julio tras un verano prolongado para la región andina del país, permiten afirmar que definitivamente han resultado insuficientes las acciones para prevenir los efectos del calentamiento del planeta, fenómeno explicado con un 90% de certeza por la actividad humana, y en especial por el uso intensivo de los combustibles fósiles.

Pero lo grave de esta modificación del clima global que surge de un modelo de desarrollo éticamente perverso, donde se proponen investigaciones en ahorro energético y desarrollo de nuevas fuentes de energía, solo para no detener una máquina industrial que desperdicia recursos naturales para mantener un consumo desmedido, son las graves consecuencias resultantes sobre el medio ambiente. De ahí que, frente a la impotencia que se advierte para enfrentar las causas del problema, habrá que considerar fórmulas de adaptación más locales, a fin de mitigar las consecuencias de un fenómeno que se traduce en desastres naturales y mayor pobreza para pueblos enteros, como contrapartida a los apetitos del mercado. Si bien el papel del Estado y la austeridad como valor están de por medio, la preservación y extensión de los bosques, las prácticas agroforestales y silvopastoriles, y la mitigación de la vulnerabilidad del hábitat frente a amenazas como flujos de lodo, deslizamientos e inundaciones, hacen parte de esa adaptación. Al subir la temperatura del planeta este siglo, entre 1,8° y 4° C de acuerdo a las características que presenten diferentes zonas, como consecuencia de la fusión de los glaciares también se incrementará el nivel medio de los océanos entre 18 y 59 centímetros dependiendo de la cuantía de la gravimetría de cada lugar. Las cuantías esperadas para Colombia son del orden de +3° C en la Región Andina y de +4° C en nuestras regiones costeras y de la Orinoquia y la Amazonía; además de un incremento alto del nivel del mar en el Caribe. Estos valores estimados para un escenario moderado, que serán definitivos para la pérdida de los ecosistemas glaciares de la patria, y graves para nuestras ciudades costeras y ecosistemas del litoral Caribe, afectarán el territorio mediterráneo. En la región andina las condiciones para las zonas de vida cambiarán en unos 500 m hacia niveles de mayor altitud, generando conflictos entre el tamaño de los predios y la nueva aptitud del suelo: por ejemplo, la actividad cafetera de estructura minifundista invadirá el escenario de las tierras templadas, y estas el de los bosques de niebla que emigrarán a las praderas de los actuales páramos. Pero esto no es todo, también se modificará la temperatura de las aguas de los océanos, fenómeno que a su vez provocará una mayor inestabilidad en la dinámica de la atmósfera y por lo tanto el desequilibrio generalizado en la máquina atmosférica, cuyas turbulencias se expresarán con olas de calor causantes de extensas sequías y frecuentes huracanes y vendavales cuando arribe El Niño, o con lluvias violentas de mayor intensidad y promedios históricos más altos, desencadenando riadas, inundaciones y deslizamientos en las temporadas de La Niña.

No siendo despreciable el impacto de los fenómenos climáticos exacerbados para el medio urbano colombiano, para dimensionar su perjuicio en el medio rural, esta puede ser una cadena típica de eventos: al arriar las lluvias, se incrementarán las tasas de erosión de las laderas de fuerte pendiente, conforme avance la socavación de los torrentes, causando la sedimentación de ciénagas y demás

humedales en los valles de salida de los ríos, valles que también resultarán inundados. Igualmente colapsará el transporte rural y con él la economía del campo, pues se reducirá la movilidad y conectividad de estas comunidades a causa de la destrucción de los escasos caminos de montaña, como por el anegamiento y destrucción de los carretables en las zonas llanas. Y con la mayor turbulencia de las aguas del mar a causa de la carga en suspensión aportada por los ríos e incrementada por la erosión costera dado el mayor ímpetu del oleaje, se reducirá la eficiencia de la fotosíntesis marina y por lo tanto el potencial de pesca, e incluso el de las cosechas de las tierras de cultivo fertilizadas con menos guano proveído por las bandadas que encontrarán menos peces.

* [Ref: LA PATRIA, Manizales, 2010-07-19] *

8.9- ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO, CASO MANIZALES

RESUMEN: Los siniestros de temporadas invernales que abaten a Manizales, obligan a repensar la gestión integral del riesgo asociado al cambio climático. Partiendo del examen de los conflictos y contradicciones que han desnudado los desastres, se proponen tres acciones: investigación e instrumentación de la amenaza, cambios en el modelo socioambiental, y políticas públicas para una planificación que incorpore la gestión integral del riesgo. No obstante, habrá que pensar en instrumentos como extremar medidas de protección de las fuentes hídricas, y el caso del suelo, la declaratoria de áreas de interés ambiental en predios estratégicos, para que la autoridad ambiental pueda ejercer un control efectivo.



Imagen 46: Vía al Magdalena, cerca a Manizales, en meridianoinformativo1390.com

Los desastres vividos por los siniestros invernales que abaten a Manizales, obligan a superar el pesimismo y desconcierto ciudadano, para repensar la gestión integral del riesgo asociado al cambio climático: a modo de ejemplo, el colapso del gasoducto y del servicio de agua, se pueden interpretar mejor al recorrer la vía al Magdalena, para señalar que lo que muestra su corredor con los mega deslizamientos, es la destrucción antrópica del suelo, a diferencia de lo que muestra la montaña reforestada del otro lado del río, en la que los ocasionales deslizamientos son la expresión de un fenómeno natural llamado erosión, más limitado. De ahí que la solución debe empezar por entender que conceptualmente una carretera va más allá de su pavimento, muros y transversales, al extender su dominio hasta las micro cuencas del corredor vial.

Al igual que lo sucedido con el Terremoto del Eje Cafetero (1999), donde las consecuencias superaron en varios órdenes las que se derivan de los acontecimientos de Manizales, suele ocurrir que siempre los desastres desnudan los conflictos y contradicciones que padece la sociedad afectada, al tiempo que sus consecuencias terminan flagelando con mayor severidad a los más pobres en razón a su vulnerabilidad económica y ambiental.

En primer lugar, la investigación e instrumentación de la amenaza, porque podría sentarse como tesis que, de mantenerse la dinámica del último lustro, sus efectos desbordarían nuestro nivel de resiliencia, por la incapacidad de recuperar la base económica y ambiental de la ciudad: al comparar Las Niñas 2007/8 y 2010/11, ambas de nivel moderado y 10 meses de duración, mientras en la primera las cifras de damnificados no llegaba a 50 mil por cada invierno y los eventos eran puntuales, en la segunda superó 2 millones en cada una de sus dos temporadas de lluvias, y como eventos quedaron cerca de 30 municipios para reasentar, caso Gramalote, para no hablar de Bogotá sumida en el agua de los humedales que le robó a la sabana.

En este asunto: ni conocemos debidamente la amenaza, ni hemos atendido el llamado que se ha hecho para implementar un centro de estudios que la atienda, como tampoco persistido con los estudios de la amenaza sísmica y volcánica, al haber dejado al Observatorio Vulcanológico de Manizales a su suerte.

En segundo lugar, la adaptación al cambio climático, lo que supone cambiar rumbos y corregir disfunciones en el modelo socioambiental, mediante una construcción social del territorio para establecer unas relaciones de simbiosis y parasitismo entre los habitantes y el medio natural, ecológicamente sólidas y compatibles con la cultura: para enfrentar la deforestación, la exposición a la amenaza y los conflictos entre uso y aptitud del suelo, surge como oportunidad el nuevo ciclo de ordenamiento territorial 2012-2023. Al respecto quisiera señalar que la Ingeniería como tal, no solo diseña del lado de la falla, sino que su propuesta científico-tecnológica en sí misma resulta insuficiente, requiriendo para su adaptación de los saberes y haberes de la cultura local.

Y en tercer lugar, las políticas públicas para una planificación que incorpore la gestión del riesgo de forma integral, asunto para el cual el Estado Colombiano ha dado pasos fundamentales, al cambiar el perfil de la anterior oficina de Prevención y Atención de Desastres que surgió tras los sucesos de Armero, por la Dirección General del Riesgo con mayor capacidad y jerarquía, al tiempo que empieza a fortalecer el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres SNPAD de Colombia, el sistema de información ambiental, la gestión del recurso hídrico y el inventario de asentamientos y aseguramiento de bienes en riesgo: Manizales y Caldas, deben ahora fortalecer sus instrumentos a nivel departamental y municipal, para emprender la rehabilitación, reconstrucción y prevención, sector por sector, sin perder de vista las acciones que van en curso desde Corpocaldas, la Oficina Municipal de Atención y Prevención de Desastres OMPAD de Manizales, y el Comité Regional para la Prevención y Atención de Desastres CREPAD de Caldas.

En relación con este tema, en Caldas urge resolver la carencia de instrumentos mínimos, como una cartografía temática y de detalle con mayor resolución para las zonas urbanas que las rurales e incluir en ella los mapas agrológicos.

Y para finalizar, sí de la prevención al desastre la diferencia es de un orden y del desastre a su recuperación de otro más, vale el dicho: “más vale prevenir que curar”. Sólo que las acciones han de ser de extremada urgencia y largo plazo, y por lo tanto estructurales, para desarrollar una cultura de adaptación al cambio climático, dada la complejidad de la crisis socioambiental de Colombia.

* [Ref: La Patria, Manizales, 2011-12-04]

8.10. ACCIONES FRENTE AL CLIMA Y EL “DESARROLLO”



Imagen: 47. Inundaciones en la región del Atlántico y sequías en la región del Casanare, de Colombia. Fuentes: Tusemanario.com y Colombia.com

RESUMEN: El planeta está en peligro por el cambio climático y la explotación insostenible de recursos. En Colombia, donde la Ley ambiental y las políticas ambientales se han acoplado más a los desafíos del mercado que a los retos del desarrollo sostenible: agua, suelo y biota; y ciertas áreas sensibles ecológica y culturalmente vitales para algunas comunidades; se ven amenazadas por proyectos mineros, macroproyectos y conflictos entre uso y aptitud del suelo.

Señala Ban Kin-moon, que el planeta está en peligro por el cambio climático y la explotación insostenible de recursos. En el fondo, sabemos que las fuerzas del mercado privilegian el crecimiento económico sobre los temas ambientales y sociales, lo que se revierte en efecto negativo para la ecología del planeta a través del cambio gradual del clima, y también sobre sociedades vulnerables a eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones consecuencia del calentamiento global, quienes deben soportar los crecientes costos ambientales en que se soporta el modelo de desarrollo y el confort de élites consumistas y rentas de países desarrollados. En dicho escenario la creciente urbanización con el transporte motorizado soportado en automóviles y las plantas termo-eléctricas e industrias basadas en el uso desmedido de combustibles fósiles, contribuyen al calentamiento global, y con él a la problemática de economías rurales del planeta.

En el caso de Colombia, donde agua, suelo y biota no son patrimonios, sino recursos, ciertas áreas sensibles ecológica y culturalmente vitales para algunas comunidades, legalmente terminan cediendo paso por la riqueza del subsuelo en beneficio de una empresa minera foránea o ilegal. Nuestra economía ayer soportada en el cultivo del café, ahora se fundamenta en minería extractiva y petróleo crudo, uno y otro: productos primarios de origen natural, escaso grado de transformación y sin valor agregado. Para el efecto, la Ley ambiental y las políticas ambientales se han acoplado más a los desafíos del mercado, que a los retos del desarrollo sostenible: en las áreas de alto valor por su biodiversidad, aunque ya se ha avanzado en la protección enfocada al tipo de compensación a que se obliga una industria extractiva, la actividad continúa gozando de reducidos gravámenes en Colombia.

Visto el cambio climático como un fenómeno gradual, a través de una investigación de la Academia de Ciencias de California, el Instituto Carnegie de Ciencias, la Institución Central Clima y la Universidad de California en Berkeley, se conoce la velocidad a la cual

los ecosistemas tendrán que adaptarse durante los próximos 100 años. El estudio advierte sobre la amenaza para algunas especies animales y vegetales individuales, con baja tolerancia a las variaciones del clima, dado que los hábitats naturales se han fragmentado como consecuencia de la acción antrópica. Dicha investigación que se publica en Nature, estima las velocidades en metros por año del cambio climático durante el siglo para diferentes ecosistemas, así: en bosques de coníferas tropicales y subtropicales, 80 metros; en bosques templados de coníferas, pastizales y matorrales de montaña, 110 metros; en zonas más llanas, incluidos desiertos y matorrales áridos, 710 metros; en manglares, 950 metros; y en pastizales inundados y sabanas, 1.260 metros.

Y respecto a los eventos catastróficos asociados al cambio climático, el Instituto Niels Bohr de la Universidad de Copenhague, informa que las tormentas extremas son muy sensibles a los cambios de temperatura; y advierte que el número de huracanes como el Katrina, el más destructivo del 2005, podría no sólo duplicarse sino incrementarse gracias al calentamiento de los océanos. Los desajustes de la máquina atmosférica trasladando los costos ambientales del modelo económico a escenarios rurales, como el Cuerno de África con la muerte de seres humanos por hambre y falta de agua potable en 2011, los hemos advertido en Colombia con la tragedia de decenas de poblados riverleños y de la sabana, anegados por los eventos climáticos extremos durante las Niñas 2007/8 y 2010/11.

Todo esto invita a revisar políticas y estrategias, acometiendo acciones de largo plazo acordes a las limitaciones de nuestro desarrollo, para avanzar en la adaptación al cambio climático y viabilizar el aprovechamiento de nuestros recursos estratégicos, implementando procesos ambientales y sociales responsables de cara al desarrollo sostenible de nuestros territorios. Esto, buscando entre otros objetivos: convertir las rentas de los recursos primarios en capacidades humanas, fortalecer el quehacer de las instituciones ambientales y la sociedad civil, ordenar las cuencas y blindar el patrimonio hídrico y la biodiversidad en áreas estratégicas, implementar la construcción de paisajes resilientes en los ecosistemas, proteger las comunidades rurales y artesanales de agresiones industriales, enclaves mineros y actividades extractivas ilegales, y fortalecer los procesos culturales endógenos.

[Ref. La Patria, Manizales, 2013-04-29]

8.11. COLOMBIA BIODIVERSA: POTENCIALIDADES Y DESAFÍOS

RESUMEN: Con 9.153 especies endémicas y 56.343 registradas en 2016, entre los doce países biodiversos del mundo, Colombia ocupa el segundo lugar después de Brasil, al tiempo que es el primero en aves y en orquídeas. Entre las áreas con mayor riqueza biológica, sobresalen la selva Amazónica, el Chocó Biogeográfico y el Macizo Colombiano. De los 81 ecosistemas que tiene Colombia, 38 presentan riesgo de deterioro por acciones antrópicas. Aunque el país cuenta con el «Sistema de Parques Nacionales Naturales» (SPNN) constituido por 59 parques naturales, Según el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt & la Universidad Javeriana, el Bioma de bosque seco tropical, el bioma de desierto tropical y los ecosistemas húmedos, son algunos de los que están en situación más crítica. Por fortuna, algunos de ellos podrían ser preservados al estar ubicados en resguardos indígenas y comunidades negras.

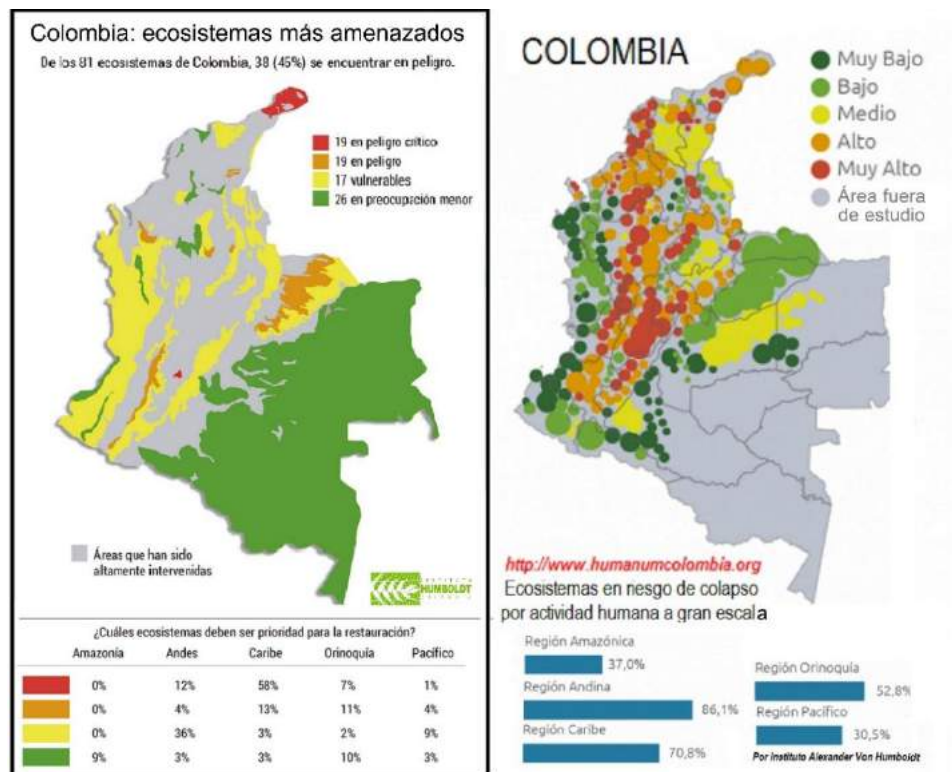


Imagen 48: Ecosistemas más amenazados y en riesgo de colapso, Instituto Alexander Von Humboldt.

Con 9.153 especies endémicas y 56.343 registradas en 2016, entre los doce países bio-megadiversos del mundo Colombia es el segundo, al tiempo que es el primero en aves y en orquídeas. También somos segundos en plantas, anfibios, mariposas y peces dulceacuícolas; terceros en palmas y reptiles, y cuartos en mamíferos. Sí en anfibios poseemos más de 700 especies de ranas, y en vertebrados terrestres unas 2.890 especies de las cuales 456 son mamíferos y 520 de reptiles, también poseemos cerca de 55.000 especies de plantas, de las cuales 1/3 son endémicas.

Pese a lo anterior, aunque contamos con el 60 por ciento de los páramos del planeta y con 59 áreas protegidas a nivel nacional, la biodiversidad está en riesgo en 38 de 81 ecosistemas por factores antrópicos que los destruyen, explotan o contaminan: al respecto, en 2014 el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, quien destaca que gran parte de la biodiversidad de Colombia se encuentra en territorios colectivos indígenas, había presentado un panorama “desalentador” por los efectos de siglos de transformación e intervención humana, para reclamar más educación y conciencia pública.

En cuanto al marco normativo, según la Constitución Política de 1991, los Parques Nacionales Naturales (caso PNN los Nevados) no prescriben, son inembargables e intransferibles; y las Áreas Protegidas (como las Reservas de Río Blanco y La CHEC) son declaradas a perpetuidad. Y en relación con el marco legal, la Ley 99 de 1993 crea el Sistema Nacional Ambiental SINA, donde los ecosistemas amenazados están mal representados. Además, mediante el Decreto único 1076 de 2015, se creó Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Colombia está dividida en seis regiones naturales: dos costeras en sendos océanos, dos más sobre el naciente de cara a las cuencas de la Orinoquía y Amazonía, una insular de pequeña extensión, y la región andina que soporta la mayor proporción de la población del país. Los ecosistemas señalados en riesgo según expertos, son los del bioma de bosque seco tropical y del desierto tropical, los secos intra-andinos, los húmedos y los del bosque húmedo tropical del piedemonte llanero.

Poseemos 2900 km de costas en dos océanos, conectamos las Américas desde el sector más septentrional de los Andes con sus nevados, volcanes, altiplanos, sabanas y valles intercordilleranos; pisos térmicos con gran variedad de ecosistemas tropicales, que van desde selvas húmedas y secas, sabanas, bosques y páramos, hasta ríos, costas, arrecifes de coral, ciénagas y manglares. Entre las áreas con mayor riqueza biológica, sobresalen la selva Amazónica, el Chocó Biogeográfico y el Macizo Colombiano.

Si Colombia alberga 4.812 especies protegidas por la Convención Internacional sobre el comercio de especies en peligro, entre ellas 66 que están en alto riesgo de extinción e incluyen 11 especies de orquídeas, 31 de mamíferos y 10 de aves. Adicionalmente, talamos cerca de 200 mil hectáreas de bosques por año, contamos con alrededor de 1.200 especies en peligro crítico, e introducimos 922 al país, 22 de ellas clasificadas como invasoras.

Y en cuanto al Eje Cafetero, dado su potencial relacionado con el aviturismo, sin duda alguna debemos abordar el estudio de la diversidad de aves, ya que de las 1.912 especies del país podemos contar con más de 650 en la región y de ellas al menos 433 reportadas en Caldas al 2010, donde un sinnúmero adicional que permanecen ocultas, le demanda a ornitólogos y aficionados profundizar y completar el conocimiento de la diversidad por áreas determinadas, resaltando especies migratorias, amenazadas y endémicas con su hábitat.

Las áreas protegidas, además de salvaguardar la biodiversidad y ofrecer invaluable servicios ambientales, a la luz del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, incorpora retos: allí se reconoce en el tercer considerando que el “Desarrollo económico con justicia social y en armonía con el medio ambiente, es garantía de paz y progreso”. Su primer punto, sobre la “Política de desarrollo agrario integral”: señala la “Reducción de la ampliación de la frontera agrícola y protección de zonas de reserva”; y el cuarto, sobre la “Solución al problema de drogas ilícitas”: contempla “Programas de sustitución de cultivos de uso ilícito”... mediante “Planes integrales... con recuperación ambiental de las áreas afectadas”. [Ref.: La Patria. Manizales, 2017/08/28]

8.12. LA ECONOMÍA AZUL EN LA ESFERA DE LA PRODUCCIÓN

RESUMEN: No se trata de la economía asociada a nuestros mares y ríos, ni tampoco a la del agua que participa con el 10% del PIB en Colombia incluyendo el 2% de la hidroelectricidad, y cuyos costos ambientales son el 3,5% y los ocultos el 1% relacionados con la calidad del vital líquido; se trata de la novedosa propuesta de Gunter Pauli, sobre una economía asociada a procesos que vinculen los residuos a la cadena de producción y donde los desperdicios o la basura no existen, dejan de ser despojos inutilizables que se incorporan a la cadena de valor. La economía azul reduce los costos sociales y económicos por el bienestar perdido como consecuencia de la degradación de los paisajes terrestres y marinos y la contaminación del aire, y los costos ambientales por el incremento y manejo de la eutrofización de cuerpos de agua y suelos, mayores costos de producción por reducción de emisiones y tratamiento de residuos, y pérdida de patrimonio natural biótico, hidrológico y edáfico.

Colombia como potencia bioceánica, aunque empieza a hablar de la economía azul, sólo desde principios de siglo cuando se generaron los lineamientos de la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros, apenas ahora logra integrar en el Plan de Desarrollo, la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros: al reconocer que el país, pese a su potencial hídrico está geográficamente fragmentado, por lo que busca integrar y conectar las hidrovías con los modos de transporte terrestre y sus mares. Pero hay otra economía azul diferente que va más allá de los mares y ríos concebidos como motor del desarrollo, e incluso de la “Colombia Anfibia”, ese maravilloso estudio del IAvH que reconoce la importancia y la fragilidad de nuestros ecosistemas: se trata de aquella que propone otro relacionamiento de la cultura con la naturaleza para comprender su gran potencial productivo, haciendo de los residuos otra fuente de riqueza si se articula a la creatividad y a la innovación con la idea fundamental de lograr una producción de bienes y servicios eficiente, ambientalmente sostenible y socialmente responsable.

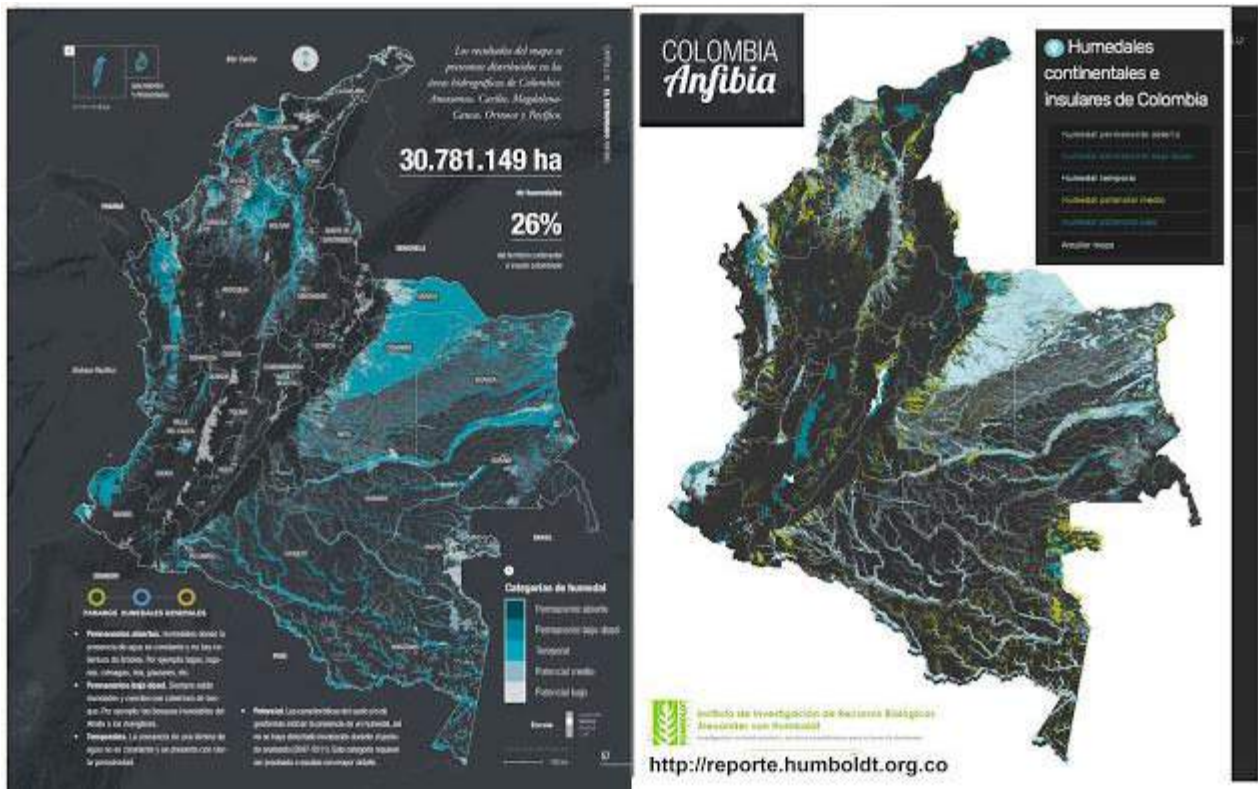


Imagen 49: Colombia anfibia. IAvH

Se trata del modelo del belga Gunter Pauli, autor de “La economía azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos”, un concepto socio-económico propuesto en 1994 soportado en un planteamiento más profundo, que va más allá de la ineficiente y onerosa economía verde donde se obliga a la empresa privada a hacer grandes esfuerzos económicos, incurriendo en costos ambientales para que sus productos sean respetuosos con el medio ambiente; contrariamente, la economía azul al ser más eficiente produciendo para todos en la agricultura y la manufactura, es una apuesta por innovaciones, que inspiradas en la naturaleza impliquen bajos costos, generen empleo, amplíen el capital de las empresas y produzcan beneficios, a partir de la utilización de productos locales para satisfacer la demanda del lugar.

Mientras en la economía verde se propende por el bienestar social, la reducción de los riesgos medioambientales y las amenazas ecológicas, el uso eficiente de los recursos y la disminución de las emisiones de carbono a un alto costo, que trasladado al consumidor privilegia un mercado de élites; en la economía azul el modelo parte de la Iniciativa e Investigación de Emisiones Cero ZERI, de conformidad con las ideas de Pauli. Allí los impactos socioambientales y económicos se logran cuando los residuos dejan de ser despojos inutilizables para convertirse en recursos del ciclo de producción que se incorporan a la cadena de valor.

Los fundamentos de este innovador modelo, son:

En lo social: el modelo es socialmente responsable y compatible con una economía de pleno empleo; en el sistema natural cada riesgo motiva la innovación; el aire, el agua y el suelo son bienes comunes; la naturaleza, al ser ambientalmente resiliente, optimiza recursos y procesos para orientarse hacia las necesidades básicas.

En lo ambiental: el agua como principal soluble sirve de catalizador; en la naturaleza todo está conectado; la gravedad y la energía solar son el principal recurso; la naturaleza es realmente diversidad y está sujeta a cambios constantes; las soluciones parten de la física, la presión y la temperatura del lugar; y los sistemas naturales no responden a procesos lineales.

En lo económico: el modelo cosecha los bienes y recursos del patrimonio natural, para reemplazar por “nada” cada recurso; en la naturaleza un proceso tiene múltiples usos, todo es degradable en el tiempo, y los desperdicios o la basura no existen; la naturaleza trabaja solo con lo disponible, persigue las ventajas de la diversificación, y promueve una economía de pleno empleo.

En suma: la economía azul, no solo propone sino que también desarrolla proyectos empresariales en diversos sectores, demostrando la viabilidad de un modelo empresarial sostenible y competitivo, de producción ecológica amigables con el medio ambiente, generador de bienes accesibles, y de beneficios medioambientales, financieros y sociales: se han implementado proyectos como el cultivo de hongos comestibles a partir de desechos de café, e intervenido procesos de transformación reutilizando desechos mineros o agrícolas, además otros con ahorro de combustible y reducción de emisiones contaminantes, mostrando que el país innovador y creativo y la región tienen una nueva alternativa compatible con la economía naranja.

[Ref.: La Patria. Manizales, 219.11.18]

Lecturas complementarias

Origen, formación y constitución del Suelo. Las arcillas.

Terzaghi dice: La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica. Veamos el origen constitución y formación de las arcillas y los factores de formación y evolución de un suelo. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/introduccion.pdf>

Relaciones granulométricas y de volumen en un suelo.

Fases del suelo. Relación de vacíos. Grado de saturación. Contenido de humedad. Peso unitario y Gravedad específica del suelo. Peso unitario sumergido. Peso unitario seco. Diagramas de fase con base unitaria. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/relacionesgravimetricasyvolumetricasdelsuelo.pdf>

Estructura del suelo y granulometría.

Características y estructura de las partículas minerales. Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo. Fábrica textural y estructural del suelo. Estructuras relictas asociadas a las discontinuidades de los macizos rocosos. Claves para inferir presencia de arcillas en los suelos. Suelos especiales. Suelos colapsables. Suelos dispersivos. Suelos expansivos. Suelos solubles.

Ver en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/estructuradelsueloygranulometria.pdf>

Consistencia y plasticidad de los suelos.

Actividad de las arcillas. Índice de plasticidad. Aparato de Casagrande. Límites de Atterberg. Límite de retracción del suelo, Límite plástico del suelo, Límite líquido del suelo. Índice de plasticidad. Índice de liquidez. Índice de retracción. Índice de consistencia. Propiedades de limos y arcillas. Identificación manual de suelos finos.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/consistenciayplasticidad.pdf>

Clasificación ingenieril del suelo.

Suelos bien gradados, Suelos mal gradados. Suelos plásticos. Suelos friccionantes. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS. Definición del Grupo SUCS, con la Carta de Plasticidad. Aptitudes de los grupos SUCS según usos. Clasificación de la AASHTO. Definición del Grupo AASHTO, con la Carta de Plasticidad. Características de los grupos AASHTO.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/clasificaciondesuelos.pdf>

ENLACES DE INTERÉS PARA EL EJE CAFETERO.

Agua y Clima en la Ecorregión Cafetera.	Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Revolución urbana, desafío para el Eje Cafetero.
Cambio Climático en Caldas – Colombia.	Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.	Rieles para el empleo cafetero.
Caldas en la biorregión cafetera.	Eje Cafetero: fortaleza minero-industrial y posibilidades agropecuarias.	Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.
Cerro Bravo, tras trescientos años de calma volcánica.	El Río Grande en la Audiencia Ambiental Caribe	Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.
Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat.	El Ruiz continúa dando señales...	Ríos urbanos para Manizales.
Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.	Gobernanza forestal para la ecorregión andina.	Sismo, bahareque y laderas.
CTS, Cultura y Ruralidad en Caldas.	La encrucijada ambiental de Manizales.	Sistematización de Experiencias y Estrategias de los PAI del río Guarinó y Guarinocito.
Cuatro PNN, patrimonio natural de la Ecorregión Cafetera.	La economía azul en la esfera de la producción.	Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.
Cultura y Turismo en Caldas.	La historia del Cerro Sancancio.	Temas cívicos para agendas de desarrollo regional.
Cumanday, ¿el león dormido?	Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.	Temas rurales para la ecorregión Tierra y ruralidad en Colombia.
Desarrollo minero-energético de Caldas.	Manizales: un diálogo con su territorio.	cafetera.
Ecorregión Cafetera y Bioturismo.	¿Para dónde va el Magdalena?	Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Plaza de El Cocuy, Boyacá, Colombia. Angelfire.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 09

ROCAS SEDIMENTARIAS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

La meteorización y erosión producen partículas de diverso tamaño que son transportadas por el hielo, el agua o el aire hasta las zonas de mínima energía donde se acumulan. Una vez en reposo los sedimentos sufren procesos que los transforman en rocas sedimentarias.

Estas rocas se han formado por la consolidación o litificación de sedimentos. Los factores que determinan el tipo de roca son fundamentalmente la fuente de los sedimentos, el agente que los erosiona y transporta, y el medio de deposición y forma de litificación.

9.1. GENERALIDADES

9.1.1. Origen. Los productos de meteorización pueden ser transportados en el fondo de las corrientes (por arrastre, rodando o por saltación) o bien dentro del fluido (en suspensión, solución o flotando).

Aquellas rocas que se originan a partir de partículas que mantienen su integridad física durante el transporte, son las detríticas, por ejemplo conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas, y las que se forman por la precipitación de sustancias que se encontraban en disolución, son las de origen físico-químico, por ejemplo carbonatos, evaporitas, ferruginosas y fosfatos. Existe un tercer grupo de rocas sedimentarias, las biogénicas, en cuya formación interviene directamente la actividad de organismos vivos, por ejemplo carbonatos, fosfatos y síliceas, este grupo abarca desde las que se originan por acumulación de organismos en posición de vida (calizas de arrecifes, etc.) o que han sufrido un transporte mínimo tras su muerte (diatomitas), hasta aquéllas en cuya formación interviene la precipitación de sustancias en disolución favorecida por la actividad orgánica (tobas calcáreas formadas por la precipitación de CaCO_3 propiciada por la acción fotosintética de vegetales). Finalmente las rocas orgánicas que son las formadas por acumulaciones de materia orgánica (carbones y petróleo)



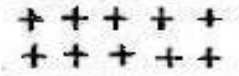
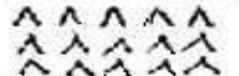
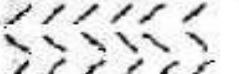



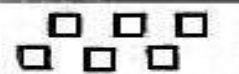

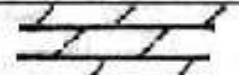
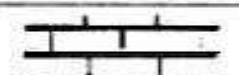
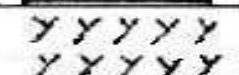
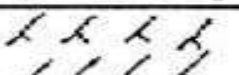
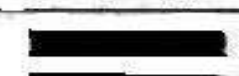
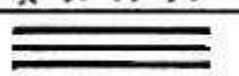
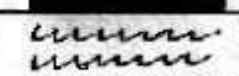

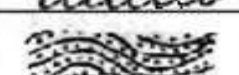

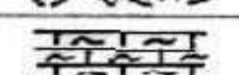

Las de origen mecánico o clástico son primordialmente detritos que, transportados y depositados, se litifican por consolidación o cementación. Su clasificación se basa en el tamaño de grano de sus componentes.

Los sedimentos de origen químico, son precipitados en los cuales los cristales individuales están unidos por enlaces químicos. Dentro de las rocas de origen biógeno las más representativas son los carbonatos que se clasifican a su vez según su composición química y el tipo y origen de las partículas que las constituyen.

Los sedimentos de origen orgánico se forman por la acumulación de partes duras de organismos que, al unirse por cementación, constituyen una roca. Las rocas orgánicas se clasifican según su grado de madurez, con base en el contenido de carbono y volátiles.

En la formación de una roca sedimentaria pueden actuar más de un proceso sedimentario por lo que se producen rocas mixtas de difícil asignación a un grupo concreto. Tal es el caso, por ejemplo, de una roca formada por la acumulación in situ de las partes duras de organismos y por partículas aportadas por algún mecanismo de transporte.

Cuadro 11. Símbolos para la representación litológica de las principales rocas.

	Granito		Riolita
	Diorita		Andesita
	Gabbro		Basalto
	Limolita		Lutita
	Halita		Arenisca
	Dolomia		Caliza
	Yeso		Anhidrita
	Carbón		Lodolita
	Filita		Esquistos
	Cuarcita		Gneis
	Mármol		Serpentina

9.1.2 Abundancia. En los proyectos de ingeniería las rocas sedimentarias son frecuentes. En el volumen de los primeros 15 km. de la corteza las sedimentitas son el 5%; el 95% restante son rocas ígneas, pues las metamórficas dominan los ambientes profundos. Por el área de afloramiento las sedimentarias son el 75% de la superficie el resto son ígneas, sin quedar margen de significación para las metamórficas.

Son tres las rocas sedimentarias más abundantes clasificadas por su participación: lutitas 45%, areniscas 32% y calizas 22%; otras, 1%. La propiedad fundamental de las lutitas es la plasticidad o la impermeabilidad, la de las areniscas, su posibilidad y eventualmente la dureza (de ser cuarzosa), o de servir como acuífero, y la de las calizas, la de ser roca rígida y soluble. Es también la caliza la materia prima del cemento.

9.2. DIAGENESIS

La formación de las rocas sedimentarias a partir de los sedimentos, comporta la existencia de una serie de procesos que, en general, tienden a la reducción de la porosidad y al aumento de la compacidad de los materiales. Estos procesos se engloban bajo el nombre de diagénesis.

Los procesos diagenéticos se inician antes del reposo de los componentes del sedimento, razón por la cual los fragmentos que forman las rocas detríticas pueden quedar cubiertos por capas de óxidos metálicos y se pueden formar arcillas a partir de algunos minerales que se degradan. En los ambientes marinos, sobre pisos duros, los procesos de perforación e incrustación por diversos organismos resultan frecuentes.

Entre los componentes de un sedimento en reposo circulan fluidos con iones en disolución (Ca^{2+} y CO_3^{2-}) que pueden precipitarse para formar cementos y darle rigidez a los materiales. Sin embargo, la circulación de fluidos puede también producir disolución.

Los procesos de consolidación provocan a su vez una reducción de la porosidad; los efectos visibles son la interpenetración de componentes y las superficies de disolución que afectan porciones más extensas de la roca.

El conjunto de procesos diagenéticos se desarrolla a distintas profundidades sin que exista un límite neto para los procesos típicos que ocurren en profundidad y los del metamorfismo de bajo grado. Usualmente se conviene en aceptar que este límite corresponde a la zona en la que se forma el grafito, a partir de los carbones naturales, y se volatilizan los hidrocarburos.

Los procesos diagenéticos suelen realzar las diferencias originales que existen entre los sedimentos (tamaño y color de granos, etc.) por lo que las rocas sedimentarias se configuran en capas de una cierta continuidad lateral denominadas estratos, donde normalmente su base y techo son plano-paralelos. Algunas veces el paralelismo entre algunas capas presenta distinto ángulo de inclinación con el resto de la serie.

9.2.1 Ambientes sedimentarios. Reciben el nombre de ambientes o medios sedimentarios, los lugares donde pueden depositarse preferentemente los sedimentos.

Algunos ambientes sedimentarios están situados dentro de los **continentes**, como ocurre con el medio fluvial, el cual se forma por la deposición de partículas en el lecho y a ambos lados de los ríos, principalmente durante las crecidas, o el medio lagunar, originado por el material sedimentado en el fondo de los lagos. Otros ambientes se localizan en las **zonas costeras** y sus aledaños. Entre éstos se pueden citar los deltas, formados por los sedimentos que lleva el río al final de su curso, y las playas. Es, sin embargo, en el **mar**, donde suelen encontrarse los máximos espesores de sedimentos de plataforma continental, pero sobre todo los localizados al pie del talud continental y en la desembocadura de los cañones submarinos. En las llanuras abisales, en cambio, el espesor de los sedimentos es muy pequeño, desapareciendo prácticamente al aproximarse a las dorsales.

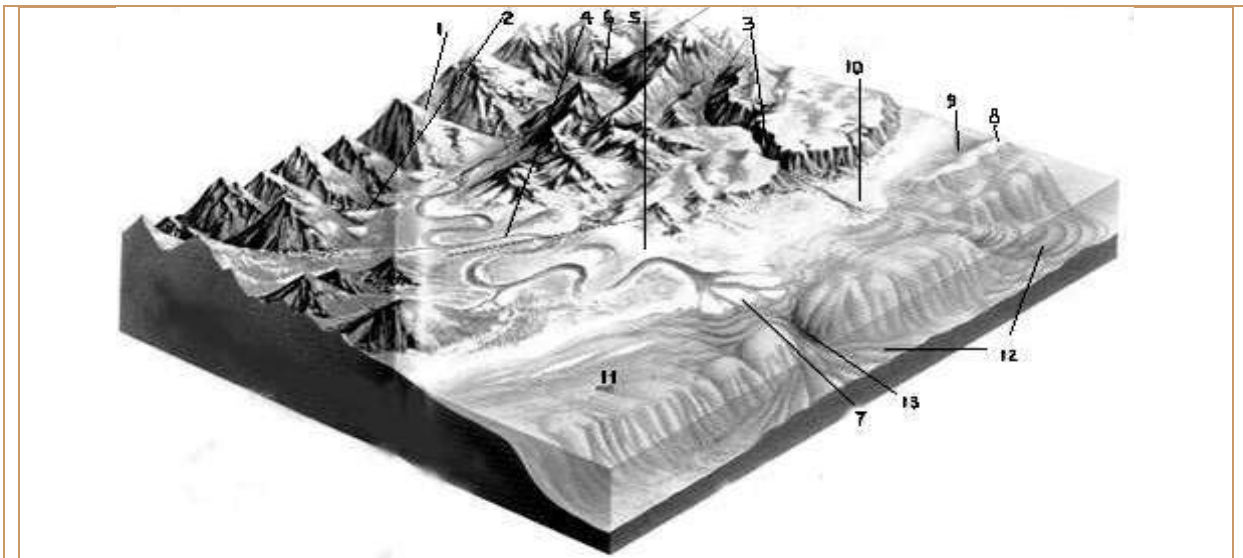


Figura 43. Ambientes sedimentarios: torrente (1), torrencial [cono aluvial (2), canal (3)], fluvial [canal (4), llanura de inundación (5)], lacustre (6), costero [delta fluvial (7), isla barrera (8), laguna (9), delta torrencial (10) plataforma (11)]. Marino [cono turbidítico (12), cañón submarino (13)]. Adaptado de Atlas de Geología. Edibook S. A.

Otras denominaciones de los depósitos se dan según el agente que los transporta, el lugar donde se depositan o la estructura del depósito. En función del **agente**, se denominan coluvial (ladera), eólico (aire), aluvial (ríos) y glacial (hielo); según el **lugar**, palustre, lacustre, marino y terrígeno, y por la **estructura**, clástico y no clástico. Tienen que concurrir varios factores para que un medio sedimentario sea eminentemente deposicional. Si se deposita **material de origen detrítico** (partículas sólidas que han sido transportadas mecánicamente por corrientes fluidas, como ríos), el medio de transporte de las partículas tendrá que perder energía para que pueda llevarse a cabo la sedimentación del material.

En cambio, en los lugares en los que se depositan **sedimentos de origen químico**, será necesario que las condiciones físico- químicas sean adecuadas para que puedan precipitarse sustancias disueltas. En todos los casos es necesario que la zona de deposición sufra un hundimiento progresivo, lo cual posibilitará la formación de grandes espesores de sedimento.

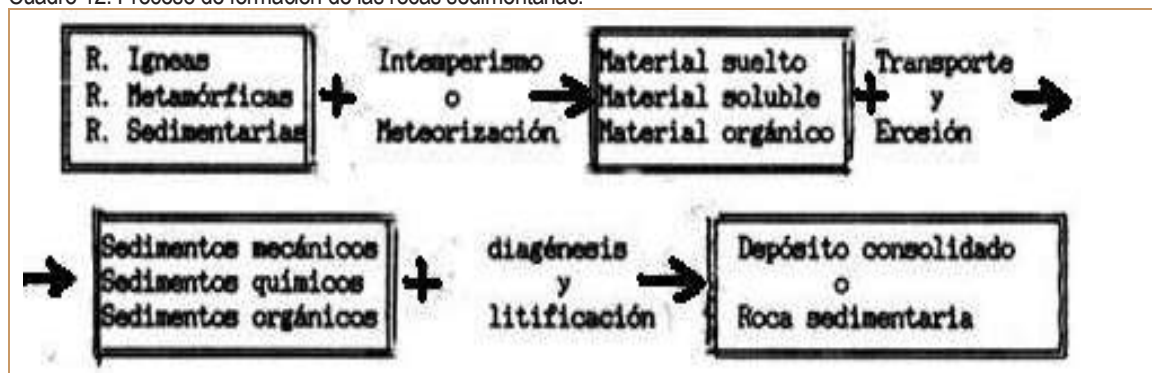
9.2.2 Principales procesos de litificación. Los principales procesos diagenéticos son la cementación, la consolidación-deseccación y la cristalización. El término litificación se puede entender como el proceso por el cual se forman rocas, en este caso a partir de la consolidación de los sedimentos.

- **Cementación.** Los principales agentes minerales cementantes son: la calcita y la dolomita que llegan disueltos en el agua formando con ella una solución que ocupará los intersticios del depósito. Ello demanda un material poroso y permeable, por lo que este proceso domina la formación de las areniscas, calizas y dolomías.

- **Consolidación y desecación.** Dos procesos generalmente ligados, porque la consolidación trae implícita la salida del agua. No obstante en el caso de los depósitos de arena transportados por el viento, después de la evaporación se puede dar la litificación. Este proceso exige un material poroso y no necesariamente permeable. Las arcillas a un km. de profundidad, por la presión confinante, pierden el 60% del volumen y dan paso a la formación de lutitas.

- **Cristalización.** La formación de nuevos cristales (neocristalización) y el crecimiento cristalino (recristalización), permiten el endurecimiento de los depósitos, por unión de cristales individuales.

Cuadro 12. Proceso de formación de las rocas sedimentarias.



Fuente. Notas del curso de Suelos. G. Duque, Geología.

9.3. CLASIFICACION DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Cuadro 13. Las rocas sedimentarias.

ORIGEN	AGENTE	DEPOSITO	ROCA
Mecánico	Agua	Canto rodado Guijarro Arena Limo Arcilla	Conglomerados Brechas, aglomerados Areniscas Limolitas, lodolitas Arcillolitas, lutitas
		Viento	Médanos o dunas Loess (limo)
	Hielo	Till (peñascos en una matriz fina)	Morrenas y otras tillitas (peñascos en una matriz fina pero consolidados)

ORIGEN	NATURALEZA	SEDIMENTO CONSOLIDADO
Químico	Calcárea	Caliza, dolomía, travertino
	Calcárea- arcillosa Silicosa Salina (evaporitas)	Marga Pedernal, geiserita Sal, yeso, bórax
Orgánico	Carbonosa (% de C libre)	Turba C<50%: carbón compresible y de formación reciente Lignito C ≈ 50%: carbón de formación Intermedia Hulla C ≈ 75%: carbón fósil o mineral Antracita C>80%: carbón ultra carbonizado

Adaptado de Lexis 22 Mineralogía Geología, Círculo de Lectores, 1983.

9.3.1 Minerales componentes de las rocas sedimentarias. Son tres los principales: la arcilla, principalmente la illita y la caolinita, el cuarzo y la calcita. Otros minerales son los feldespatos, de sodio y calcio principalmente, dolomita, yeso, anhidrita y halita.

En los conglomerados la composición es cualquiera, dominando el cuarzo. En las areniscas, si es ortocuarcita, domina el cuarzo, si es grawaca habrá fragmentos de roca, cuarzo y arcilla y si es arcosa feldespatos, cuarzos, micas y carbonato cálcico.

En las arcillolitas habrá, hidróxidos de hierro y aluminio, en las lateritas; caolinita, en los caolines; montmorillonita, en la bentonita, y arcilla, cuarzo, feldespatos y calcita, en los loess. En las margas se tendrá carbonato cálcico y arcilla.

En travertinos, tobas, calizas, y caliches, habrá carbonato cálcico, como también en las calizas de bacterias y algas; en las cretas y calizas, conchíferas y coralinas; en las dolomías y calizas dolomíticas, formadas por procesos metasomáticos, habrá calcita y dolomita.

En el sílex, pedernal, gliceritas, trípoli, jaspe y lidita, se tiene sílice coloidal y criptocristalina. En los yesos, sal gema y otras evaporitas, habrá sulfato cálcico y cloruros de sodio, potasio y magnesio. En las sideríticas y pantanosas, que son ferruginosas, carbonato, óxidos e hidróxidos de hierro. En las fosforitas y guano, fosfatos de calcio y otros elementos.

9.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Las principales características de las rocas sedimentarias son la estratificación, las facies y el color.

Estudiando el **entorno** actual se tienen indicios acerca de la formación de las rocas sedimentarias: los sedimentos de grano muy fino, en un entorno costero típico se depositan sobre los pantanos de sal, y los de grano más grueso, en las dunas y en la playa; en ambos casos habrá huellas fósiles que se conservarán para su interpretación futura. También el tamaño de las partículas sedimentarias tiene que ver con el entorno de deposición: los lodos pantanosos se acumulan en condiciones acuáticas de relativa calma, mientras las dunas son depositadas por el viento y las arenas de la playa donde rompen las olas.

Los granos, según su forma y tamaño demandan entornos de diferente energía y turbulencia; así la distribución de los tamaños y forma de los granos en las playas y arenas de las dunas varía: en las primeras la granulometría muestra mejor clasificación y las partículas aparecen muy bien redondeadas.

Tamaño, clasificación y forma de granos condicionan la **textura** de un sedimento. Contrario a lo que ocurre con los sedimentos de entornos de baja energía, los sedimentos transportados durante largos períodos en entornos de alta energía y depositados en condiciones similares, están bien redondeados y bien clasificados. Las corrientes rápidas transportan granos mayores no sólo en suspensión por el fluido en movimiento, sino también por saltación y rodamiento a lo largo de la superficie del lecho, mientras los lodos del entorno de un pantano de sal han sido depositados de la suspensión, fundamentalmente. Los organismos que viven dentro o en los sedimentos costeros o en un entorno cualquiera, son también huellas fósiles potenciales y útiles indicadores del entorno.

El examen de los diferentes granos de mineral presentes en las rocas sedimentarias permite establecer la naturaleza de la **roca fuente** y de los procesos de meteorización que la degradaron. La interpretación se facilita en granos gruesos como cantos de playas y se dificulta con una arena donde un grano puede ser sólo una parte de un cristal único. Una arenisca totalmente cuarzosa no informa sobre la roca madre pero sí es testigo de varios procesos de meteorización, erosión y deposición. La forma en que la roca fuente haya sido fraccionada por procesos superficiales determina la categoría de la roca sedimentaria. El grado de fraccionamiento conseguido en las rocas fuentes es de importancia económica, toda vez que favorece la formación de concentraciones de carbono, carbonato cálcico, óxidos de aluminio y de hierro y evaporitas.

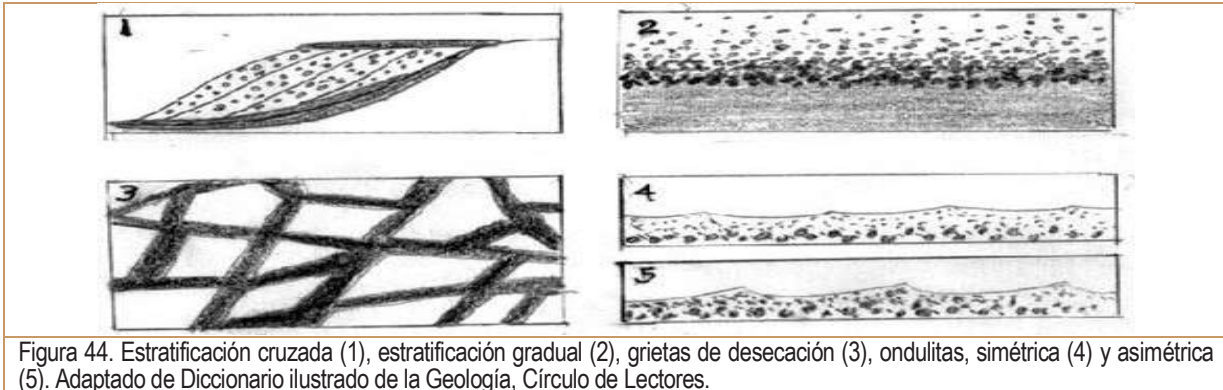
Los diferentes tipos de rocas sedimentaria, pueden relacionarse no sólo con los procesos de meteorización, sino también con la **zona climática** de la Tierra en que se formaron, pues aquéllas están condicionadas por el clima, así como por las diferentes partes del ambiente tectónico sobre las cuales pueden estar operando los procesos superficiales.

9.4.1 La estratificación. Es la más importante. Cada capa marca la terminación de un evento. Interesa en una capa su geometría interna en el conjunto, la geometría de las capas, pues dichas estructuras ponen en evidencia el ambiente de formación. Las capas pueden ser horizontales, si el ambiente de formación es tranquilo (lacustre); onduladas, si se trata en el ambiente de las dunas; inclinadas, si el ambiente es detrítico; rizadas, cuando son marcas de ambiente de playa; cruzadas, si el ambiente es pantano, y geodas, si son capas esféricas concéntricas explicadas por un fenómeno osmótico por diferencia de salinidad.

Las grietas de desecación se producen cuando el barro húmedo se seca al aire y se genera un diseño de grietas de varios lados, típico de lagos poco profundos que se han secado.

La estratificación grano-clasificada es una estratificación en la cual las partículas mayores están en el fondo de una unidad y las pequeñas en la parte superior; la estratificación cruzada es una estratificación original en la cual los planos de los estratos están en el ángulo de la superficie principal sobre la cual los sedimentos fueron depositados; la estratificación de corriente es la misma cruzada; la estratificación de médano es una estratificación cruzada de tamaño más bien grande.

En las estructuras sedimentarias las ondulitas son marcas como ondas formadas por el movimiento del agua o del aire sobre la superficie de un sedimento recién depositado, y las dos principales ondulitas son la simétrica y las huellas fósiles de corriente asimétrica.



9.4.2 Facies sedimentaria. El término alude a la acumulación de depósitos con características específicas que gradúan lateralmente a otras acumulaciones sedimentarias, formadas simultáneamente, pero que presentan características diferentes. A veces se subdividen en litofacies o facies litológicas y biofacies o facies marina. Entre las facies de agua dulce se distinguen la fluvial y la lacustre; entre las marinas, la litoral o costera, la nerítica y la abisal, y entre las terrestres o continentales, muy variadas, la fluvial, la eólica, la glacial, etc.

Averiguar en qué tipo de ambiente se originó una roca sedimentaria tiene gran interés en geología, debido a sus múltiples aplicaciones. Hace posible, por ejemplo, reconstruir la situación de ríos, torrentes y costas, hace millones de años (reconstrucciones paleográficas); permiten averiguar los avances y retrocesos del mar que se han producido en otras épocas, así como localizar trampas estratigráficas, lo cual es de gran interés en prospección de petróleo.

9.4.3 Color. En las rocas sedimentarias los colores gris y negro pueden explicarse por la presencia de humus y otras sustancias afines (materiales carbonosos); pero el principal agente colorante son los óxidos de hierro, así: por la hematita (Fe_2O_3) color rosado; por la limonita, (hierro de pantanos) amarillo y café; por la goethita (hierro acicular) pardo oscuro a negro, y por el hierro libre o nativo, verde, púrpura o negro.

Se recuerda que el color es una de las propiedades físicas más importantes de los minerales, sin embargo, deben tenerse presente:

- Puede ser constante y definido para varias muestras de un mismo mineral (la pirita de brillo metálico es un indicador) o puede variar de una a otra muestra en un mismo mineral (en el cuarzo el color no es indicativo).
- Como precaución, la identificación por los minerales se basará en muestras frescas. Se tendrá en cuenta la pátina, que es una alteración superficial pigmentada por otros minerales.
- En minerales opacos y de brillo metálico, no alterados, se expondrá el color del mineral. No obstante el color puede variar entre límites amplios.

9.5. DESCRIPCION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

La descripción de las rocas se hace en lenguaje gráfico y alfabético. El lenguaje gráfico se apoya en diagramas y planos, como se muestra en la figura 45. Cada tipo de roca y cada rasgo estructural, tiene su propia nomenclatura.

9.5.1 Areniscas. La mayoría están compuestas principalmente de granos de cuarzo y arcilla en pequeñas cantidades. Pueden ser, por su composición, arcosa, si son ricas en feldespatos; cuarzosas, ricas en SiO_2 ; grawacas, ricas en ferromagnesianos, y micazas ricas en micas. También las areniscas se denominan, por la matriz cementante, así: ferruginosa, silicosa, arcillosa y calcárea. Las areniscas son útiles en construcción, revestimientos y fabricación de vidrio.

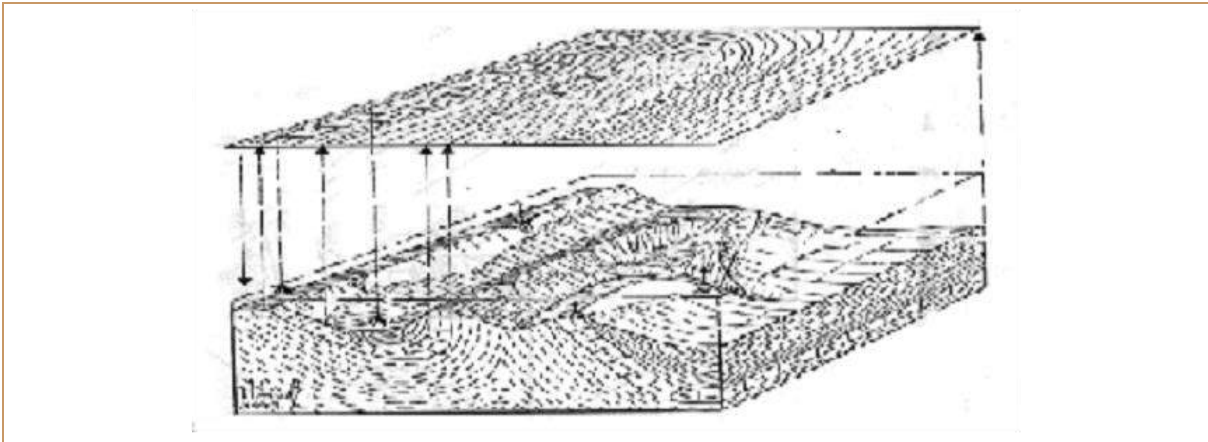


Figura 45. Representación de una estructura sedimentaria (pliegue): arriba, expresión en carta geológica; abajo, expresión en diagrama de bloque. Tomado de las notas del curso de geología de Pedro Hernández, U. Nal...

9.5.2 Areniscas de cuarzo. Son el resultado de una considerable fragmentación de restos de roca soltados por procesos de meteorización como lo demuestra su pobreza en minerales incapaces de resistir la meteorización química.

Texturalmente exhiben gran porosidad y permeabilidad, por lo menos inmediatamente después de su deposición, pues más tarde los poros serán rellenados por cemento mineral, compuesto frecuentemente de sílice o calcita, e incluso hierro. Una variedad, de las arenas verdes, es arenisca de cuarzo con glauconita, típica de ambiente marino, y otra las areniscas (y pizarras) de los lechos rojos, a causa de las hematites que recubren los granos de arena y que denuncian un grado de aridez del entorno de deposición donde la lámina acuífera permaneció baja permitiendo a los minerales de hierro su oxidación.

9.5.3 Arcosa. Esta arenisca además de cuarzo, tiene feldespato en una cantidad del orden del 25%. Ambos minerales soportan la degradación mecánica durante el transporte, siendo el segundo más susceptible a la descomposición. Su aparición en proporciones mayores a las de un pequeño porcentaje, evidencian condiciones de aridez y de transporte corto o rápido.

9.5.4 Grawaca. El término significa gris y duro y describe bien esta arenisca que contiene una mezcla de productos de meteorización de rocas ígneas y metamórficas, en los que se incluyen, además de partículas de descomposición mecánica, minerales arcillosos de la meteorización química. Las grawacas son el resultado de un fraccionamiento incompleto de productos de meteorización, reflejado en la pobre clasificación y escasa redondez de los clastos. Las rocas usualmente duras y oscuras en extremo pueden confundirse con basaltos si las variedades de grano son finas. Se asocian con pizarras negras, sobre todo cuando son fruto de corrientes de turbidez o de densidad.

9.5.5 Brechas. La palabra significa cascote y con ellas se describe una roca formada por fragmentos angulosos; dicha angulosidad significa una cantidad mínima de transporte, razón por la cual la fuente está cercana y puede estar asociada a arrecifes de coral, fósil y moderno. Los depósitos de brechas pueden formarse por la meteorización mecánica en la cara de los acantilados en cuya base se forman los taludes o depósitos de deyección; también pueden ser depositados por ríos de flujo esporádico en regiones áridas. Las brechas son útiles en construcción, revestimiento y decoración.

9.5.6 Conglomerados. Se distinguen de las brechas por la naturaleza redondeada de sus clastos. Si los clastos se tocan entre sí se dice que es clastosoportado y se sabe que ha sido depositado en condiciones de alta energía, como puede ser el contexto de playa o la llanura de inundación de un gran río no sujeto a períodos de desecación. Si es matriz soportado, caso en que los clastos más grandes se separan por una matriz fina de arena y arcilla, indica que el material sedimentario fue transportado y depositado rápidamente sin dar lugar a la clasificación del depósito. Tal es el caso de los conos aluviales con inundaciones rápidas.

De otro lado existen conglomerados extraformacionales compuestos por clastos de fuera del área de deposición y conglomerados intraformacionales derivados de la erosión de sedimentos locales, como es el caso de un banco de río cercano. Los conglomerados, por las gravas, son útiles para el hormigón.

9.5.7 Rocas calcáreas. Calizas y dolomías, contienen por lo menos la mitad, o bien de calcita o bien de dolomita. Ambos minerales pueden estar formados como precipitaciones directas del agua del mar, pero la forma más importante en la que el calcio y el magnesio - liberados originalmente por meteorización química- quedan fijados, es mediante la secreción de minerales carbonatados, por animales y plantas. En la actualidad, los sedimentos calcáreos, aparte de los lodos de mares profundos, se encuentran frecuentemente sólo en clima tropical y subtropical donde florecen los organismos secretores del carbonato. Su aparición, la de antiguas rocas calcáreas, es un indicador paleoclimático.

9.5.8 Calizas. Pueden ser de agua dulce o de origen marino, y componerse de material químicamente precipitado, orgánico o detrítico. La mayoría de las calizas se formaron en aguas poco profundas y las condiciones de turbulencia o de ambiente tranquilo se reflejan en la existencia del soporte de grano con relleno de calcita cementante en el primer caso, o la existencia de espacios porosos rellenos con lodo carbonatado, en el segundo.

Las calizas son la materia prima de la cal y el cemento, complementando el proceso con arcillas ferruginosas. Las calizas fosfóricas son útiles como materia prima para fertilizantes. Hay calizas útiles en litografía (detrítica de ambiente marino) y para productos refractarios (organógena marina).

9.5.9 Dolomías. La roca tiene una mezcla de carbonato cálcico y magnésico y puede tener dos orígenes. El primero aparece dentro de la cuenca de deposición, sólo a unos cuantos decímetros por debajo de la superficie e inmediatamente después de la deposición de la caliza, en un proceso asociado a la formación de las evaporitas, y el segundo tiene lugar a más profundidad y mucho tiempo después de la deposición (aquí se produce una dolomita de grano grueso y la sustitución está causada por soluciones ricas en magnesio que se filtran a través de la caliza).

9.5.10 Rocas ferruginosas. Pueden ser de tres tipos: las ferruginosas veteadas, de edad precámbrica, que muestran láminas de óxido de hierro, carbonato de hierro o sulfuro de hierro, y sílice tipo calcedonia. Contienen varias estructuras sedimentarias incluyendo marcas de rizadura y grietas de lodo, las que sugieren deposición en aguas poco profundas. Las rocas de hierro oolítico sedimentario, formadas durante los últimos 600 millones de años, que poseen las características texturales de las calizas, pero no están compuestas de carbonato cálcico sino de minerales de hierro, incluyendo el carbonato de hierro y los silicatos ferroaluminicos que pueden formarse sólo en condiciones anóxicas, y las rocas ferruginosas de arcilla, que resultan insignificantes cuantitativamente, hoy en día, pero que soportaron la industria del acero asociada a campos de carbón. Están conformadas por acumulaciones redondas de carbonato de hierro, que sustituyen las pizarras en muchos estratos, especialmente cubriendo vetas de carbón. Estas rocas, de ambiente continental y marino, facilitan la obtención del hierro.

9.5.11 Bauxitas y lateritas. Dos productos de la meteorización química en donde el material no ha sido disuelto incluso después del más intenso ataque por aguas subterráneas ácidas y se han dado condiciones para que la erosión mecánica y la retirada del material sean virtualmente nulas. Este es el ambiente tropical de las tierras bajas o las áreas planas mal drenadas, donde la capa residual del perfil de meteorización, compuesta de hidróxidos de hierro y aluminio, se conoce como laterita. Cuando la mayor parte de los componentes de hierro es lixiviada de una laterita, se convierte en la bauxita; ambos depósitos están coloreados generalmente con profundos tintes de rojo, marrón y naranja.

9.5.12 Evaporitas. Son rocas sedimentarias producidas en clima cálido y árido, por la evaporación del agua del mar. Experimentalmente al evaporarse el agua marina se origina la formación de carbonato cálcico, después sulfato cálcico (yeso) y finalmente las sales más solubles, incluida la halita (sal común). Sin embargo, cuantitativamente las evaporitas no pueden deberse a una simple evaporación puesto que una capa de metro y medio de halita requiere la desecación de 100 metros de profundidad marina y hay muchos depósitos de sal con cientos de metros de espesor en mares abiertos. El resultado de tales procesos, si se dan sedimentos porosos, es que la caliza original se sustituye por dolomita de grano fino y el sulfato cálcico (anhidrita) crece dentro del sedimento y lo deforma.

9.5.13 Chert. Roca silíceo densa y dura, compuesta de sílice casi pura, bien con una cristalización extremadamente fina o criptocristalina que no muestra evidencia alguna de estructura cristalina regular. El jaspe, el pedernal y el ópalo son variedades denominadas calcedonias. Hay dos tipos diferentes de chert: los que sustituyen a las calizas en forma de nódulos o vetas de calcedonia y los realmente estratificados asociados con pizarras o con formaciones estratificadas de piedra ferruginosa. Los primeros provienen de microfósiles silíceos como los organismos unicelulares marinos llamados radiolarios; los segundos forman el sílex, son de origen inorgánico y pueden estar asociados a precipitados, lavas submarinas o ceniza volcánica.

9.5.14 Shale o lutita. Se denominan así a las limolitas y arcillolitas mejor consolidadas. La marga es una lutita calcárea.

Según el grado de consolidación diagenética, pueden clasificarse así:

- **De bajo grado de consolidación.** Arcillolita, lodolita y limolita.
- **De mediano grado de consolidación.** Shale arenoso, shale lodoso y limolita laminada.
- **De alto grado de consolidación.** Argilita, una roca más competente que las anteriores.

Aunque la argilita sea más resistente y menos deformable, no es por ello la más durable, pues las lutitas, pueden tener mucho o poco cementante pero su durabilidad está supeditada a su naturaleza silícea, ferruginosa o calcárea.

9.6. SEDIMENTOS ORGANICOS

Los compuestos orgánicos se descomponen rápidamente por la acción de bacterias anaeróbicas (o de putrefacción) pues en contacto con el aire se oxidan por la acción de bacterias aeróbicas (que consumen oxígeno). Si los materiales se cubren de aguas pobres en oxígeno se fermentan por la acción anaeróbica incrementando su porcentaje de carbono libre.

9.6.1 Carbón y petróleo. El carbón se forma en los continentes a partir de materiales vegetales; el petróleo en el océano a partir de microorganismos animales y vegetales (plancton).

Del metamorfismo de los carbones se obtienen esquistos grafitosos, no el diamante, asociado a rocas ígneas ultrabásicas.

- **El carbón.** Existen dos tipos de cuencas hulleras, las parálicas o costeras como el Cerrejón, que son extensas pero de poca potencia (medio metro de espesor en promedio) y las límnicas o intramontañosas, como lo es la cuenca carbonífera de Quinchía-Riosucio, del terciario carbonífero de Antioquia, que son de poca extensión pero donde la potencia de los estratos de carbón llega a los 5 metros en promedio.

En las cuencas costeras los estratos del ciclotema son: conglomerados, areniscas, pizarras arenosas y con raíces, pizarras fósiles y estériles, vienen luego las capas marinas (caliza marina y pizarra marina, ambas con fósiles y pizarras ferruginosas). En las cuencas continentales, faltan en el ciclotema las capas marinas.

Si día a día, El Cerrejón y la Drummond exportan más de 150 mil toneladas de carbón, la clave para extraer el carbón andino, radica en implementar medios de transporte más económicos, como lo son las líneas férreas y la hidrovías del Magdalena, logrando de esa manera precios remunerativos para hacer viable una minería técnicamente desarrollada y social y ambientalmente responsable.

También habrá que recordar que mientras el petróleo se negocia en tiempo real, el carbón no, dado que recordar que el negocio responde a mercados de futuros: cuando se hace un pedido de carbón, se fijan los rangos del poder calorífico, granulometría, volátiles y contenido de azufre que satisfacen al cliente, y luego se procede a un acuerdo de precios, donde el valor final permite la venta de carbones de baja calidad, arrastrados por los de buena calidad que participan de la mezcla. Dada la alta calidad de los carbones de los distritos carboníferos de la Cordillera Oriental, y la posibilidad de implementar el Ferrocarril Cafetero para articular el sistema férreo de la región andina, esto resulta importante para sacar dicho producto a los mercados de la Cuenca del Pacífico, resolviendo de paso las barreras de carga para viabilizar la inversión en líneas férreas y de menor calidad de los carbones de la cuenca del río Cauca.

Ver: **Sistema Bimodal Cafetero** <https://youtu.be/26q-zGOY5N4>

- **Petróleo.** Los hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos dependen de la longitud de las cadenas de los compuestos. Las largas para los primeros, por ej., asfalto y betunes, las más cortas para los gaseosos, como metano, acetileno, propano y butano. La porción líquida flotará sobre aguas marinas fósiles. La presión de extracción del yacimiento la dan los gases, disueltos. Todo el compuesto se origina del plancton que, por acción anaeróbica, similar al proceso de carbonatación, se transforma en sapropel - hay carbón sapropélico- y luego en hidrocarburos.

La roca madre es marina, pero en la orogenia el petróleo aprovecha acuíferos y emigra al continente a zonas de menor presión con dos posibilidades: dispersarse en la atmósfera para perderse en la acción anaeróbica o entrar a reservorios preservándose gracias a trampas de cinco tipos: pliegues anticlinales, fallas, diapiros salinos (domos), lentes de masas coralinas (calizas) y otros tipos de discordancias.

9.7. FASES DE EXPLORACION GEOLOGICA

La geología de campo es un método de prospección de bajo costo pero con bajo nivel de eficiencia respecto a la información que demanda la inversión para la explotación de recursos.

En la fig. 46 la parte más eficiente de este método es la primera porción de la curva A, donde por regla general el nivel de información obtenido alcanza cerca del 30% de lo demandado. Si se continúa con la inversión, el porcentaje de información no crece, pues la curva ya es plana. Lo contrario ocurre con las perforaciones exploratorias, son de alto costo y sólo después de una inversión importante muestran

óptima eficiencia (la curva C se levanta) y gran alcance (llega al 100% de información). Por costos y eficiencia los métodos geofísicos son intermedios entre los señalados (ver curva B). Las abscisas tienen escalas de costos diferentes, para cada método.

De lo anterior se desprende que existe una ruta óptima resultante de la aplicación debida y combinada de los tres métodos de exploración; primero se recurrirá a la geología de campo con costos del primer orden; luego a la prospección geofísica (entre m y n) con costos de segundo orden, y finalmente a los pozos exploratorios, para obtener el 100% de información demandada, siendo los costos del último método, de tres órdenes, aplicables sólo a los últimos niveles de información faltantes. La economía proveniente de la combinación de métodos surge de la consecución de información más económica en los primeros niveles.

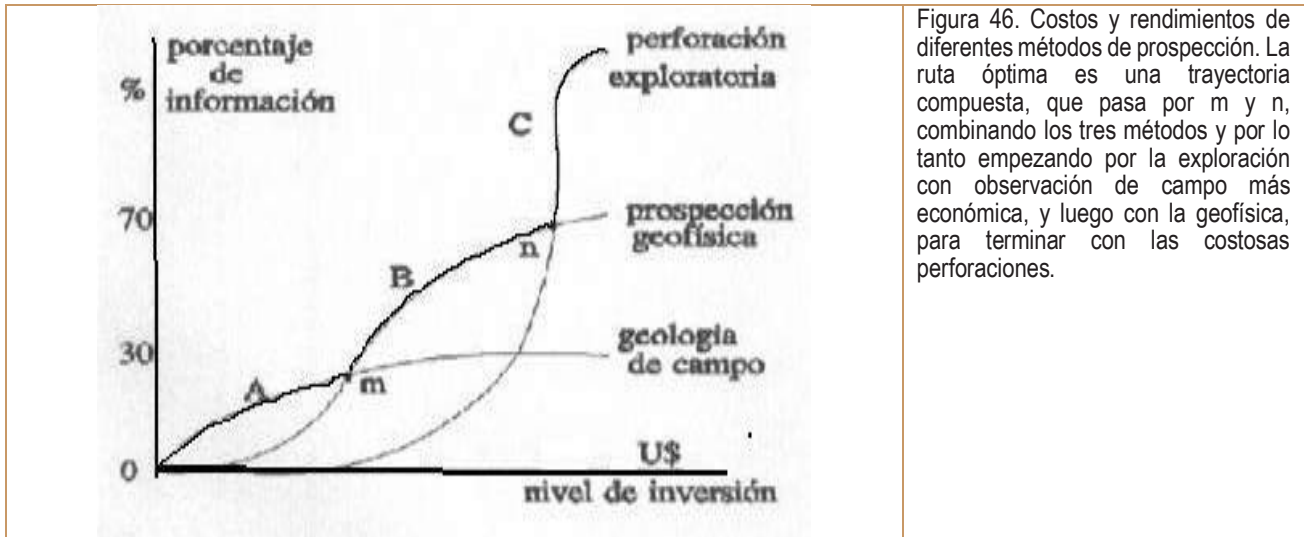


Figura 46. Costos y rendimientos de diferentes métodos de prospección. La ruta óptima es una trayectoria compuesta, que pasa por m y n, combinando los tres métodos y por lo tanto empezando por la exploración con observación de campo más económica, y luego con la geofísica, para terminar con las costosas perforaciones.

9.8. EJEMPLOS DE SEDIMENTITAS EN COLOMBIA

En la Serranía de la Macarena, la región norte exhibe una sucesión rítmica de grawacas turbidíticas de grano fino a grueso y color gris. Hay calizas delgadas fosilíferas y shale gris oscuro, arenitas finogranulares cuarcíticas muy micáceas, que gradan a arenitas arcillosas cuarcíticas y shale arenoso rojo. Son sedimentitas, además, todas las secuencias del paleozoico temprano.

En la región de los Llanos Orientales hay remanentes de coberturas detríticas del precámbrico con arenitas de cuarzo blancas y grises de grano fino a medio, bien gradadas, en estratos delgados a gruesos intercalados con arcillolitas grises, verdes o rojas. En la región de la selva amazónica las arenitas rojas oscuras se intercalan con tobas y materiales vulcanoclásticos. En la margen llanera al sur-oriente de Bogotá, las sedimentitas, que son de ambiente pericontinental, están constituidas por calizas, arcillolitas rojas, areniscas, conglomerados, arcillolitas y limolitas grises fosilíferas.

En la Sierra Nevada se encuentran además de pelitas, ruditas y calizas del paleozoico, además pelitas y tobas del mesozoico y coberturas locales pelíticas y calcáreas.

En la región del Cerrejón se presenta una secuencia clástica a vulcanoclástica granodecreciente: los sedimentos de grano muy fino conglomerados, areniscas, lodolitas con intercalaciones calcáreas, localmente sedimentitas rojas del mesozoico temprano, y otra secuencia, de hasta 1000 metros de espesor, de arenitas, lodolitas, calizas y rocas comúnmente ricas en materia orgánica depositadas en ambientes predominantemente marinos durante el mesozoico tardío. Más reciente se presenta otra secuencia clástica de arenitas y lodolitas con mantos de carbón, depositada en ambiente marino transicional y continental durante el cenozoico, (terciario). Su espesor alcanza 1000 metros.

En la península de la Guajira hay lodolitas rojas, verdes y grises, arenitas pardas, conglomerados, calizas y lutitas calcáreas. Al NW hay un supraterrano terciario marino. En la baja Guajira una secuencia de arenitas y limolitas en la base y, localmente, capas delgadas de carbón ricas en materia orgánica y calizas glauconíticas depositadas en ambiente transicional a marino, a finales del cretácico. Igualmente, una secuencia de arenitas y lodolitas de colores rojizos suprayacida por otras oscuras de ambiente continental a marino, del mesozoico tardío. En la región de Santa Marta se tiene una cobertura pelítica y calcárea y, localmente, mantos de carbón.

En Córdoba hay turbiditas con fragmentos de serpentinitas, shale, chert y tobas. Más al sur y al occidente del río Cauca, hasta Cartago, hay turbiditas fino a grueso granulares, chert, calizas y piroclastitas básicas. Continuando desde Cartago hacia el sur, la estratigrafía se repite pero presenta metamorfismo. En Santander del Norte hay una sedimentación predominantemente samítica y pelítica y localmente calcárea que reposa discordantemente sobre el basamento ígneo-metamórfico. Entre Tunja y Bucaramanga, región de la Floresta, hay una

sedimentación pericontinental durante el paleozoico temprano que se reanuda posteriormente. Las sedimentitas son conglomerados, arcillolitas generalmente amarillentas, limolitas y areniscas.

Al sur de Ibagué, y hasta Mocoa, hay sedimentitas del paleozoico medio y superior con sedimentos calcáreos epicontinentales del mesozoico. Entre los Llanos orientales y el sistema de Romeral, en la región que comprende Cundinamarca y Santander, hay sedimentitas clásticas, en desarrollos faciales, y calizas bioclásticas y evaporitas. Se trata de una sedimentación epicontinental que culmina con el levantamiento progresivo a finales del mesozoico.

La región de los valles del San Juan-Atrato y la costa Pacífica al sur de Buenaventura, presenta shales, arenitas, conglomerados turbidíticos y calizas en menor proporción. Localmente se encuentran afloramientos de arenitas cuarzosas. La región del Baudó muestra piroclastitas básicas, arenitas turbidíticas, shale, chert y calizas. Al norte, la región del Sinú tiene turbiditas, hemipelágicas (carbonatos y silicatos) y depósitos marinos terrígenos.

9.9. CARBÓN ANDINO COLOMBIANO

En 2014, la producción nacional de carbón mineral superó los 84 millones de toneladas, 93% de ella concentrada en La Guajira y Cesar donde la explotación es a gran escala, y 7% en el interior donde se destacaron los distritos carboníferos de Santander, Cundinamarca y Boyacá, y en menor grado Antioquia, todos estos explotados con una minería de corte artesanal y de alta generación de empleo. Colombia cuenta con unas reservas medidas de 7mil millones de toneladas MT de carbón.

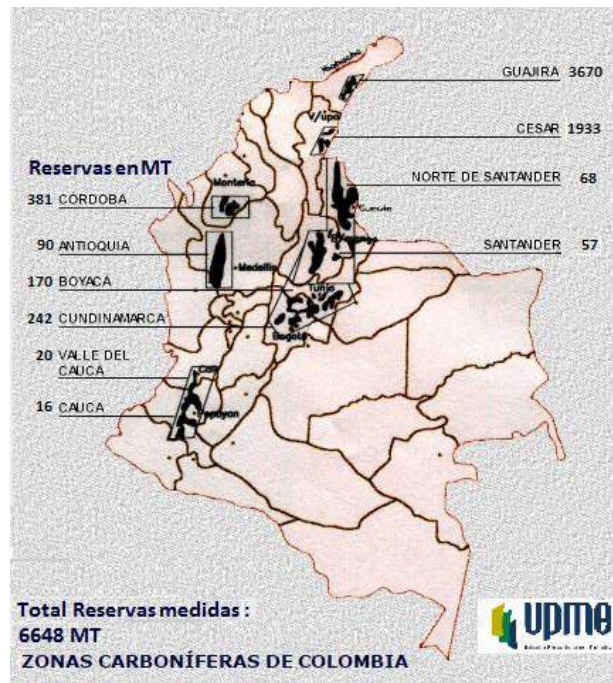


Imagen 48: Distritos carboníferos y reservas medidas de carbón en Colombia, en millones de toneladas MT. Fuente: UPME.

Los carbones colombianos que son básicamente duros, bajos en azufre y de elevado poder calorífico, pueden tener gran desempeño durante las próximas décadas como carbones térmicos de cara a la crisis ambiental. Pese a que por el cambio climático al 2050 deberá reducirse el 80% del consumo mundial de carbón, el 50% del gas natural y el 30% del petróleo, habrá que consumir las enormes reservas del país en los próximos 40 años, asunto por fortuna viable gracias a que todo el carbón de Colombia es exportable.

La Región Andina de Colombia, con sus importantes yacimientos mineros según el inventario de Ingeominas (1972), aunque cuenta con información cartográfica estandarizada y oficializada de su geología, debería propender no sólo por la exploración geológica, una actividad importante para el desarrollo del conocimiento científico y la identificación del potencial de los recursos minerales, sino por su transformación incentivando la inversión minera, minero-energética e industrial, para impulsar el progreso económico y social del país. Ya se ha citado la visión al respecto de Gabriel Poveda Ramos proponiendo varias industrias químicas de base minera como las contempladas en el "Plan Minero- Industrial de Caldas", y he señalado las ventajas del Magdalena Centro y del Corredor del Cauca para su emplazamiento, gracias a su ubicación respecto a nuestros escenarios energéticos y de transporte, entre otras ventajas como agua disponible y recurso humano. Me referiré ahora al carbón mineral, recurso que en el quinquenio 2006-2010 aportó al fondo nacional de regalías 0,8 billones de pesos anuales y cuantiosas divisas por su participación del 35% en el PIB minero de 2012, un bien aún demandado en el mercado hemisférico configurado por consumidores de carbón térmico, que seguirá siendo estratégico para empresas de fundición ferrosa y no ferrosa, y siderúrgicas importadoras de coque.

Colombia, con el siglo XXI entra al escenario mundial del carbón, donde se consolida como sexto exportador mundial en 2004, cuando el comercio del período 1980-2004 en Asia-Pacífico aumentaba 3,6 veces y el consumo mundial pasaba de 2.780 millones de toneladas Mt a 4.282 Mt. Poseemos las mayores reservas de carbón en América Latina: 17 mil Mt, de las cuales 7 mil Mt son medidas, en un escenario donde el carbón de la costa norte colombiana, aunque representa el 90% del recurso, por ser térmico y contar con mayores sustitutos, no tiene las ventajas del carbón coquizable y bajo contenido en azufre existente en varios yacimientos intra-montañosos de la Cordillera Oriental colombiana, un bien aún con demanda global estable, que demanda el ferrocarril andino como medio de transporte eficiente para ubicarlo sobre la cuenca del Pacífico.

Mientras cada día Cerrejón saca 9,2 trenes de diez mil toneladas, y Drummond 8,5 trenes, cuantías que sumadas equivalen a 61 Mt anuales, y Antioquia con 90 Mt de reservas medidas produce 1 Mt por año, en 2013 el Tren de Occidente movilizó sólo 150 mil toneladas de carga. De ahí la propuesta del Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41, para sacar inicialmente 5 Mt del carbón por año, que provendría de la Región Andina con destino al Pacífico, cantidad equivalente a seis trenes de montaña, cada uno llevando 50 vagones de 50 toneladas, cantidad suficiente para financiar el Túnel Cumanday y el corredor bimodal cafetero soportado en el Ferrocarril Cafetero como ferrovía y línea férrea, propuesto en apartes de esta obra.

Sabemos que el petróleo, después de desplazar al carbón como recurso energético a mediados del Siglo XX, marca el comportamiento del mercado energético internacional: primero, con la crisis energética de 1973 resultado de la confrontación árabe – israelí; luego, con la revolución en Irán (1979) y su guerra con Irak (1980); y ahora, con la destorcida de precios favorecida por la OPEP, previniendo los efectos de largo plazo relacionados con la gran escalada de la exploración – explotación, las tendencias generalizadas hacia la conservación de energía y la investigación de fuentes alternas previendo atenuar el cambio climático. Mientras los dos primeros momentos incrementaron el precio de los combustibles fósiles, el segundo ha logrado lo contrario.

A diferencia del petróleo que se vende de forma directa, el mercadeo del carbón responde a operaciones de futuro: se acuerdan previamente las características del carbón, como son poder calorífico, contenidos de azufre y volátiles, y granulometría. Al gestionar su precio según dichas cuantías acordes a su empleo, el valor estará condicionado por otras consideraciones para el cliente, dado que para un mismo uso como lo es el energético, el patrón de compra temporal depende del destino: se negocia caro cuando el país comprador en contratos ocasionales busca satisfacer necesidades de consumo que demandan energía fluctuante, o a precios estables mediante contratos de largo plazo, para asegurar un suministro a bajo costo cuando se trata de producción industrial que requiere energía de base.

[Ref. La Patria, Manizales, 2015.01.5].

9.10. ARROYO BRUNO, ENTRE LA MUERTE NEGRA Y LA VIDA WAYUU

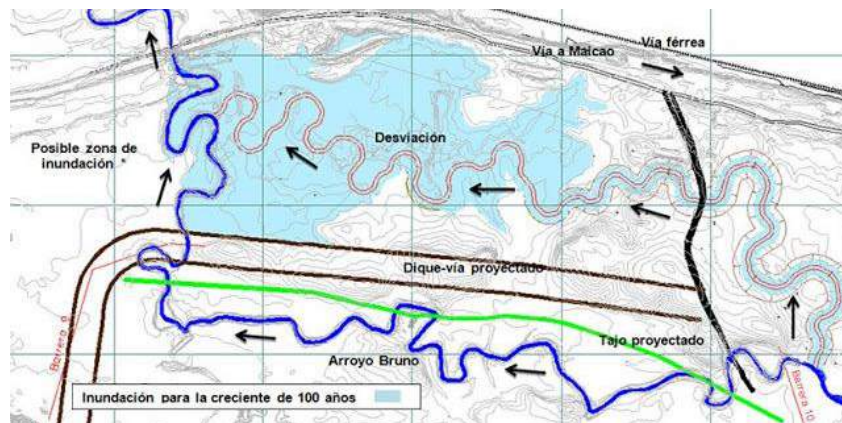


Imagen 50: Área de intervención, en <http://www.cerrejon.com>

Resumen: Dado que los antecedentes de la empresa carbonera El Cerrejón en la solución de conflictos que terminan en negociación directa con campesinos que quedan desarraigados al perder su cultura, no son buenos ¿valdrá la pena que a cambio de las regalías de 40 millones de toneladas de carbón adicionales, al trasladar 700 m el arroyo Bruno para excavar su cuenca, como consecuencia de la destrucción de la estructura ecológica del cuerpo de agua y el acuífero, se comprometa la supervivencia de miles de indígenas wayuu y de grupos afro-descendientes en La Guajira?

Hasta no contar con el consentimiento favorable de una consulta popular, la Sala Plena de la Corte Constitucional ha dicho no a la pretensión de Cerrejón de explotar carbón sobre el arroyo Bruno, dejando en firme la suspensión de las obras que desplazarían dicho arroyo con graves consecuencias ambientales y sociales para el territorio wayuu: la escasez del agua que con frecuencia afecta a varias comunidades de la media y alta Guajira, una situación que reiterativamente crea dificultades durante las temporadas de intenso verano, es una amenaza severa toda vez que al secarse cultivos y pasturas con impacto para los animales, agrava el círculo fatal por las enfermedades derivadas de sequías y carencias alimentarias.

La exótica península de La Guajira parcialmente compartida con Venezuela, para Colombia no solo es sinónimo de la sal de Manaure y de la tragedia del pueblo Wayuu dada la mortalidad infantil asociada a la falta de agua y la desnutrición, sino también de cuantiosas regalías generadas por la explotación de su enorme potencial de carbón y gas natural, donde la Anla y Corpoguajira otorgan las

licencias ambientales, amén de otras problemáticas como la corrupción en contratación de programas de educación, salud, atención a infancia y obras civiles. Allí, las comunidades indígenas que ancestralmente han ocupado el territorio, viven principalmente de la ganadería trashumante, la pesca, la extracción de yeso y sal marina, y ocasionalmente del comercio o el cultivo estacional.

El arroyo Bruno es un cuerpo de agua intermitente con comportamiento bimodal que nace en la Serranía del Perijá, y en sus 26 kilómetros de recorrido transitando con dirección noroeste baña el paisaje de estepa para luego desembocar en el río Ranchería. El desvío del cauce para excavar su cuenca en dominios de la multinacional expandiendo la zona de explotación y el uso del agua para destinarla a las medidas ambientales de control de polvo, son dos intervenciones que pese a estar incluidas en los planes de la compañía desde 1998, de contar con licencias y de contemplar el equilibrio dinámico del caño y otros requerimientos técnicos, no solo atentan contra el derecho al agua, sino que también causarían la pérdida de diversidad biológica y generarían cambios en las prácticas y usos del suelo. Esto, a cambio de las regalías de 40 millones de toneladas de carbón adicionales, compromete la supervivencia de miles de indígenas wayuu y de grupos afro-descendientes.

Mientras el per cápita de agua en la Guajira es inferior a un litro por segundo al día, contra un consumo de 17 millones de litros diarios que requiere Cerrejón, con el desvío del citado cauce y la explotación carbonífera en el subsuelo de dicho cuerpo de agua cuyo caudal medio alcanza 0,9 metros cúbicos por segundo, además de la amenaza de desertificación y del daño severo e irreversible al ecosistema, se afectaría el suministro para varios asentamientos de la península, y con ello una función social fundamental de dicha fuente de aprovisionamiento del vital líquido que, transportado en vehículos día a día a lo largo y ancho de La Guajira, satisface las necesidades en Albania, Maicao, Uribia, Riohacha y algunos sectores de Manaure.

Es que los antecedentes de la empresa carbonera en la solución de conflictos que terminan en negociación directa con campesinos que quedan desarraigados al perder su cultura, o que transan presionados al ver iniciados los trámites de desalojo, no son buenos: como prueba estarían las historias de las comunidades de Chancleta, Patilla, el Roche y Tabaco, que tras largos procesos de reasentamiento, reparación colectiva o negociación directa, recibieron casas con deficiencias de servicios públicos y predios en tierras áridas, que agravaron su calidad de vida.

Si para advertir de la fragilidad del territorio guajiro frente a la amenaza al cambio climático, basta señalar que en lugares como Uribia ocasionalmente se han secado los 350 reservorios construidos para proveer del vital líquido a sus 280 mil habitantes del área rural; también podríamos cuestionar las regalías para la nación estimadas en un billón de pesos anuales provenientes del carbón extraído, si esto implica comprometer la seguridad alimentaria de grupos vulnerables, cuando en la última década entre 400 y 500 niños Wayuu han muerto por desnutrición.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2017/12/04]

9.11. ¿CUÁL ES EL MEJOR SISTEMA DE TRANSPORTE PARA COLOMBIA?

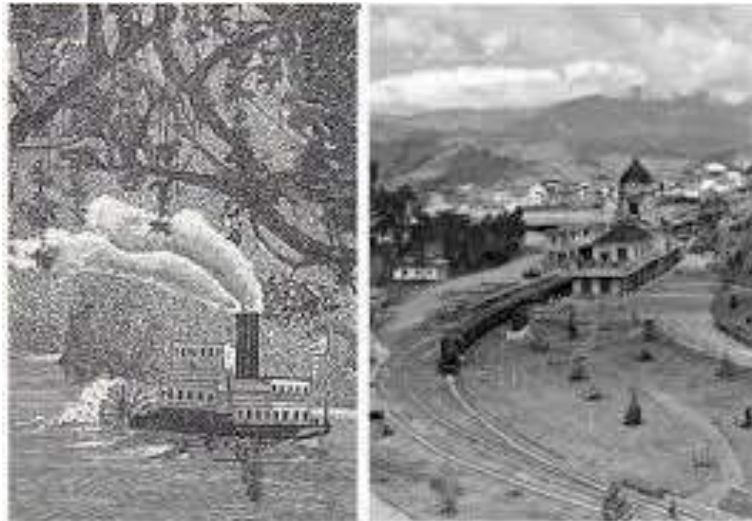


Imagen 51A: Vapor por el Magdalena, Edouard Andre en Geografía pintoresca de Colombia, y Ferrocarril de Caldas, Jorge Eduardo Ardila.

Resumen: El transporte férreo y el fluvial suelen ser más eficientes que el de las tractomulas que hoy tenemos. Por eso esta propuesta de un sistema intermodal, y de cuáles serían las rutas y las obras prioritarias para los próximos años: expandir el sistema ferroviario articulando la región Andina para salir del Altiplano hasta los mares mediante el Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41, y el corredor férreo del Cauca yendo desde Buenaventura hasta Urabá incluyendo la variante de Loboguerrero para hacer eficiente el Ferrocarril del Pacífico; esto con el objeto de implementar un sistema intermodal de carga soportado en corredores logísticos apalancados en trenes e hidrovías, dos medios que pueden resultar entre un 20-25% y 40-50% más económicos que la tractomula, si es que se desarrolla la locomotora del carbón andino y se planifica la inversión en infraestructura en función de los centros de generación de carga de Colombia. Aún más, también podemos acceder a la cuenca del Pacífico construyendo un paso interoceánico mediante el Ferrocarril Verde entre Puerto Antioquia y Cupica, que pasando por Chigorodó y Vigía del Fuerte se complementa con la hidrovía del Atrato.

Un transporte deficiente

Uno de los principales obstáculos al desarrollo económico de Colombia a lo largo de su historia ha consistido en la dificultad y el alto costo del transporte interno, que a su vez resulta del retraso en materia de infraestructura.

Para apreciar la magnitud del desafío actual, basta decir que en 2014 ocupábamos el puesto 18 entre los países de América Latina y el Caribe, con un índice de desempeño logístico de 2,64, contra un promedio de 2,74 para el conjunto de la región.

Durante los últimos años, sin embargo, se han producido avances de importancia. Además de haber creado la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) en 2011, de haber modernizado el sistema de concesiones en 2012 y de haber expedido las Leyes [1508](#) de 2012 y [1682](#) de 2013, el gobierno nacional ha venido planeando acciones de largo plazo en esta materia. Estas acciones están contempladas en el Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) 2015-2035 y en la Estrategia Nacional para el Desarrollo de Infraestructura (2015). Durante el siglo XX Europa consolidó los trenes de pasajeros gracias a su densidad demográfica y a la relativa cercanía entre sus grandes ciudades. Por su parte, Norteamérica lo había hecho con trenes de carga y no de pasajeros, ya que después de la explosión del automóvil (1930) y del avión (1950) estos medios fueron más aptos para su baja densidad poblacional.

A partir de finales del s. XIX, Colombia logró consolidar una incipiente red de ferrocarriles para el café que pudo competir con las recuas de mulas y bueyes y redujo los tiempos y costos, pero que no pudo competir con las tractomulas.

Mientras en Europa el 8 por ciento de las mercancías se mueven por tren y en Estados Unidos esta proporción llega al 38 por ciento, en Colombia la carga movilizada por este medio alcanza el 26 por ciento de las 300.000 toneladas anuales, sobre todo el carbón del Cerrejón y del Cesar. Además, el transporte que le aporta cerca del 4,2 por ciento al PIB de la nación responde por el 35 por ciento de la demanda de energía. Según el estudio "[Destrabando las arterias... del BID \(2010\)](#) por cada reducción porcentual del 10% en los costos de transporte, en América Latina las exportaciones crecerían del 50 al 70% y las importaciones entre el 40 y 60%, dependiendo de si se trata de productos agrícolas, manufacturados o mineros.

Cambio de "plan"



Imagen 51B: Sistema Férreo Nacional existente (rojo) y propuesto (verde), y Ferrocarril Verde entre Urabá y Cupica marchando por la margen del Atrato antioqueño, para conformar un paso interoceánico que a diferencia del Ferrocarril Chino desarticulado de Colombia (rojo), no afectaría el Darién.

El PMTI 2015-2035 da prioridad a proyectos cuyo beneficio depende de oportunidades multisectoriales, estimando la capacidad y volumen de los modos de transporte en función del movimiento de carga. Con este Plan se busca estructurar una red vial primaria que

le garantice al sector camionero una infraestructura eficiente, para operar con velocidades entre 60 y 80 kilómetros por hora según se trate de terreno montañoso o llano. El Plan contempla:

1. Inversiones férreas por 9,8 billones de pesos durante las dos décadas, lo cual incluye la adecuación de la trocha pero no la inversión en material rodante;
2. Inversiones portuarias por 1,28 billones que incluyen las obligaciones públicas de dragar canales existentes y garantizar que Cartagena y Buenaventura tengan accesos de 60 pies para recibir los barcos que transitarán por el nuevo Canal de Panamá; y
3. Inversiones por 4,8 billones de pesos en hidrovías.

En el PMTI los proyectos ferroviarios prioritarios para la primera década son:

- 410 kilómetros del tren del Pacífico,
- 257 kilómetros del tren Bogotá-Belencito, y
- 522 kilómetros del tren La Dorada-Chiriguáná (todos estos con una inversión total de 4,10 billones de pesos).

Durante la segunda década seguirá la construcción de:

- Los 420 kilómetros del tren carbonero del Carare (Belencito-Vizcaina), y
- 160 kilómetros en el tren San Juan del Cesar-Puerto Dibulla (Guajira) (dos obras que costarían 6 billones de pesos).

Las nuevas autopistas transformarán la obsoleta red de carreteras diseñada a partir del modelo de sustitución de importaciones y reorientarán la conectividad buscando la integración de regiones y conglomerados urbanos para favorecer la ampliación del mercado interno.

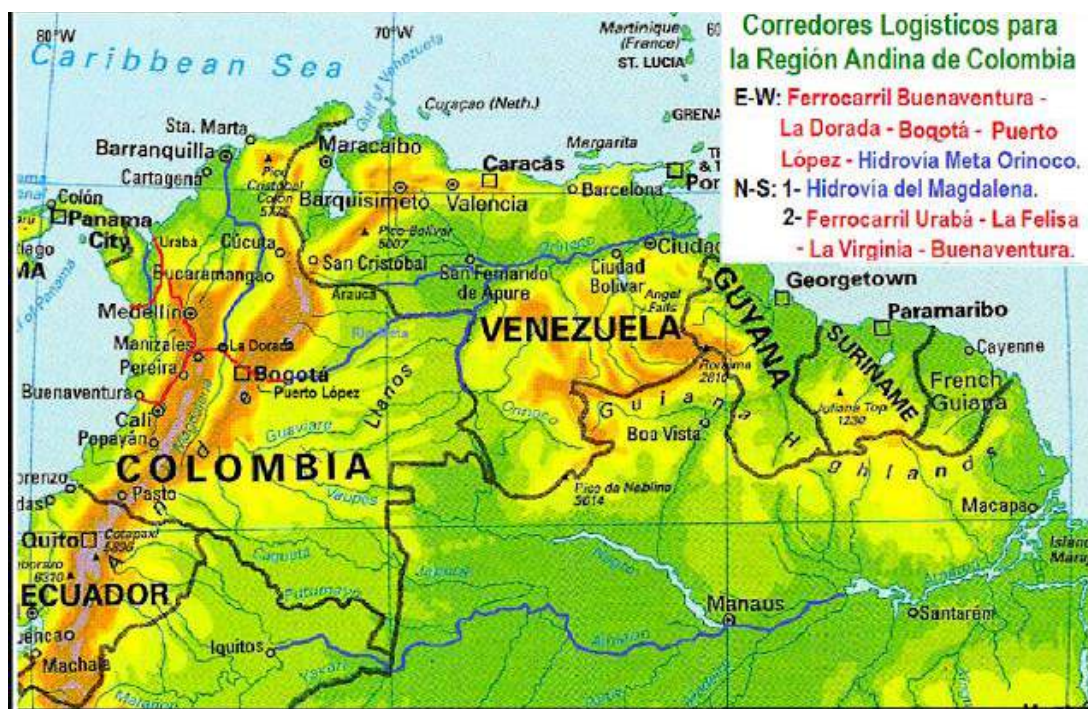


Imagen 51C.. Corredores Logísticos E-W y N-S, para la Región Andina de Colombia. Propuesta de Ferrocarriles e Hidrovías, SMP Manizales - UN de Colombia.

Otras propuestas

Sin embargo, el PMTI no deja de tener problemas a la hora de implementar un sistema intermodal de carga en Colombia. Según la Cámara Colombiana de Infraestructura (CCI), mientras el sistema multimodal en Europa moviliza el 60 por ciento de las mercancías, en Colombia, por la falta de articulación entre los modos fluvial y ferroviario, solo se alcanza el 1,5 por ciento en este tipo de transporte. A pesar de que las vías 4G podrían traer beneficios al reducir el tiempo de transporte hasta en un 30 por ciento, y aunque el PMTI considera que una reducción del 1 por ciento en el costo de los fletes puede aumentar las exportaciones entre 6 y 8 veces, en Colombia se persiste en el modo carretero para salir al mar y se abandona la interacción del sistema con ferrocarriles e hidrovías.

Al comparar la eficiencia de los sistemas carretero, férreo y fluvial, la hidrovia resulta ser un 40 a 50% más económica y el tren entre 20 y 25% más barato por unidad de carga que el transporte en tractomula. Por esa razón hay que apostarle a la combinación de modos de transporte, y estructurar el sistema sobre la base de redes que generen reducciones de costos a medida que crezca la demanda y se estimulen las economías de escala asociadas con las líneas troncales con sistemas de alimentación.

Además, el PMTI debería rediseñar los corredores logísticos Buenaventura-Puerto Carreño y Buenaventura-Bogotá, integrándolos mediante una línea férrea transversal que parta de Puerto López y llegue a Buenaventura, pasando por el altiplano y La Dorada, para cruzar la cordillera Central con el Ferrocarril Cafetero e integrarse al corredor férreo del río Cauca en los kilómetros 41, vecino de Irra. Ver: Ferrocarril Cafetero, en: <https://youtu.be/26q-zGOY5N4>

Movilizar un contenedor entre el altiplano y Buenaventura cuesta 2.100 dólares, contra los 800 dólares que cuesta sacarlo en Perú a sus puertos. Adicionalmente, en lugar de poner a competir hidrovías, ferrocarriles y carreteras a lo largo del Magdalena, se debería

incluir el Corredor Buenaventura-Eje Cafetero-Turbo, extendiendo el corredor férreo del Cauca, para llegar hasta Urabá, donde Antioquia tiene sus grandes megaportos. Incluso Chigorodó podría tener una extensión para salir en tren a Bahía Solano, cruzando el Atrato por Vigía del Fuerte para configurar entre ambos, tren e hidrovía, un paso interoceánico entre Urabá y Cupica. Extender así el sistema ferroviario hasta el Caribe y el Pacífico (con un costo igual al sobrecosto de Reficar más la mermelada de Odebrecht) permitiría articular el altiplano a los dos mares en Urabá y Buenaventura, al diamante caribe y a las hidrovías del Meta, del Atrato y del Magdalena. A esta última llegarían los contenedores partiendo de puertos ubicados en el norte del Valle y del altiplano, que son los centros de generación de carga en la Región Andina, e incluso los de Medellín y de Bucaramanga. El potencial de movimiento de carga de la hidrovía entre Barranquilla y Honda, según el [Plan Maestro de Aprovechamiento del Río Magdalena](#) elaborado por Hydrochina (2014), es de 500 millones de toneladas anuales, equivalentes a 150 trenes de 10.000 toneladas por día.

Ajustes necesarios

La importancia de encontrar economías modales que dependen de una estrategia que busca darle carga suficiente al sistema, no solo radica en que se pueden reducir los fletes del transporte, sino también en el aumento de nuestras exportaciones.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo, en su estudio [Destrabando las arterias: El impacto de los costos de transporte en el comercio de América Latina y el Caribe](#) (2010), por cada reducción porcentual de los costos las exportaciones podrían crecer porcentualmente varias veces.

Por lo tanto, habrá que desarrollar un sistema de plataformas logísticas apoyada en una red de puertos de contenedores ubicados en zonas generadoras e importadoras de carga, donde se consolide la carga y se empiecen los trámites aduaneros, con el fin de reducir de 15 a 5 días el tiempo que tarda exportar un contenedor en Colombia.

Al abrir la matriz modal de transporte de carga incorporando el transporte ferroviario y fluvial tendrá que considerarse el agotamiento de las reservas de petróleo antes de seis años para darle sentido al dragado del Magdalena. Como estas reservas representan la mayor proporción de su carga habría que trazar una nueva política pública alterna que se apoye en la locomotora del carbón andino. Este mineral es exportado desde Cundinamarca, Boyacá y Antioquia, donde la producción podría alcanzar los 10 millones de toneladas por año con destino a la Cuenca del Pacífico (con otro tanto sacado de Córdoba) y sería la clave para financiar la infraestructura férrea. Aunque por el cambio climático se planea reducir para 2050 el 80 por ciento del consumo mundial de carbón, el 50 por ciento del gas natural y el 30 por ciento del petróleo, habrá que consumir las enormes reservas del país en los próximos 40 años. Este es un asunto viable gracias a su excelente calidad, caracterizada por el bajo contenido de azufre y alto poder calorífico.

[Razón Pública, Bogotá, 2017.04.10]

9.12- ¿QUÉ HACER CON LA VÍA AL LLANO?



Imagen 52A: Panorámica de la vía al Llano. Razón Pública.

El problema de la Vía al Llano es de ingeniería, planeación o geografía. El riesgo y la incertidumbre son inevitables en un proyecto como este. Pero los diseños de ingeniería y la respuesta gubernamental ante el desastre deben estar a la altura del desafío. A pesar de los avances, la comunicación de los llanos con el centro del país sigue estando seriamente limitada.

En 2019, continuará cerrada durante varios meses

La vía que comunica a Villavicencio con Bogotá fue habilitada en septiembre de 2019 durante algunas horas diarias, para vehículos de carga y de pasajeros. Sin embargo, el viernes tuvo que cerrarse debido a nuevos derrumbes.

La carretera hace parte del corredor transversal Puerto Carreño-Buenaventura y ha estado inhabilitada desde el pasado 15 de junio. Según la gobernadora del Meta, Marcela Amaya García, el cierre ya ha producido pérdidas superiores a los dos billones de pesos, y deja graves consecuencias para los llaneros. La ruta fue concesionada a Coviandes y Coviandina para construir una autopista de 85,6 kilómetros en tres tramos. En condiciones normales, la carretera tiene un tráfico promedio de 11 mil vehículos por día y tres peajes: Boquerón, Naranjal y Pipara, que estarán hasta 2054. Debido a la fluctuación impredecible de los factores ambientales y a los desafíos técnicos, no parece haber luz verde para terminar la obra en 2023.

Algo de historia



Imagen 52B: Mapas de la Vía al Llano, en *El Espectador* (Adaptada) y en ANI.

Cuenta la historia que el antiguo camino de herradura que unía a Villavicencio con Bogotá se recorría en dos o tres días debido a las dificultades topográficas y la inestabilidad de las laderas. Luego, el auge económico de Villavicencio y la creciente demanda de bienes agropecuarios en la capital del país llevó a que entre 1924 y 1936 se convirtiera en un camino carreteable. Pero en el trópico andino las laderas son frágiles y pueden ser afectadas por cualquier obra de desarrollo longitudinal mal planificada. Además, el modelado, la ocupación conflictiva del territorio en los márgenes de la vía y la deforestación empeoran la situación. Esto fue lo que ocurrió con la antigua carretera.

El cierre ya ha producido pérdidas superiores a los dos billones de pesos.

En 1974, un derrumbe en la vía cobró cientos de vidas y causó pérdidas económicas significativas. El suceso se conoce como la tragedia de Quebrada Blanca y fue lo que desencadenó la construcción del actual túnel de Quebrada Blanca, una rectificación y varias obras complementarias destinadas a reducir el riesgo y el tiempo de viaje. Para lidiar con la demanda de conectividad vial entre Bogotá y los Llanos Orientales, desde 1994 se decidió construir la “nueva vía al Llano”, que se recorrería en 90 minutos a un costo de 79 mil millones de pesos. En 2011, cuando ya el nivel de servicio de la vía se hacía imposible, la Concesionaria Coviandes empezó la construcción de la doble calzada, gracias a una inversión a seis años que superaba los 1,8 billones de pesos. Según la ANI, luego de las modificaciones, el contrato sumaba 4,8 billones iniciando el 2018. Pero el diseño —que contempla la excavación de 25 túneles y 69 puentes entre otras obras viales como galerías para una operación fluida, la instalación de cientos de miles de metros cuadrados de malla metálica sobre los taludes, túneles falsos y obras adicionales preventivas— tendría un costo final de 8 billones de pesos.

¿Problemas de diseño o naturaleza indócil?

En la construcción de la vía al Llano se han presentado problemas de ingeniería que no tienen justificación. Es el caso de la caída del puente Chirajara en enero 15 del año 2018. Se desplomó uno de los dos pilones terminados pocos meses antes de la inauguración de la obra, dejando un saldo de nueve trabajadores muertos. El incidente mostró la falta de ética traducida en la absoluta precariedad del diseño que soportaba esta pieza fundamental de un viaducto galardonado con el Premio Nacional de Ingeniería en 2010. Este es el tipo de cosas que no deberían ocurrir.

Pero otra cosa son los riesgos inevitables que impone la naturaleza, que además dependen del tipo de obra y las características del terreno. Mientras en las obras subterráneas la incertidumbre suele ser del 30 por ciento o más, en las estructuras de concreto y similares ésta se reduce al 6 o 4 por ciento.

La nueva vía al Llano parece no tener luz verde hasta 2023.

Por ejemplo, los túneles tienen un alto riesgo porque su estabilidad está asociada, entre otras cosas, con cambios erráticos en las discontinuidades y variaciones litológicas del macizo rocoso. Al contrario, una obra de concreto representa un riesgo mínimo dado que depende de elementos que se conocen y pueden ser controlados, como la cuantía y configuración del acero y resistencia de los agregados o la geometría y comportamiento dinámico de las estructuras.

Para entender el riesgo también hay que tener en cuenta el clima. Por supuesto es necesario mejorar los pronósticos que permiten tomar medidas de precaución y así salvar vidas y proteger la economía. Esto va a la par de los sistemas de alerta. Pero aquí es necesario tener en cuenta que la información del clima revela probabilidades y no predicciones, por lo que siempre hay algún grado de incertidumbre.

Todos estos son factores que podrían explicar la complejidad del problema de la vía al Llano:

- La incertidumbre consustancial del macizo rocoso relacionada con la geología;
- La ocurrencia de eventos climáticos extremos dados los usos conflictivos del suelo;
- Las decisiones técnicas y sus consecuencias —como el posible impacto del uso de dinamita en la construcción—;
- Y las cuestiones administrativas relacionadas con obras inconclusas.

¿Cómo lidiar con el riesgo?

Para determinar la viabilidad de una obra como la vía al Llano, el diseño ingenieril debe contemplar e intentar calcular el riesgo relacionado con los factores ambientales. Para esto existen fórmulas (ver tabla) que calculan el riesgo de una amenaza —como un evento climático extremo— sobre la estabilidad de una obra teniendo en cuenta su vida útil, que en este caso debería ser de un siglo.

Valores de R		n= Vida útil de una obra							
		Años	10	25	50	100	250	500	1000
Tr= Periodo de retorno de la amenaza	10		0,65	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	25		0,34	0,64	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00
El Riesgo R está dado por:	50		0,18	0,40	0,64	0,87	0,99	1,00	1,00
	100		0,10	0,22	0,39	0,63	0,92	0,99	1,00
$R=1-(1-1/Tr)^n$	250		0,04	0,10	0,18	0,33	0,63	0,87	0,98
	500		0,02	0,05	0,10	0,18	0,39	0,63	0,86
	1000		0,01	0,02	0,05	0,10	0,22	0,39	0,63

Tabla: valores del Riesgo R, en función del periodo de retorno “Tr” de una amenaza expresado en años (Columna 1), y de la vida útil “n” de una obra (Fila 1). La diagonal en rojo (64 a 63%), destaca los valores utilizados para que las obras sean rentables

Por supuesto, el riesgo depende de la recurrencia de ese tipo de eventos a lo largo de la vida útil de la obra. El problema radica en que, con el calentamiento global, los eventos climáticos extremos se han exacerbado. Esto significa que el periodo de recurrencia o “Tr” de una amenaza puede aumentar, por ejemplo, de 100 a 25 años. Ver: Laderas del trópico andino, en

<https://youtu.be/mnzeE1YgQIM>

En la construcción de la vía al Llano se han presentado problemas de ingeniería que no tienen justificación.

Como lo muestra la tabla, esto aumentaría el riesgo “R” de 0,63 a 0,98. Un resultado así significa que hay un riesgo demasiado alto —cercano a la certeza— de que la obra falle frente a la presencia de una amenaza. Cuando eso ocurre la obra deja de ser rentable. Entonces, cuando el cambio climático ha logrado agravar la amenaza, la pregunta es: ¿qué se debe hacer? La respuesta es simple: se deben ajustar los diseños a la par con la amenaza, y con ello el nivel de riesgo se mantiene en niveles aceptables.

Así, a pesar de la incertidumbre relacionada con la geología y el comportamiento “salvaje” del clima, los diseños en escenarios complejos pueden conducir a obras robustas y confiables. Para ello es necesario hacer uso de los factores de seguridad y de la gestión del riesgo. Lo importante es reconocer las limitaciones de la ingeniería al planificar, diseñar y construir grandes proyectos, previniendo pasivos ambientales importantes que se traduzcan en riesgos.

Las medidas necesarias



Imagen 52 C: Las frágiles laderas de la Vía Bogotá-Villavicencio – Fotos W Radio y Covianoes

Con la carretera cerrada o solo parcialmente abierta, la conectividad de esta importante región del país es reducida. Solo hay otros dos caminos que sirven como alternativa para conectar la capital del Meta con Bogotá:

La Transversal del Sisga de 137 Km que, pasando por Guateque (Boyacá) y Aguaclara (Casanare), se recorre en 8 horas; y El corredor Briceño–Tunja-Sogamoso por Tauramena (Casanare) de 350 Km, que se transita en 11 horas.

Para paliar el impacto, el Gobierno ha debido:

- Garantizar el abastecimiento de combustible en las zonas afectadas;
- Otorgar incentivos de almacenamiento a los productores de arroz;
- Subsidiar el precio para productores de maíz tecnificado;
- Cubrir hasta el 50 por ciento del costo de peajes en vías alternas para vehículos de transporte público y de carga;
- Otorgar excepción al cobro y recaudo de la tasa aeroportuarias;
- Promover el consumo de bienes y servicios turísticos; y
- Declarar la alerta amarilla en la red hospitalaria de Cundinamarca y Meta, entre otras medidas.

A pesar de haberse iniciado hace 24 años, es evidente que las dificultades ingenieriles del proyecto continuarán, y con ellas la difícil situación del Llano. No se trata solo del medio agreste de una cordillera sedimentada de edad reciente y alto nivel de movimiento

tectónico. Los usos conflictivos del suelo, las limitaciones institucionales y la falta de experiencia empresarial —dada la complejidad del proyecto— también le pasan factura al país.

Más que de contratación, el problema de la vía al Llano es un problema de falta de experticia.

Sumando a la fatídica historia de esta vía, el problema actual incluye el derrumbe de los kilómetros 58 y 46+200, que ocurrió cuando las obras estaban a punto de concluir, o los desprendimientos en los kilómetros 38 y 64, que taponaron ambos carriles. En un informe técnico realizado por la concesionaria Coviandes se identifican otros 17 lugares críticos de la vía similares a los que han generado cierres continuos. La estabilidad del corredor vial dependerá del plan de acción que se elabore para resolver esas vulnerabilidades. Mientras tanto, por lo menos hasta que la situación se regularice, el Estado deberá ejecutar un plan de ajuste macroeconómico para salvar el difícil trance.

Lecturas complementarias

Sistema Bimodal Cafetero: ferrocarril y carretera para integrar la Región Andina.

Perfil de proyecto para un corredor bimodal transversal de unos 150 km, constituido por el Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41 y la Transversal Cafetera de Caldas, además del nuevo Túnel Cumanday. Documento para el taller de lanzamiento de un Centro de Altos Estudios del Asia – Pacífico en la Universidad Libre de Pereira, del Lunes 28/07/2014. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54691/sistemaferroviarioparalaregi%C3%B3nandinacolombia.pdf>

Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano.

Las ciudades, que surgen cuando la especie humana se ha establecido para facilitar las actividades socioeconómicas propias de una economía compleja, han evolucionado. Con el descubrimiento de América, los desarrollos urbanos de los poblados precolombinos cambiaron por otros que parten del modelo castellano. Pero ya en el siglo XX, al pasar de la arriería a los ferrocarriles cafeteros, y luego al automóvil, la ciudad se deshumaniza al concederle el espacio al transporte motorizado y a la jungla de concreto. Dicho hábitat comporta el reto de enfrentar profundos desafíos, para resolver ese modelo urbano conflictivo, no sustentable.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/49615/gonzaloduqueescobar.201442.pdf>

Eje Cafetero: elementos para una visión prospectiva.

Las ciudades, que surgen cuando la especie humana se ha establecido para facilitar las actividades socioeconómicas propias de una economía compleja, han evolucionado. Con el descubrimiento de América, los desarrollos urbanos de los poblados precolombinos cambiaron por otros que parten del modelo castellano. Pero ya en el siglo XX, al pasar de la arriería a los ferrocarriles cafeteros, y luego al automóvil, la ciudad se deshumaniza al concederle el espacio al transporte motorizado y a la jungla de concreto. Hoy, dicho hábitat comporta el reto de tener que enfrentar profundos desafíos, para resolver ese modelo urbano conflictivo, no sustentable.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20374/gonzaloduqueescobar.201336.pdf>

Medio ambiente, mercado y Estado.

Las grandes problemáticas de Colombia, más que responder a componentes técnicos y económicos, se relacionan con aspectos estructurales de naturaleza socioambiental. La fuerza del mercado frente a las falencias del Estado, como factores que explican las barreras para el desarrollo de la vacuna sintética contra la malaria en Colombia y la falta de control a las causas antrópicas del ecosidío de los chigüiros en el desierto de muerte del Casanare.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21507/gonzaloduqueescobar.201414.pdf>

Desarrollo energético y clima salvaje

No es viable quemar las actuales reservas de petróleo, gas y carbón sin afectar el clima de la Tierra. Urge descarbonizar la economía para reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, para llevándolas a un nivel que impida las interferencias antrópicas en el clima global, que ponen en riesgo la adaptación natural de los ecosistemas, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico sostenible. Colombia, deberá replantear su política minero - energética relacionada con el carbón. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52222/desarrolloenergeticoyclimasalvaje.pdf>

..

ENLACES U.N.:

Aerocafé en tiempos de pandemia.	Dos notas para el Pacífico Biogeográfico.	Navegando el Río Grande de la Magdalena.
Andén Pacífico Colombiano: ¿Otro Puerto?	Doscientos años de regresiones rurales en Colombia.	Nuestros bosques de niebla en riesgo.
Clima: las heladas en Colombia.	Economía colombiana: crisis y retos.	Plusvalía urbana y POT Manizales.
Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes	Eje Cafetero minero-energético.	Tierra y ruralidad en Colombia.
Corredor Bimodal Cafetero.	El Río Cauca en el desarrollo de la región.	Un TIM verde para el POT.
Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.	Geociencias y Medio ambiente.	Una mirada a los mares de Colombia.
Cultura del agua en los ríos urbanos.	La economía en la era del conocimiento.	Urabá frente a los mares de Colombia.
Dinámicas del clima andino colombiano.	La identidad del territorio caldense.	Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.
	Magdaleneando hasta el Tolima Grande.	

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap 18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

	<p>MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS</p>
<p>Amonite fosilizada. Montes.upm.es</p>	<p>Cap 10 TIEMPO GEOLÓGICO</p>
<p><u>GONZALO DUQUE ESCOBAR</u></p>	
<p>A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.</p>	

La edad del Universo se estima en 15.000 millones de años (Ma) y la de la Tierra en sólo unos 4.470 Ma. Varios isótopos tienen períodos de desintegración comparables con la edad del Universo. Por la concentración relativa de los mismos, así como de los productos de su desintegración, al investigar las rocas terrestres y lunares y sustancias meteóricas del sistema solar, se ha concluido sobre la edad del planeta. La escala de tiempo geológico sirve para ordenar y mostrar los acontecimientos importantes, en la evolución del Planeta.

Los métodos de medida de tiempo pueden clasificarse en dos grandes categorías: la que estudia el movimiento continuo y conduce a la noción de escala de tiempo, en la cual asociamos el concepto de fecha para la graduación de la escala, y la que se basa en la noción intuitiva de los intervalos de tiempo, de donde surge la necesidad de buscar una unidad de tiempo adecuada para medir el intervalo, y por lo tanto el instrumento que lo mide. En nuestro caso el primero será el millón de años y los segundos los relojes atómicos naturales aportados por elementos radioactivos.

El tiempo geológico puede ser absoluto o relativo; el primero se define por la desintegración de elementos radiactivos, principalmente en rocas ígneas y a veces en sedimentarias o en fósiles, en tanto que el segundo se determina por la superposición relativa de las rocas sedimentarias o por razonamientos paleontológicos.

10.1. TIEMPO ABSOLUTO

El número de protones del átomo, el número atómico, determina las propiedades químicas del elemento. Los átomos varían desde el más simple, el hidrógeno con un sólo protón, hasta el nobelio, que tiene 102. De los 102 elementos de la tabla periódica, algunos emiten espontáneamente rayos radiactivos, los cuales son principalmente de tres clases: alfa, beta y gamma. Los rayos alfa son partículas equivalentes a los núcleos de helio, los rayos beta son haces de electrones disparados a gran velocidad y los rayos gamma son haces de ondas electromagnéticas con longitudes de onda del orden de 10^{-8} a 10^{-9} centímetros.

Los núcleos de los átomos de los elementos radiactivos son inestables y se descomponen espontáneamente emitiendo partículas alfa y beta y cambiando la estructura nuclear del elemento para transformarse en otro elemento diferente. Por ejemplo el ^{238}U emite rayos alfa y se transforma en el elemento ^{234}Th : el uranio es el elemento progenitor o parental y el que resulta es el descendiente.

Tabla 15. Serie del Uranio 238

Isótopo	Partícula emitida	Características del elemento
238 U 92	α	Parental
234 Th 90	β	Descendiente
234 Pa 91	β	Descendiente
234 U 92	α	Descendiente

230 Th 90	α	Descendiente
226 Ra 88	α	Descendiente
222 Rn 86	α	Descendiente
219 Po 84	α	Descendiente
214 Pb 82	β	Descendiente
214 Bi 83	$\alpha = 0,04\%; \beta = 94,96\%$	Descendiente
214 Po 84	α	Descendiente
210 Th 81	β	Descendiente
210 Pb 82	β	Descendiente
210 Bi 83	β	Descendiente
210 Po 84	α	Descendiente
206 Pb 82	estable	Descendiente

Wagoner & Goldsmith. Horizontes C3smicos. Labor. 1985.

Pero el producto final de un elemento radiactivo ha de ser un descendiente est3ril que no emita m3s rayos, y en el caso del ^{238}U , el 3ltimo descendiente es el ^{206}Pb . La emisi3n radiactiva va siempre acompa3ada de un desprendimiento de calor: la cantidad de calor liberado en la desintegraci3n del ^{238}U en ^{206}Pb , es de $1,85 \times 10^{-12}$ calor3as por 3tomo. Si se espera para que se desintegre un gramo de uranio, en plomo el calor liberado equivale al que se obtiene de 800 kilogramos de carb3n.

- Vida media de un elemento. La velocidad de desintegraci3n espont3nea var3a enormemente de un elemento a otro y se expresa por la magnitud del **per3odo de semidesintegraci3n o vida media del elemento**, que es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de los 3tomos existentes al principio. Por ejemplo, si un elemento tiene t a3os de vida media, de 8 gramos iniciales, al cabo de t a3os se transformarn 4 gramos en el otro elemento y los 4 restantes tardarn t a3os para generar 2 gramos m3s del nuevo elemento. El radio, uno de los descendientes del ^{238}U , tiene un per3odo t de 1622 a3os. Si se parte de 8 gramos, en 1622 a3os habrn quedado 4 gramos; al cabo de otros 1622 a3os quedar3n s3lo 2 gramos, y as3 sucesivamente. Hasta donde los cient3ficos han podido comprobar, la velocidad de desintegraci3n no se altera por la temperatura, la presi3n o el estado de combinaci3n qu3mica en que se encuentre el elemento, y el per3odo de un elemento radiactivo se considera como una constante y es una propiedad fundamental del elemento.

10.1.1 M3todos de dataci3n. Algunos elementos radiactivos como el ^{238}U tienen per3odos de semidesintegraci3n (vida media) de miles de millones de a3os, y, por contraste, otros elementos tienen per3odos extraordinariamente cortos: el d3cimo descendiente del ^{238}U , el ^{214}Po , tiene un per3odo de aproximadamente una millon3sima de segundo. En consecuencia, los elementos radiactivos de vida larga son la base de los relojes geol3gicos.

Las dataciones radioactivas se aplican seg3n los siguientes procesos, para los cuales se se3ala la vida media:

- | | | | |
|----|----------------|---|-------------------------|
| 1) | 87 Rb, 87 Sr | → | 47.000 millones de a3os |
| 2) | 232 Th, 208 Pb | → | 13.900 millones de a3os |
| 3) | 238 U, 206 Pb | → | 4.560 millones de a3os |
| 4) | 40 K, 40 Ar | → | 1.300 millones de a3os |
| 5) | 235 U, 207 Pb | → | 713 millones de a3os |
| 6) | 14 C, 14 N | → | 5.570 a3os solamente |

Los m3todos de dataci3n radiom3trica m3s conocidos son el Uranio/Plomo y el Carbono 14. Pero los cient3ficos han llegado a la conclusi3n que las principales fuentes radiactivas de calor de la tierra son el uranio, el torio y un is3topo radiactivo del potasio cuya masa at3mica es 40, en vez de 39 que es la del elemento estable

10.1.2 El calor radiactivo de la tierra. Los elementos radiactivos son mucho m3s abundantes en las rocas gran3ticas, menos abundantes en las rocas bas3lticas y mucho menos en la peridotita. Esas tres rocas son los mejores candidatos para constituir las capas superior e inferior de la corteza y el manto respectivamente. As3 se puede deducir que los elementos radiactivos que suministran calor est3n fuertemente concentrados cerca a la superficie, mientras la cantidad de elementos radiactivos en el n3cleo (seg3n modelos) se supone comparable a la cuant3a medida en el hierro mete3rico. Los valores son los siguientes.

En la tabla 16 la primera columna es para el tipo de roca; las tres siguientes dan la cantidad de gramos/tonelada en la roca; las tres siguientes dan la cantidad de calor en calor3a/gramo x segundo x 10^{-6} , y la 3ltima, da la cantidad total de calor en calor3as/cm³ x seg x 105.

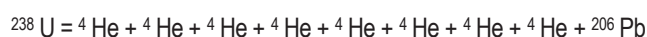
Tabla 16. Contenido radiactivo y calor liberado.

Rocalelemento	U	Th	K	U	Th	K	Total
Roca granítica	4	13	4.1	940	820	300	1.74
Roca basáltica	0.6	2	1.5	140	130	110	0.35
Roca peridotita	0.02	0.06	0.02	4.7	3.7	1.5	0.01
Meteorito condritico	0.011	?	0.093	3	?	7	0.0095
Meteorito ferrifero	1×10^{-4}	?	?	2×10^{-2}	?	?	6×10^{-5}
	a			a			a
	1×10^{-6}			2×10^{-4}			6×10^{-7}

Takeuchi-Uyeda-Kanamori. ¿Qué es la Tierra?, Orbis, 1986.

10.1.3 El uranio. El $^{238}\text{U}_{92}$, se interpreta como el elemento 92 en el cual el número de protones y neutrones es 238.

Como el Uranio es inestable, generará 8 átomos de $^4\text{He}_2$ y uno de $^{206}\text{Pb}_{82}$, así:



Utilizando como reloj la desintegración de elementos radiactivos de largo período se puede calcular la edad de la Tierra: se han encontrado rocas de hasta 3000 millones de años. Para la determinación de la edad exacta de la Tierra, se utiliza la composición isotópica del plomo y el método seguido es en líneas generales: los isótopos del uranio (^{238}U y ^{235}U) y el torio (^{232}Th) se desintegran y generan diferentes isótopos estables de plomo, así:



Sin embargo, el plomo tiene otro isótopo, ^{204}Pb , no radiogénico, que no es resultado de la radiactividad. Cuando la Tierra se originó, el plomo existente debió contener los cuatro isótopos de Pb (204, 206, 207 y 208) en una proporción que se fue modificando al pasar el tiempo, pues las cuantías de uno de los isótopos permanecían constantes mientras la de los otros tres crecía a causa de la desintegración del uranio y el torio.

10.1.4 La edad de la tierra. Para determinar la composición isotópica del plomo en determinado período de la historia de la Tierra, debe hallarse la composición isotópica del plomo en minerales como la galena, que se formaron en aquel período. El razonamiento es muy simple: cuando el plomo se combina para formar un mineral, es insignificante la probabilidad de que se añadan al mismo, torio y uranio. Por tanto se puede admitir que un mineral de plomo que se formó, hace 500 millones de años, por ejemplo, conserva hoy el fósil de la composición isotópica del plomo que existía ya en aquel tiempo.

Comparando las composiciones isotópicas de minerales de plomo de distintas épocas, se observa que las cantidades de los isótopos de plomo 206, 207 y 208 son tanto mayores cuanto más recientes son esas épocas. Si se determina la rapidez de ese aumento, en principio, será posible calcular matemáticamente la edad de la Tierra. En la práctica el cálculo está sujeto a error puesto que en realidad se desconoce la proporción en que se encontraban estos isótopos en el momento del nacimiento de la Tierra. No obstante, se ha adoptado la hipótesis de que la sustancia primitiva de nuestro globo es la misma de los actuales meteoritos, entre los cuales está la troilita que es un siderito con plomo y cantidades tan minúsculas de uranio y plomo, que el plomo, debido a su desintegración durante la historia del meteorito, es prácticamente despreciable. De enorme importancia es el hecho de que la edad de los lilitos o meteoritos pétreos, determinada independientemente, diera también un valor próximo a los 4500 millones de años, edad calculada de la Tierra.

-Los Muiscas explicaban el origen del mundo y del hombre valiéndose de tres mitos diferentes y complementarios, que corresponden a tres etapas culturales diferentes: El primero es el de Chiminigagua, por ser más antiguo y aludir a la creación del Universo; según Fray Pedro Simón, cuando todo era oscuro y nada existía, la luz estaba metida en una cosa grande, llamada Chimigagua que explota, para que salga Chiminigagua mostrando la luz que tenía y de ella criando cosas; las primeras, unas aves negras grandes que con su aliento resplandeciente iluminan y aclaran todo lo demás ya creado (este mito es un equivalente al Big-Bang). Los dos siguientes son el de Chibchacum y el de Bochica, que explican el origen lacustre de la sabana de Bogota y el del salto del Tequendama, cuando dice que, estando la Tierra sostenida por cuatro guayacanes, resulta inundada por voluntad de la primera divinidad, enojada con el pueblo. Pero el buen Bochica las dreña creando el salto del río Bogotá (la edad actual de estas, es unos 16.000 años).

10.1.5 El carbono 14. El carbono 14 con una vida media aproximada de 5600 años es útil para datar muestras, orgánicas con una antigüedad inferior a los 50 mil años. Los rayos cósmicos (neutrones acelerados) bombardean el nitrógeno normal de la atmósfera, $^{14}\text{N}_7$, desequilibrándolo por la vía de los protones, para obtener el $^{14}\text{C}_6$, isótopo del $^{12}\text{C}_6$, o carbono normal. Luego se forma el bióxido de carbono 14, especie cuyo nivel existente en la biosfera ha sido relativamente constante en los últimos milenios.

Los seres vivos, (plantas y animales) absorben ese bióxido, pero al morir, empieza a retrogradar el C 14 a N 14 con la vida media anunciada. En la muestra que se desea datar se compara el nivel que aún queda de C 14 con el que ha existido y existe en la atmósfera, esa diferencia da la edad de la muestra establecida en términos de vida media del carbono 14.

Para edades intermedias para las cuales los procedimientos anteriores no son suficientes se utilizan otros procesos como el K-Ar con una vida media de 1200 millones de años. Este método es útil para muestras con antigüedades entre 3400 y 30 mil años.

Para períodos recientes, como el cuaternario, se utilizan algunos métodos típicos de datación relativa como el estudio de sedimentos (varvas) en lagos glaciares o del polen de las flores, en materiales cuaternarios.

Cuadro 14. Edades radiométricas en el departamento de Caldas. Tomado del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Caldas.

ROCA	LOCALIDAD	METODO MATERIAL	UNIDAD LITOLÓGICA	EDAD (Ma.)
Andesita	Cerro el Morro, Samaná	K/Ar Anfíbol	Pórfido del Morro	3,5±0,2
Andesita	Puente Linda	K/Ar Anfíbol	Pórfido Puente Linda	3,6±0,2
Pórfido dacítico	Quebrada Chaburquí	K/Ar Anfíbol	Stock Marmato	6,3±0,7
Pórfido Andesítico	La Felisa	K/Ar Biotita	Stock La Felisa	6,9±0,2
Pórfido Andesítico	La Felisa	K/Ar Anfíbol	Stock La Felisa	7,1±0,2
Granodiorita	Carretera Manizales-Fresno	Huellas de fisión Apatito	Stock de Manizales	10,5±1,0
Tonalita	Florencia	K/Ar Biotita	Stock Florencia	54,9±1,9
Esquisto biotítico	Este del Dpto. de Caldas	K/Ar Biotita	Complejo Cajamarca	67,3±2,3
Cuarcita	Este del Dpto. de Caldas	K/Ar Biotita	Complejo Cajamarca	71,9±2,5
Diorita	Samaná	K/Ar Anfíbol	Stock Samaná	75,1±4,9
Cuarcita	Caldas	K/Ar Biotita	Complejo Cajamarca	76,0±2,6
Gneis	Este de Norcasia	K/Ar Biotita	Intrusivo gnéisico de Norcasia	80,9±2,8
Diorita	La Pintada-Arma	K/Ar Anfíbol	Stock Cambumbia	112,0±5,0
Diorita	La Pintada-Arma	K/Ar Roca total	Stock Cambumbia	113,0±3,0
Gneis	Río Manso	K/Ar Biotita	Intrusivo gnéisico de Norcasia	205,0±7,0

Ingeominas. Santafé de Bogotá, 1993.

10.2. TIEMPO RELATIVO

Se determina principalmente la posición relativa de las capas sedimentarias y los fósiles contenidos (paleontología).

La correlación es el método que liga la secuencia de un lugar con otro, así:

- **Estratigrafía.** Se establece en las rocas sedimentarias el orden de los estratos y la correspondencia y carácter litológico y posición litoestratigráfica.

- **Correlación bioestratigráfica o por fósiles.** Los fósiles resultan contemporáneos a los estratos que los contienen. Ello supone el estudio de la evolución de los seres vivos.

- **Por características físicas.** Las que se observan gracias a pozos exploratorios o a muestras de perforaciones, en los materiales rocosos.

Aparte de estos métodos existen otros que permiten correlacionar las rocas: tectónicos, paleomagnéticos, paleoclimáticos, volcánicos y arqueológicos.

Los **métodos tectónicos** suponen la utilización de eventos importantes tales como los períodos de elevación e una montaña; estos métodos están repletos de dificultades; no existe una evidencia consistente que demuestre que esos procesos estuvieran sincronizados en toda la superficie de la tierra.

Los **métodos paleomagnéticos**, basados en las inversiones periódicas del campo magnético de la Tierra, registradas en las rocas de los fondos oceánicos, han proporcionado una herramienta de gran utilidad para datar la última parte del registro estratigráfico y desenmarañar la historia de los movimientos relativos de los continentes.

Los **métodos paleoclimáticos** se soportan en los cambios marcados en el clima, que acompañados frecuentemente por variaciones de altitud y latitud, aportan recursos de correlación; estos métodos han sido muy utilizados en el cuaternario.

Los **métodos volcánicos** suponen acontecimientos por lo general repentinos de corta duración y amplios efectos: lavas y cenizas ocupan una sucesión regular de estratos en la superficie terrestre o en los fondos marinos, que pueden servir como horizonte guía.

La Arqueología puede reconocer pisos donde se han establecido culturas susceptibles de ser datadas; los depósitos que los cubren ponen en evidencia eventos posteriores y fechables. Este método resulta de particular interés para América, donde la historia se extiende a sólo 500 años, pero se tiene conocimiento del desarrollo de las culturas precolombinas a lo largo del tiempo, con lo cual las fechas pueden ser estimadas por las características de las cerámicas y demás utensilios.

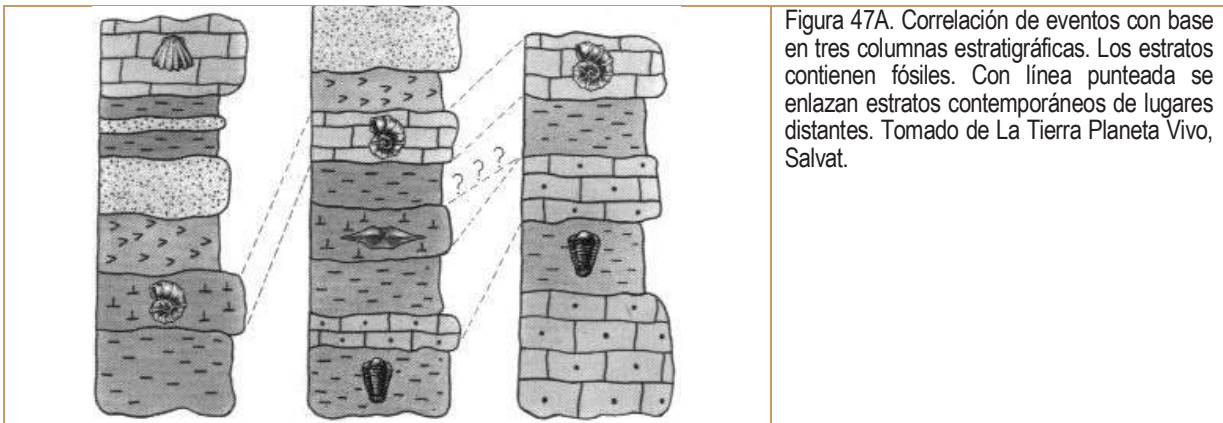


Figura 47A. Correlación de eventos con base en tres columnas estratigráficas. Los estratos contienen fósiles. Con línea punteada se enlazan estratos contemporáneos de lugares distantes. Tomado de La Tierra Planeta Vivo, Salvat.

Los **métodos tectónicos** suponen la utilización de eventos importantes tales como los períodos de elevación e una montaña; estos métodos están repletos de dificultades; no existe una evidencia consistente que demuestre que esos procesos estuvieran sincronizados en toda la superficie de la tierra.

Para ilustrar la correlación, tan útil para establecer el tiempo relativo y la secuencia de los eventos entre zonas más o menos alejadas, se utilizan las columnas estratigráficas que contienen las litologías de sus zonas respectivas. Adicionalmente con los fósiles presentes en dichas capas, se puede hacer una correlación temporal entre litologías distintas. Ver figura 47.

10.2.1 Principios de estratigrafía. La estratigrafía es esencialmente el estudio de la historia de la Tierra tal y como ha quedado registrada hasta hoy en las rocas estratificadas. Incluye esta historia grandes episodios de construcción de montañas, procesos magmáticos y metamorfismo de rocas. En sus albores la estratigrafía fue un escenario de confrontaciones entre neptunistas y plutonistas, y también entre catastrofistas y uniformistas, en el cual irrumpió William Smith, el padre de la estratigrafía.

Los **neptunistas** sostenían que las rocas habían sido formadas como precipitaciones químicas en agua y los **plutonistas** discutían su origen a partir de un estado de fusión. De otro lado los **catastrofistas** propusieron como explicación de la mayoría de los fenómenos geológicos, especialmente el de los fósiles contenidos, la gran catástrofe del Diluvio Universal, y otras más, para explicar la larga sucesión de flora y fauna en las rocas estratificadas; mientras los **uniformistas**, con la premisa "el presente es la clave del pasado", sostenían que todo lo sucedido en el entorno geológico puede ser explicado por los mismos procesos de erosión, transporte y deposición, que se ven en marcha hoy en día; además la actividad volcánica para explicar las rocas ígneas.

A finales del siglo XVIII William Smith, observando las minas de carbón y rutas de los canales, descubre **dos principios simples de la estratigrafía**, los dos únicos que esta disciplina aún posee: la **ley de la superposición** y el **principio de correlación**.

Ley de la superposición. Según ella, en circunstancias normales, los depósitos más jóvenes descansarán sobre los más antiguos y que la sucesión seguirá lecho sobre lecho en orden cronológico. Esto puede ser tan obvio que no necesite aclaración; sin embargo, el principio reconocido en el siglo XVII por Steno había sido olvidado.

Desde luego no es siempre tan sencillo como parece, pues los movimientos laterales de la corteza inclinan y aún, dislocan los estratos, colocando los más antiguos sobre los más recientes.

Principio de correlación. El segundo gran principio sugiere qué rocas de diferentes lugares se han formado al mismo tiempo, si contienen los mismos tipos de fósiles: de esta forma pueden correlacionarse rocas sin frontera física común.

Por supuesto que al avanzar en la tarea de revelar la historia geológica de un territorio, los registros pueden estar lejos de ser completos, surgiendo lo que se denomina una "discordancia," como un lapsus en el registro de los hechos.

Dado que las rocas pueden aparecer en un lugar y estar ausentes en otro, también pueden cambiar de carácter con relación a su situación en uno u otro lugar. La suma total de las características de una roca, denominada facies, nos lleva incluso tan lejos como a la interpretación del ambiente real que la roca representa.

En una **primera aproximación** se dice que un conjunto de estratos tiene una facies arenosa, otro de aproximadamente la misma edad una facies calcárea, y con mayor detalle, se puede hablar de una facies marina somera o de una facies de dunas arenosas.

La **siguiente etapa** para resolver la estratigrafía de un área consiste en la interpretación de los sucesivos ambientes registrados en los sedimentos, con lo cual se pueden construir los mapas paleogeográficos de una región en particular y en un momento específico del pasado. La variación lateral de las facies en los estratos dificulta la correlación, pues no son sólo las rocas las que varían sino también los fósiles contenidos.

10.3. LA COLUMNA GEOLOGICA

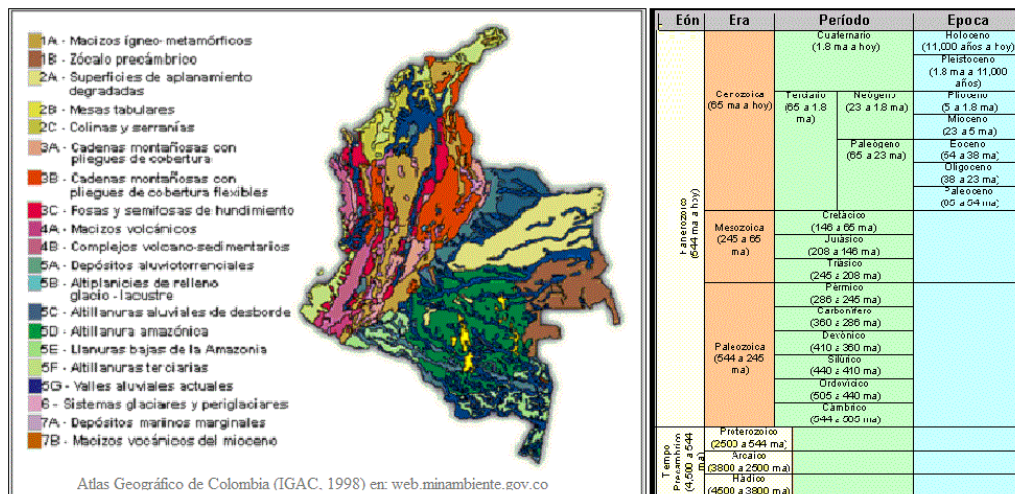


Imagen 47B. Mapa geológico de Colombia. Fuente, Atlas Geográfico IGAC 1998.

En la cronología clásica, las eras, de la más antigua a la más reciente, se suceden así: a la era arcaica, la que se entendió como era azoica, le suceden las eras donde evoluciona la vida, y así viene la primaria; luego la secundaria, la terciaria y la cuaternaria, llegando esta última hasta el tiempo actual.

Esa cronología ha sido sustituida por la cronología moderna del cuadro 15, en el que se incluyen los eones, y terciario y cuaternario forman una sola era. A cada unidad de la escala de tiempo geológico corresponde otra en el haz de la serie de materiales de la corteza que la integran; esta correspondencia es la siguiente:



Cuadro 15. Escala de tiempo geológico

ERAS	PERIODOS	EPOCAS	LA VIDA	E
Cenozoica. Dura 70 millones de años (inicia hace 70 Ma.)	Cuaternario	Holoceno Pleistoceno	Hombre actual Hielo	1
	Terciario	Plioceno Mioceno Oligoceno Eoceno Paleoceno	Predomino flores Desarrollo mono Pastos y praderas Caballo primitivo Inician mamíferos	1
Mesozoica 150 Ma. (Hace 220 Ma.)	Cretácico Jurásico Triásico	Extinción dinosaurios Aparecen las aves Aparecen dinosaurios		1
Paleozoica dura 330 Ma. Inicia hace 550 M a.	Pérmico Pennsylvánico Missisípico Devónico Silúrico Ordovícico Cámbrico	Reptiles Carbonífero superior Carbonífero inferior Desarrollo de fauna de peces Plantas y animales terrestres Primeros vertebrados (peces) Abundancia de fósiles invertebrados		1
Precámbrico <3.500 M a.	Algónquico	Plantas e invertebrados marinos		2
	Arcaico	Gran período azoico		3

EONES 1 = fanerozoico 2 = proterozoico 3 = criptozoico

Adaptado de Casquet et al. La Tierra, planeta vivo; Salvat, 1985.

10.3.1 Precámbrico. El **arcaico** o período inferior del Precámbrico es de amplia duración (2000 millones de años) desde que se originó la corteza hasta hace unos 2500 millones de años.

Los materiales del período afloran en Finlandia, Canadá y el Cañón del Colorado, donde las rocas del sistema son fundamentalmente gneis, esquistos, granitos y pórfidos. Formadas ya las primeras cuencas marinas, y constituidos los primeros núcleos emergidos con carácter de archipiélagos, se producen los primeros geosinclinales y numerosas orogénias y ciclos volcánicos, para que se formen las antiguas placas tectónicas. A finales del arcaico se difunden por los mares los primeros organismos unicelulares, vegetales y animales.

- El **algónquico** es el período superior del Precámbrico formado por el lapso comprendido desde hace 2500 hasta 570 millones de años. Los materiales del algónquico (esquistos, cuarcita, areniscas, tillitas, basaltos y pórfidos) aparecen discordantes sobre los del arcaico. Se inicia con la formación de territorios permanentemente libres de agua sobre los que circulan ríos y aparecen en el mar organismos pluricelulares (estromatolitos), cuando la temperatura media era aún bastante elevada, pues sólo a finales del período cae por debajo de 100°C para dar paso a una glaciación.

10.3.2 Paleozoico. Durante el **cámbrico**, período que representa la base del Paleozoico, y que dura unos 70 millones de años, permanecieron emergidas las tierras plegadas por la orogenia Herciana. Fueron importantes dos geosinclinales en Europa, mientras uno ya existía en América sobre la costa Pacífico y otro en lo que hoy ocupan los Apalaches. No hubo en el período orogénesis actividad magmática importante, pero sí una importante transgresión marina, la formación de los tres grandes océanos actuales y una fauna exclusivamente marina (algas, celentéreos, crustáceos, branquiópodos y esponjas).

- En el **ordovícico-silúrico** la orogenia caledoniana separa notables convulsiones marinas y los océanos invaden gran parte de las tierras emergidas. A la fauna marina invertebrada (graptolites, trilobites y cefalópodos) se suman los primeros peces acorazados (ostracodermos y placodermos), siendo la flora exclusivamente marina (algas).

Si del ordovícico las rocas más abundantes son depósitos de cuarcitas, pizarras y calizas con fósiles, las del silúrico son las pizarras. El ordovícico transcurre desde hace 500 hasta 435 millones de años y el silúrico desde hace 435 hasta 395 millones de años.

- Durante el **devónico** hay gran extensión de los continentes y un clima seco y caluroso. En el período de 48 millones de años, desde 395 hasta 347 millones de años, se dan la formación de la atmósfera actual y las últimas fases de la orogenia caledoniana. En esta época persiste la existencia del continente Noratlántico separado del de Gondwana por el mar de Tetis. Aquí se da un hecho muy importante: la conquista del medio terrestre o aéreo por los seres vivos, pues además del gran desarrollo de los peces acorazados y la desaparición de los graptolites, aparecen los anfibios y los primeros insectos terrestres. La flora se instala en los bajos mares interiores, los cursos de agua y los pantanos; aparecen psilofitales y riniales y a continuación los primeros helechos arborescentes y las primeras criptógamas.

- Durante el **carbonífero** se dan intensos y repetidos movimientos verticales de las tierras emergidas; paroxismo de la orogénesis herciniana y formación de potentes series sedimentarias englobando restos vegetales. Prevalen las tierras emergidas de carácter pantanoso ricas en bosques que fragmentan el océano Tetis y termina el período con una glaciación.

El clima era tropical en el hemisferio norte y frío en el sur. El carbonífero transcurre a lo largo de 67 millones de años, desde hace unos 347 hasta hace 280 millones de años. De este período de fauna marina rica, en el que aparecen los primeros peces ganoideos y difusión sobre tierra firme de artrópodos y batracios (anfibios), los fósiles animales más característicos son los goniatites.

- El **pérmico**, sistema superior del paleozoico, transcurre desde 280 millones de años hasta 230, antes del presente. Aparecen en él dos facies bien determinadas, la marina y la continental; la primera de tipo calcodolomítico mientras la segunda está caracterizada por areniscas rojas y evaporitas.

En él se verifica una progresiva retirada de los mares y una pequeña elevación de los Urales y a lo largo del Golfo de Méjico, y también el inicio de la separación de Madagascar.

En este período se difunden los primeros reptiles y se desarrollan los batracios gigantes, se desarrollan los peces ganoideos y desaparecen los trilobites y tetracoralarios. En flora se desarrollan las gimnospermas y hay predominio con formas gigantes de helechos, cordaites y equisetos.

10.3.3 Mesozoico. Se inicia la era **mesozoica** con el período **triásico**, que transcurre a lo largo de unos 35 millones de años. En el triásico se producen profundas fracturas, de las que sale lava como la enorme colada basáltica del Paraná que ocupa 1 millón de Km².

Es el predominio de la regresión marina que favorece la formación de potentes sedimentos a causa de una intensa erosión en los continentes. Sobre la biosfera se observa cómo se afirman y difunden los reptiles diferenciados pero sin que existan todavía anfibios gigantes. En los mares se desarrollan peces ganoideos, seláceos y varias especies de invertebrados, además de algas características, mientras en los continentes hay una difusión de coníferas tipo araucaria y numerosas xerófilas.

- El **jurásico**, es un período con regresiones y transgresiones marinas, con predominio de tierras emergidas y grandes pantanos en Europa, representado especialmente por calizas y margas.

El sistema que transcurre desde hace 195 hasta 141 millones de años, bajo un clima tipo tropical, es propicio para que los reptiles (voladores, nadadores y terrestres) alcancen su máximo desarrollo.

En los mares se encuentran reptiles gigantes (ictiosaurios) y gigantescos ammonites, mientras en los continentes predominan las coníferas y cicadáceas, aparecen las primeras angiospermas monocotiledóneas, las primeras aves, los mamíferos marsupiales y los grandes reptiles (dinosaurios, pterosaurios, etc.).

- El **cretácico** es un período caracterizado por oscilaciones verticales de tierras emergidas. En el cretácico inferior el geosinclinal de Tetis continúa recibiendo sedimentos y su océano alcanza su máxima extensión separando tierras meridionales y septentrionales, mientras a finales del período se da una intensa actividad volcánica que origina extensas llanuras de lava; se verifican también el primer paroxismo de la orogenia alpino- himalayana y movimientos orogénicos en América (Andes y Montañas Rocosas).

En estos 76 millones de años (desde hace 141 hasta hace 65 millones de años) aparecen los antepasados directos de las aves, se desarrollan los marsupiales, hay todavía dominio de reptiles hasta el final de la era y se desarrollan las dicotiledóneas, las monocotiledóneas y las coníferas de géneros actuales.

10.3.4 Cenozoico. El **paleógeno** o **terciario temprano**, que comprende el ciclo paleo-eo-oligoceno, es el inicio de la era **cenozoica** que dura 42 millones de años. Se inicia con la transgresión de Tetis que separa Australia del Asia Insular y las dos Américas, continúa con extensas convulsiones que afectan las cálidas aguas de Tetis cuando las dos Américas están separadas. Termina el paleógeno con un segundo paroxismo de la orogenia alpino-himalaya, con la formación de las cadenas costeras de las Rocosas, el Caribe y algunas zonas de América Central. Se desarrollan los mamíferos y las aves y aparecen en los mares nuevas especies de foraminíferos y los característicos nummulites.

A las especies de tipo tropical se unen las de tipo subtropical y a mediados del paleógeno aparecen nuevas especies de mamíferos. En el **oligoceno** aparecen los hipopótamos, los lemúridos, los libérridos y los insectívoros, y sobre el medio subtropical, en zonas de montañas, se desarrollan bosques de caducifolios.

- El **neógeno** o **terciario tardío** (mio-plioceno) transcurre desde 23 millones de años hasta hace 1.8 millones de años. En él se produce el más importante paroxismo de la orogénesis himalayana y a final del período se restablece la unión entre las dos Américas, desapareciendo definitivamente Tetis del Asia centro-oriental.

Se abre el mar Rojo y el clima empieza a diferenciarse según las regiones, en templado y lluvioso para el norte y en cálido y húmedo para el sur. Durante el **mioceno** aparecen los simios antropomorfos y algunas especies terrícolas que preludian la forma humana, en fauna se difunden los proboscíferos y desaparecen los nummulites; la flora, de tipo cálido templado, muestra extensos bosques de planifolios, palmeras y plantas tropicales.

- Durante el **plioceno**, Insulindia y las Antillas toman el aspecto actual, se forma la península italiana y el mar Rojo y además aparecen los antepasados directos del hombre; en fauna se desarrollan los simios antropomorfos y aparecen los antepasados de las actuales especies animales (caballos, felinos, aves, etc.); en flora la característica son bosques de planifolias y numerosas especies subtropicales.

- El **cuaternario** (neozoico), que se inicia hace 1.8 millones de años, con el **pleistoceno**, empieza con el asentamiento de la orografía actual y las glaciaciones. Durante los avances del hielo se establecen puentes de tierra que unen al Asia con América y el Asia Meridional (Insulindia). En este período aparece el hombre actual.

Durante las glaciaciones los bosques de coníferas llegan al Mediterráneo y en los períodos interglaciares las especies de clima cálido suben a Europa. En el **holoceno** se forma el estrecho de Gibraltar y de Mesina y se hunden los puentes intercontinentales. Además, se constituyen las actuales razas humanas, se descubre la agricultura, el pastoreo y la metalurgia, y se da paso a la civilización actual.

10.4. TÉRMINOS

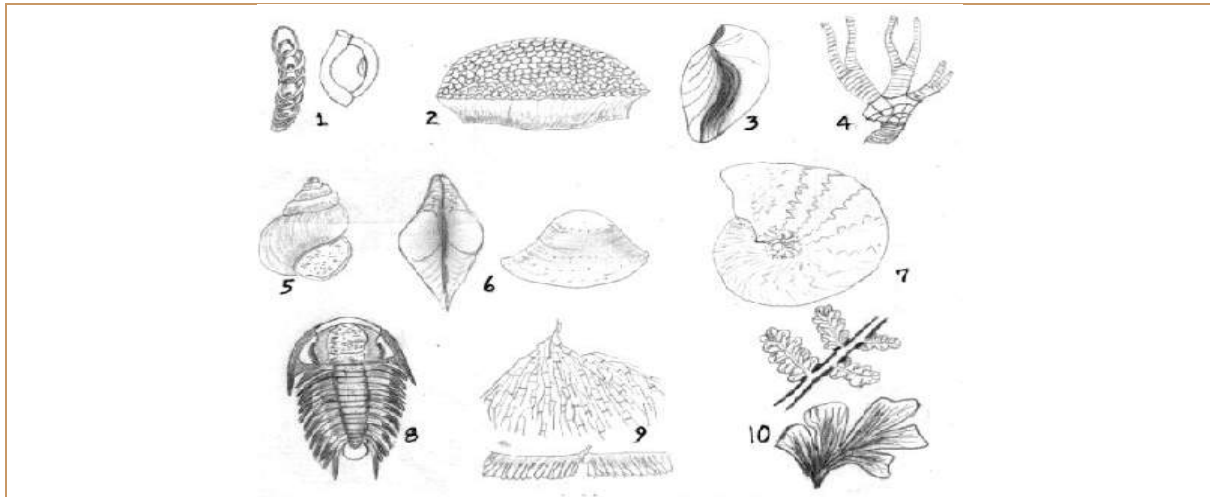


Figura 48. Registros fósiles. 1. Foraminífera (nodosaria y miliodido), 2. Coral (porífera), 3. Braquiópodo, 4. Crinoidea, 5. Gasterópodo, 6. Lamelibranquia (dos vistas), 7. Ammonita (cefalópodo), 8. Trilobites (polímero), 9. Graptolito, 10. Plantas fósiles. (Mariopteris y ginkgo). Adaptado de Enciclopedia de las Ciencias Naturales, Ed. Nauta.

- **Diastrofismo.** Término que se opone simultáneamente al fijismo y catastrofismo, y que alude a un conjunto de movimientos orogénicos y epirogénicos.

- **Movimiento tectónico.** Movimiento de la corteza con fractura y perturbación de estratos.

- **Movimiento epirogénico.** Movimiento lento de ascenso y descenso de la corteza sin fracturamiento pero con plegamiento de estratos.

- **Ofiolitas.** Materiales asociados al fondo oceánico. Grupo de rocas básicas y ultrabásicas en zonas geosinclinales, e incluso sedimentos formados un conjunto de fragmentos de la corteza oceánica.

- **Batial.** Ambiente marino de luz escasa, entre 200 y 800 metros de profundidad.
- **Abisal.** Zona marina de mayor profundidad, abismos marinos.
- **Geosinclinal.** Espacio de sedimentación. El prefijo Geo alude a una gran depresión.
- **Geoanticlinal.** Gran umbral o espacio de erosión.
- **Eugeosinclinal.** Ortoclinal, es decir, depresión lábil que contiene sedimentos sobre todo, de origen marino.
- **Miogeosinclinal.** Geosinclinal al margen de un Eugeosinclinal ubicado entre éste y el continente, por lo que contiene masa de origen continental (Eu: lábil, Geo: grande, Sinclinal: depresión).
- **Foraminíferos.** Animales unicelulares generalmente provistos de concha y seudópodos.
- **Graptolites.** Organismos coloniales marinos que vivieron desde del cámbrico hasta el carbonífero.
- **Celentéreos.** Metazoos con una organización extremadamente simple pero son las células diferenciadas en tejidos.
- **Cefalópodos.** Moluscos de organización más compleja, de cabeza diferenciada con tentáculos entorno a la boca, seno hiponómico, respiración branquial, simetría bilateral, concha de una sola pieza formada por el fragmocono y la cámara de habitación, externa o interna o incluso ausente.
- **Trilobites.** Fósil característico de la era paleozoica y que aparece ya a principios del cámbrico diversificándose en todos los ambientes marinos hasta alcanzar 1500 géneros que sin embargo desaparecieron todos, el cuerpo está dividido en tres lóbulos y los apéndices eran todos del mismo
- **Vertebrados.** Miembros tipo salvo las antenas del tipo cordados, como lo son los urocordados y los cefalocordados. Los cordados tienen un rígido soporte interno, aberturas branquifaríngeas y sistema nervioso tubular dorsal. En los vertebrados hay presencia de columna vertebral situada en posición dorsal que envuelve al cordón nervioso
- **Angiospermas.** Las angiospermas son plantas con flor y están caracterizadas por la producción de semillas completamente encerradas dentro de la parte femenina de la planta.
- **Ostrácodos.** Minúsculos crustáceos de caparazón calcáreo, formada de dos valvas articuladas.
- **Pterofitas.** Las Pterofitas son los verdaderos helechos y las cicadofitas, las gimnospermas más antiguas.

- **Algas.** Grupo de plantas extraordinariamente diversas con una gama de tamaños que va desde células simples de pocas milésimas de milímetros hasta algas marinas gigantes. Su estructura es simple, bastante uniforme y generalmente formada sólo por tejido blando. Las clases de algas son: las cianofíceas (azules), las Flagelofíceas (con flagelos), las diatomeas (silíceas), crisofitas (amarilla), clorofíceas (verdes), feofíceas (pardas) y rodofíceas (rojas).

FORMACION DEL SECTOR NORTE DE LOS ANDES (COLOMBIA)

- **Precámbrico.** Se da la formación del escudo Guyanés. (Este cratón, tras haber sido plegado al principio, ha pasado por un largo período de estabilidad)
- **Paleozoico.** Se da la formación del cinturón ancestral de la cordillera Central (formación Cajamarca) a partir de un primer eugeosinclinal al occidente del escudo, y del sector SE de la Sierra Nevada de Santa Marta a partir de una intrusión granítica (batolito de Santa Marta) en la orogenia del ordovícico.
- **Mesozoico.** A partir de un segundo eugeosinclinal en el exterior del cinturón Paleozoico, se forma, por el costado occidental, la Cordillera Occidental, además el sector NW de la Sierra Nevada, en la orogenia del Jurásico.

- **Cenoico.** Por depósitos del escudo y de la cordillera Central, se forma la cordillera Oriental por flexiones marginales fuertes, fallas inversas locales y fallas de rumbo en sus bordes, sobre un miogeosinclinal en la orogenia del Mioceno, o del Terciario tardío.

- **Terciarios tardío y Cuaternario actual.** Originadas las tres cordilleras (la Central en el Paleozoico temprano, la Occidental a mediados del Mesozoico y la Oriental en el Terciario tardío) se experimentan varios movimientos epirogénicos en el Terciario tardío (Plioceno) y en el Cuaternario actual (Holoceno), e intrusiones magmáticas, dando como resultado su actual relieve.

- **Ciclos ígneos.** Se distinguen varios ciclos ígneos:
 - Los plutónicos o intrusivos: en el Precámbrico tardío, Ordovícico tardío, Paleozoico tardío, del Triásico al Jurásico, también en el Cretácico y otro continuo durante el Mio Oligo Eoceno.
 - Los ígneos volcánicos: de lavas máficas submarinas en las dos series eugeosinclinales del Paleo y del Mesozoico y las silíceas diferenciadas del Triásico al reciente.

- **Dos ambientes.** Dividida la Cordillera Central por una línea, y mejor aún, tomando como referencia la Falla Romeral, al este los Andes colombianos resultan supersiálicos y al oeste parecen formados sobre la corteza oceánica, por lo que probablemente son supersimáticos (basaltos y ofiolitas, en general).

- **Basamento de Panamá.** El basamento del Istmo de Panamá se originó probablemente por un levantamiento de la corteza en el Triásico en asociación con la Orogenia Andina (faunas marinas abisales y batiales homólogas y faunas de norte y sur América en sedimentos del Terciario superior idénticas).

10.6 EL RÍO GRANDE, SU ECOSISTEMA Y LA HIDROVÍA

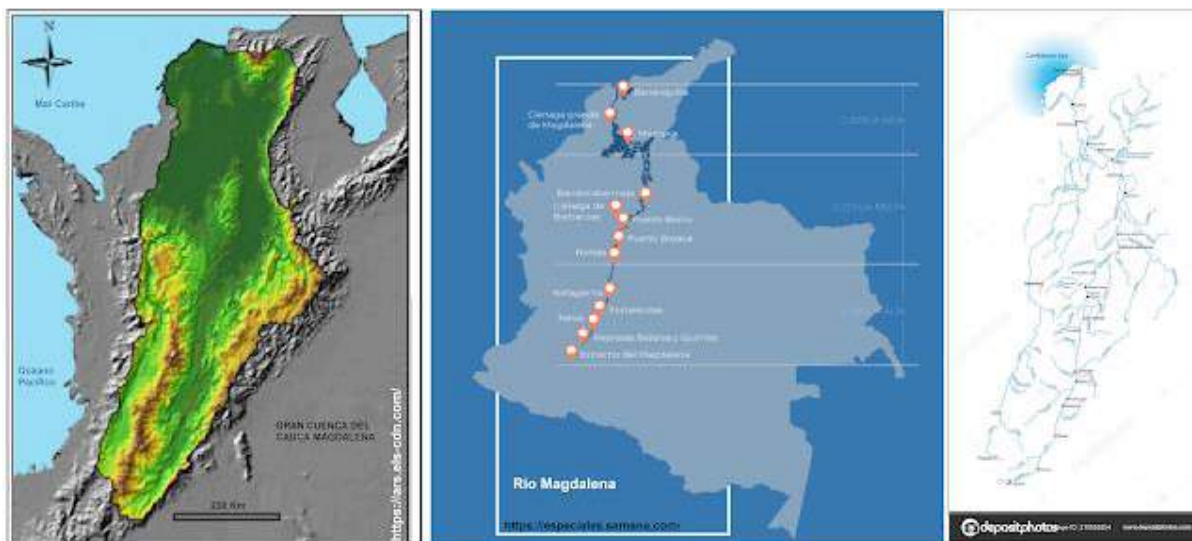


Imagen 54: Gran Cuenca del Magdalena-Cauca (ars-els-cdn.com y st4.depositphotos.com), e hidrovia del Magdalena (especiales.semana.com)

RESUMEN: Se llama la atención sobre la recuperación del Magdalena y el respeto a los derechos bioculturales del río, declarado sujeto de derechos. Igualmente, sobre la amenaza de jarillones y otros factores que al dañar caños secan los humedales. También sobre la importancia de extender la hidrovia a Purnio para que a los 3 millones de ton que mueve el río en Barranca, incluidas 2 de hidrocarburos; se sumen 6 millones que movilizaría el Puerto Multimodal de la Dorada, con lo cual el PIB de Caldas crecería 1,2% del PIB nacional, o se duplicaría si se incluyen ocho plantas minero-energéticas propuestas en el Plan Minero de Caldas 2010-2016 por Gabriel Poveda Ramos. Ver: Eje Cafetero minero-energético.

Bienvenida la declaratoria del Río Magdalena como sujeto de derechos (24-10-2019), en beneficio de sus comunidades de pescadores artesanales y frágiles ecosistemas: deforestación, contaminación agropecuaria o minera con mercurio, y vertimientos urbanos al igual que el daño al río por la ganadería extensiva no paran; similarmente obras de infraestructura y jarillones que arrasando caños y ciénagas fundamentales, alteran el ciclo de crecimiento de los peces y la oxigenación y depuración del río. En su cuenca que alberga el 48% de los cuerpos lénticos del país anfibio (ciénagas, lagunas y embalses), la vida espiritual y material para las comunidades ancestrales del "Río Grande" o Yuma, ha dependido del territorio, y los soportes esenciales para preservar su cultura son: la tierra por ser el espacio de donde manan los bienes que sostienen la vida: agua, semillas, plantas, y el propio río que asimilado a un gran "árbol" tendido, tiene por raíces fuentes abastecedoras y por follaje humedales que alimentan la subienda.

Es hora de poner fin a la contaminación desde los afluentes hasta el propio valle porque deteriora la salud y la vida; de recuperar la economía de aldeas de pescadores en declive, y de salvar especies nativas como el caimán, los manatíes y otras de peces cada vez más escasas, todas ellas afectadas tanto por el impacto de embalses que han alterado el ciclo natural de inundaciones y la conectividad biológica, como por el daño a humedales para dar paso a actividades agroindustriales y a la hidrovia. Con una longitud de 1.600 km entre el Páramo de las Papas en el Macizo Colombiano y Bocas de Ceniza en el Caribe -de los cuales 900 al Norte de Caracolí y 400 al Sur de Arrancaplumas, son navegables-, transita el río para bañar en su recorrido 125 municipios en tres zonas diferenciadas de su cuenca, ubicadas aguas arriba y aguas abajo de Honda y de El Banco.

En la cuenca alta, Betania y El Quimbo con sus mega-embalses, al cambiar la vocación del territorio han dejado al Magdalena en una especie de abandono: poblaciones como Neiva, Purificación, Girardot, Ambalema y Honda como puertos o pueblos de pescadores están en decadencia. Ya en la cuenca media, no sólo el transporte fluvial toma fuerza aguas abajo de La Dorada, sino que poblados enteros aún dependen de la subienda en proceso de deterioro, dada erosión y sedimentación de las subcuencas deforestadas, y los procesos de desecación de complejos de humedales afectados por falta de irrigación y conectividad biológica. Entrando a la cuenca baja donde aparece la Depresión Momposina, esa gran planicie inundable que cumple una función reguladora fundamental, el río se bifurca para recibir por El Brazo de La Loba a su principal afluente, el Cauca con la carga contaminante de 180 municipios; y al transitar desde El Banco, por Plato, Magangué, Mompós y Calamar, hasta Barranquilla, pese a la grave problemática por falta de drenaje y sedimentos, aún se hace evidente la riqueza ictiológica y ecosistémica del valle aluvial.

Pero ahora que se proyecta implementar un canal para la navegación a gran escala, los dragados sistemáticos y operación de barcazas deben respetar los derechos bioculturales del territorio: no se deben comprometer áreas ribereñas, ni calidad del agua, ni la pesca, porque la declaratoria exige además de reforestar cuencas, recuperar áreas bióticas deterioradas para preservar la diversidad ictiológica, de anfibios, batracios y demás especies nativas, recuperando la conectividad longitudinal y lateral afectada por jarillones y obras que secan caños y humedales que son soporte de los ecosistemas y la producción pesquera. En este punto debo hacer un llamado al Gobierno Nacional sobre la concesión que se pretende restringida al rentable tramo Barranca-Barranquilla, olvidando el nodo logístico Honda-Salgar-La Dorada, lo que perjudica el interés nacional al dejar por fuera el segmento sur estratégico de la hidrovia, fundamental para el

sistema intermodal de carga del país, ya que Purnio como punto cero de la navegación es alcanzable con un canal de 40 m a bajo costo, por ser un sitio no inundable que integraría carretera, ferrocarril e hidrovía con beneficio para Cundinamarca, Tolima, el Eje Cafetero y Huila, una región con un potencial de carga de seis millones de toneladas.
[Ref.: La Patria. Manizales 2019-12-01]

10.7 EL CALENTAMIENTO GLOBAL ARRECIA... ¿Y LAS HELADAS QUÉ?

Aunque los pronósticos de la Organización Meteorológica Mundial y organismos como el International Research Institute for Climate and Society IRI y el Climate Prediction Center CPC de la NOAA, basados en las temperaturas de la superficie del mar en las zonas central y oriental del Pacífico tropical y demás indicadores atmosféricos, continúan favoreciendo principalmente condiciones de ENSO-neutral durante el verano del hemisferio norte, Colombia ha experimentado no sólo la intensidad de las sequías, sino también la ocurrencia de fuertes heladas asolando partes del Altiplano Cundiboyacense que por sus 220 mil hectáreas iguala en extensión al fértil valle del río Cauca. Aunque los modelos habían anticipado desde octubre de 2019 escenarios climáticos neutrales durante el presente verano, actualmente se estima que dichas condiciones que se extenderían hasta la primavera del 2020 del hemisferio norte (60% de probabilidad), al declinar sistemáticamente tras el verano siguiente (~50% de probabilidad), podrían cambiar hacia un episodio de El Niño para finales del año en curso. Ver Imagen 1

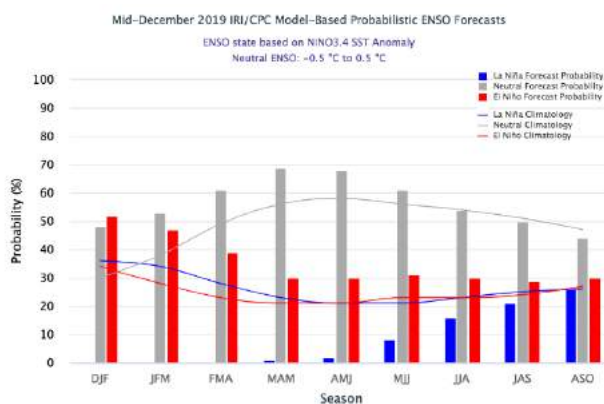


Imagen 55A. Pronóstico ENSO de Diciembre de 2019, mostrando las tendencias inciertas del ENSO para la temporada de septiembre. Fuente: CPC-IRI.

El problema

Después del riesgo de desastres por inundaciones y deslizamientos en temporadas invernales que coinciden con la fase húmeda del ENSO conocida como La Niña, para Colombia está el riesgo asociado a las sequías ocurridas durante El Niño como fenómeno atmosférico exacerbado por el cambio climático, y luego las heladas que se produzcan en tales condiciones en el verano del primer período bimodal del clima tropical andino colombiano, dado que esta amenaza meteorológica severa para las comunidades de nuestros altiplanos andinos que ocupan el 7% de la superficie agropecuaria colombiana, conlleva potenciales pérdidas para la economía de 1 758 000 habitantes expuestos, población equivalente al 3,6% del total nacional, que son los que viven en zonas cordilleranas altamente vulnerables a las heladas, y cuyo riesgo se configura por el modelo de producción rural implementado para algunas actividades altamente susceptibles a daños, como la producción de leche en praderas, y los monocultivos a cielo abierto de cereales, hortalizas, frutas, flores, papa y otros percederos.

Factores de las heladas

Una helada climática se produce, cuando el termómetro marca bajo 0°C en los dos primeros metros sobre el terreno, así existan temperaturas ligeramente superiores en el subsuelo de labranza o en la estructura interna de la biota, trátase de herbáceas o arbustos de pequeño porte; incluso, dichas diferencias suelen ser menos pronunciadas cuando la génesis de la helada está ligada a un frente frío, o ser mayores en una situación de alta presión atmosférica con vientos en calma. También existen heladas de irradiación térmica en una situación sinóptica anticiclónica, la que se agudiza con la altitud sobre el nivel del mar sobre todo en áreas deprimidas topográficamente o en altiplanos, cuando el terreno se enfría durante la noche al establecerse un flujo de calor desde el subsuelo caliente hacia la atmósfera sin presencia de nubes, produciéndose temperaturas atmosféricas mínimas con heladas que se acentúan en la madrugada. Ahora, el grado de exposición territorial a las heladas, supone valorar estos factores, así: la altitud, ya que el gradiente de temperatura cae 6°C por cada 1000 msnm con lo cual el riesgo es Alto sobre los 3000 msnm, Moderado entre 2800 y 3000 msnm, y Bajo entre 2500 y 2800 msnm; la morfología del terreno, donde planicies y hondonadas presentan condiciones de exposición Alta, los terrenos ondulados nivel Moderado, y las formas cóncavas nivel Bajo; La compactidad del suelo, siendo Alto el nivel de susceptibilidad en suelos granulares sin finos, Medio en suelos granulares semicompactos o con pocos finos, y Bajo en suelos compactos y densos; la cobertura vegetal, mientras los pastos limpios y sabanas, al igual que los arvenses y cultivos de bajo porte ofrecen un grado de exposición Alto, y los mosaicos de cultivos arbustivos con pasturas y matorrales ofrecen exposición Moderada, en las coberturas boscosas o arbóreas altas y densas, el grado es Bajo; y finalmente, la cercanía a cuerpos de agua, por la distancia a ríos y lagos donde más de 3 Km se califica con exposición Alta, entre 1 y 3 Km como Moderada, y menor a 1 Km como Baja.

Antecedentes en la región y Colombia

Comunidad Andina – Las heladas				
	Superficie agropecuaria expuesta – Miles de Kilómetros cuadrados			
	Parte I	Área total	Área expuesta	% Área
	Bolivia	269	100	37
	Colombia	533	37	7
	Ecuador	115	25	21
	Perú	256	193	75
Comunid. Andina	1 173	355	30	
Población expuesta a heladas Miles de habitantes				
Parte II	Población total	Población expuesta	% Pobla.	
Bolivia	9 427	2 922	31	
Colombia	45 000	1 758	3,6	
Ecuador	13 215	2 470	19	
Perú	27 254	5 669	21	
Comunid. Andina	94 896	12 819	14	
<p style="text-align: center;">Zonas Susceptibles a las Heladas Fuente: http://www.comunidadandina.org</p>				

Imagen 55B y Tabla: Heladas en países de la Comunidad Andina. Fuente: Cuando hiela. Comunidad Andina, en <http://www.comunidadandina.org/> Pero el fenómeno no es nuevo; según la Comunidad Andina entre 1970 y 2007 se han reportado 639 casos de heladas en la región con diversos niveles de pérdidas en población, cultivos y ganadería, distribuidos así; 553 eventos corresponden a Perú -dada la mayor extensión territorial y población expuesta-, 35 a Bolivia, 40 a Colombia y 11 a Ecuador. (Ver Tabla)

En Colombia, donde la problemática de las heladas afecta áreas localizadas a más de 2500 msnm, especialmente en los meses secos del año, los impactos por el fenómeno -frecuentes en las tierras altas del país, como el Altiplano Cundiboyacense, la sabana de Túquerres-Ipiales y tierras frías de Antioquia y la Cordillera Central-, han ocasionado pérdidas para la agricultura en cultivos de flores, maíz, papa y hortalizas, y para productores de leche. En el periodo 1978 -2007, en el TOP por el número total de heladas en municipios del país, aparecen Sogamoso (200), Tenjo (270), Zapaquirá (240), Sopó (200), Mosquera (100) y Sesquilé (100); y las heladas del 2007 que en febrero alcanzaron mayor intensidad en Cundinamarca y Boyacá, con registros abajo de -8° Celsius y gran extensión, afectaron cerca de 160 mil hectáreas.

¿Qué hacer?

El pronóstico cuantitativo de las heladas, puede hacerse con métodos cuyo nivel de certeza depende de la dispersión en la desviación típica condicional utilizando datos climáticos: entre los métodos están los de Katz, Murphy y Winkler (1982) y el de Allen (1957); este último, mediante una ecuación empírica basada en variables climáticas a escala local, estima la Temperatura mínima en función del punto de rocío y porcentaje de humedad relativa, medidos dos horas antes de la puesta de Sol. Esto permitirá pronosticar la temperatura mínima para las noches de heladas con cielo despejado y viento en calma. Las observaciones para el modelo corresponden al momento en que la radiación neta ha alcanzado el valor más negativo, si se asume que durante la noche la cobertura por nubes o niebla es pequeña o nula, y la radiación neta cambia poco desde el momento en que inicia la helada, hasta la salida del Sol en la mañana siguiente según Snyder & de Melo-Abreu (2010).

Es importante el pronóstico sobre el descenso de la temperatura hasta un valor crítico, para poner en marcha los métodos activos de protección contra las heladas, entre ellos: 1- Los riegos por aspersión cerrando el día para bajar las temperaturas en el predio; 2- Riegos por inundación para mantener el suelo húmedo y reducir considerablemente el riesgo; 3- Calentamiento del aire y la plantación para mantener los tejidos vegetales por encima de la temperatura letal; 4- Ventilación del predio para reducir el efecto de radiación al

homogenizar la temperatura del aire; 5- Aislamiento térmico cubriendo cultivos con materiales de baja emisividad en el IR térmico y baja conductividad térmica.

Pero frente a la discusión acerca de la conveniencia económica, la razón costo-beneficio al aplicar las anteriores medidas, sugiere como complemento la planeación preventiva combinando métodos pasivos, entre los que se destacan: 1- Elección de especies y variedades cuya producción no coincida con el período de heladas; 2- Elección del emplazamiento del cultivo evitando depresiones topográficas y ocupando zonas convexas del terreno por ser dispersoras de aire frío; 3- Eliminar la floración precoz para que no coincida con la época de heladas usando productos químicos o técnicas de enfriamiento como la aspersión de agua; 4- La protección a través de cercas vivas para proporcionar un control de los flujos de aire frío sobre el cultivo; 5- Manejo adecuado en la fertilización y evitar al máximo el laboreo del suelo para disminuir la pérdida de energía; y 6- Técnicas de cultivo como la compactación del terreno para sacar el aire contenido en la masa de suelo que favorece la helada.

10.8. LA HISTORIA DEL CERRO SANCANCIO

A continuación, la historia geológica e importancia de Sancancio, el cerro tutelar de Manizales, donde entran en conflicto la actividad antrópica con el actual uso del suelo y las funciones de sus laderas como áreas de protección, para soportar la propuesta de recuperarlo dada su importancia como bien común, declarándolo Área de Interés Ambiental AIA.



Imagen 56: Panorámica de Cerro Sancancio tomada desde el poniente. SMP Manizales.

Este precioso cerro símbolo de la ciudad y contemporáneo del Ruiz- ubicado al pie del río de Tacurumbí, hoy río Chinchiná-, es el resultado de una extrusión de magma de hace unos dos millones de años; época en la cual el territorio sobre el cual aparece la zona urbana de Manizales era un valle deprimido por el cual discurría el paleo-río Chinchiná, dado que el relieve estaba a nivel de Villamaría y de Morrogacho.

Entre tanto el complejo volcánico que se conformaba, transformaba el relieve cordillerano, donde la construcción de volcanes progresaba de sur a norte, primero con potentes y sucesivos derrames de lava que en espesor acumularon cerca de un kilómetro, para luego entrando el Pleistoceno pasar a un nuevo ciclo de cataclismos con destrucciones importantes, hasta obtener su actual fisonomía: mientras las erupciones y procesos glaciares modificaban el relieve, al derretirse los enormes hielos que en extensión superaban los mil kilómetros cuadrados, los potentes flujos de lodo que descienden de la alta cordillera por ambos costados de la cordillera, forman los grandes abanicos aluviales sobre los cuales se emplazan hoy las capitales cafeteras, Ibagué y otras poblaciones vecinas, como Santa Rosa y Mariquita. Para entonces, nuestro cerro tutelar fue testigo del gradual levantamiento del costado occidental de la Manizales, donde la fuerza tectónica que levanta el paleo-valle del Chinchiná formando el escarpe de La Francia, también es la misma que pudo exprimir el magma del domo volcánico de Sancancio, lo que explica por qué este cerro de 2222 msnm, en altura iguala a Villakempis y a Chipre.

Aún más, mientras el vulcanismo avanzaba y se conforma Cerro Bravo más al norte ubicándose a 22 kilómetros de Sancancio, al presentar este volcán una actividad eruptiva de mayor coeficiente explosivo y diez kilómetros más cercana que la del Ruiz, cubre las empinadas laderas del cerro con sucesivas capas de cenizas volcánicas, materiales de cobertura sobre los cuales se desarrollan los frágiles suelos que explican el carácter aterciopelado a sus escarpada topografía, lugar donde florecerán los bosques andinos que con sus raíces densas y profundas amarraron por siglos el suelo, gracias a un equilibrio que se mantuvo hasta que la acción humana depredadora con la tala lo destruye.

Siendo esta la historia geológica del cerro tutelar de la ciudad, sólida estructura que no logró convertirse en volcán porque no explotó cuando el magma en estado semisólido y caliente se exprimió a la superficie, bajemos el telón de los procesos geodinámicos que dan cuenta de la construcción del relieve de la ciudad a partir del empuje tectónico compresivo que produce el levantamiento de los depósitos aluvio-torrenciales del abanico del Chinchiná, según se advierte en los flujos de lodo que afloran sobre los taludes de la

Panamericana, La Francia y Olivares, para ver ahora de la mano del Historiador Albeiro Valencia Llano, los procesos de transformación antrópica que allí se han dado, aludiendo a los hechos fisiográficos del contexto,

Se trata de los asentamientos humanos que conocemos a partir de las crónicas de la conquista y de los relatos de la colonización: En primer lugar, a la llegada de los colonizadores hacia 1540, es Hernán Rodríguez de Sosa quien a órdenes de Jorge Robledo, entra a los dominios del cacique Tacurumbí pisando y divisando el territorio de la capital caldense, cacicazgo habitado por cerca de medio millar de indígenas Quimbayas según las crónicas de Fray Pedro Simón, y a juzgar por los yacimientos arqueológicos encontrados en Santa Inés y los relatos sobre la guaquería hecha en Sancancio. Y en segundo lugar, cuenta el citado historiador caldense, que en 1837 el señor Fermín López se establece al pie del cerro, hasta que toma la decisión de viajar hacia el sur del río Chinchiná buscando nuevas tierras para colonizar, sucediéndole en el terreno hacia 1843 Joaquín Arango Restrepo, quien le da nombre a Sancancio.

Con la colonización y sobre todo a partir de la fundación de Manizales empiezan las primeras presiones antrópicas que aún continúa sobre el majestuoso cerro, sin importar que el lugar que se mantuvo en forma durante los tres siglos que separan los tiempos del cacique y de la fundación de Manizales, pese a una época de lluvias consecuencia de un período frío del planeta ocurrido entre 1550 y 1850, durante el cual se dio una pequeña glaciación asociada a una baja actividad solar, con lo cual los nevados del complejo Ruiz-Tolima alcanzaron casi 100 kilómetros cuadrados de extensión, superficie siete veces superior a la de 1985 y diez veces mayor a la actual, dado que retroceso de los hielos que ahora se acompaña de fenómenos climáticos extremos, consecuencia de un calentamiento global asociado al efecto de invernadero causado por el uso de combustibles fósiles y la producción de metano, entre otros gases con los cuales hemos desajustado la máquina atmosférica del planeta.

Por lo tanto, para que no se repitan estas tragedias, invitamos a aprender la lección que nos ha dejado nuestro cerro tutelar con los deslaves, donde no por causas divinas, sino por acciones antrópicas como lo son el desequilibrio de la base ecológica como causa real de la tragedia, y el régimen de lluvias modificado como factor contribuyente, para que no se repita lo ocurrido sobre el sector de Aranjuez: lugar donde con la tala del cerro vecino, al perderse las laderas de protección del barrio, las torrenciales lluvias que ha traído el cambio climático, al encontrar la abrupta topografía desprovista de la espesura del bosque andino, no se retuvieron, y entonces al convertirse en escorrentías desbordadas transformadas en torrentes, logran erosionar el suelo desprovisto de raíces para producir los destructores deslaves.

Finalmente, habida cuenta de lo que significan las laderas como estructuras de protección de la ciudad, y por lo tanto lo que representa Sancancio para esta sociedad urgida de una cultura ambiental que se podrá medir en lo que veamos en el cerro tutelar, toda vez que el desastre de Aranjuez es la consecuencia de haber destruido el bosque natural, recuperemos este símbolo natural del paisaje urbano más auténtico de la ciudad, si queremos hacer de esta la ciudad un emblema de los poblados de laderas establecidos en los Andes más septentrionales de América, razón por la cual proponemos su declaratoria como Área de Interés Ambiental para Manizales, para proceder a su adquisición y recuperación con el objeto de convertirlo en un bien público. * Revista Eje 21. Manizales, 23-04-2017.

10.9. ANTROPOCENO... ¿CONCEPTO CULTURAL O GEOLÓGICO?

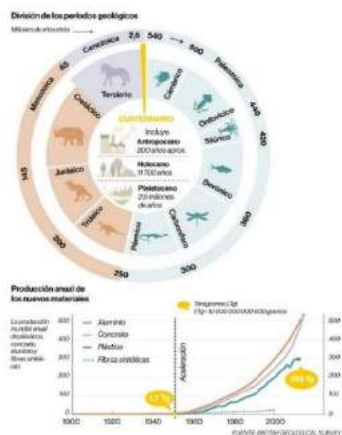


Imagen 57: Periodos geológicos, según The British Geological Survey; y Luces urbanas en La Tierra, por investigadores de NASA GSFC y NOAA NGDC.

En 2000 el Nobel de química Paul J. Crutzen y el Profesor de la Universidad de Michigan Eugene F. Stoermer, propusieron el Antropoceno en la escala del tiempo geológico, como una época asociada a la presencia de los seres humanos en el planeta. No obstante, darle sentido al término supone tener evidencias estrato-cronográficas, como marcadores de un fenómeno de extensión global. Aunque la época propuesta partiría del comienzo de un impacto humano significativo en la geología y los ecosistemas de la Tierra, desde la filosofía y otras disciplinas asociadas a las ciencias del comportamiento -antropología, ciencias políticas y sociología-, el Antropoceno ofrece múltiples miradas dado su carácter dual geológico y cultural.

Así se trate de sustituir el Holoceno que es la época posglaciar que surge hace 11700 años como subperíodo del Cuaternario en la historia terrestre, o de insertar una subdivisión al Holoceno, para empezar veamos, entre otros impactos de la especie humana que servirían de punto de partida, el cambio climático antropogénico, ya como fenómeno que podría estar asociado al surgimiento de la Revolución Agrícola ocurrida entre 12000 a 15000 años atrás; como un fruto de la Revolución Industrial del Siglo XVIII, o como una consecuencia de la Gran Aceleración de 1945.

Uno, el advenimiento de la Revolución Agrícola en el Neolítico, porque tiene como antecedentes la invención de los calendarios y como consecuencia el surgimiento de los poblados. La agricultura y la ganadería empezaron en diferentes lugares del planeta de manera independiente y en distintas fechas; por ejemplo, a diferencia de egipcios y babilonios que cultivaron el trigo, posteriormente incas y mayas -quienes también desarrollaron sus calendarios basados en el Sol y en la Luna-, cultivaron el maíz. La dificultad de esta propuesta, es la falta de uniformidad temporal del proceso, que si bien explotó 8000 años aC en Mesopotamia y Egipto, tardó hasta el 6000-5000 aC en India y China, hasta el 4500 aC en Europa, y hasta el 3000- 2500 aC en África y América.

Dos, en cuanto a la Revolución Industrial relacionada con la era del vapor, por tratarse de la mayor transformación de la humanidad desde el Neolítico, fruto del cambio de una economía rural basada fundamentalmente en la agricultura y el comercio, a otra economía de carácter urbana, industrializada y mecanizada, lo que conduce a un incremento espectacular de la población y del per cápita a partir de 1800 como nunca en la historia. No obstante, algunos investigadores contra argumentan que las implicaciones ambientales, fueron graduales.

Y tres, respecto a la Gran Aceleración, se arguye el impacto del incremento en un tercio de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera por el uso de combustibles fósiles, con lo cual se ha debilitado la capa de ozono sobre la Antártida, aunque las fracciones más pequeñas son el resultado de la urbanización y deforestación. Al respecto, podemos señalar que pese a la presión ejercida por la humanidad en la naturaleza, haciendo que el planeta se caliente, el nivel medio del mar se eleve y los océanos se acidifiquen, los hechos globales aunque notorios, materialmente no constituyen evidencia estratigráfica.

La inexistencia de capas en secuencia como prueba material de que la humanidad ha logrado convertirse en una fuerza geológica de ámbito planetario, invita a mirar otras causas de cambios dramáticos, diferentes a la biodiversidad (extinción del Mamut), la bioquímica de los mares (acidificación) y la físico-química atmosférica (gases de invernadero), para soportar el Antropoceno en evidencias geológicas de origen antrópico: de ahí que se proponga la era atómica por las huellas radiactivas de restos nucleares o los "plastiglomerados" como depósitos de residuos de aluminio, hormigón y plástico, fruto de la actividad humana.

Si algo en común tienen algunos de estos fenómenos, sin capa rocosa como testimonio, es que varias de las consecuencias más sobresalientes se asocian a las emisiones de CO₂, o a eventos de naturaleza funesta, donde sobresale el actual modelo energívoro y consumista que se expresa en una huella hídrica y ecológica que supera la biocapacidad del Planeta, razón por la cual, el fin de este Antropoceno podría marcarlo el cambio de nuestro modelo de desarrollo, si es que no queremos la desaparición de la vida comprometiendo la especie humana, de persistir en una vocación suicida.

* [La Patria. Manizales, 2018.10.22]

Lecturas complementarias

Isaac Newton:

Notas sobre la obra e historia de Isaac Newton, resumen del libro de William Rankin, "Newton para Principiantes", con algunos complementos, sobre este notable físico, inventor y matemático inglés, autor de los Principia, obra que describe la ley de la gravitación universal y establece las bases de la mecánica clásica mediante las leyes que llevan su nombre. Entre sus otros descubrimientos suyos, se destacan los trabajos sobre la naturaleza de la luz y la óptica y el desarrollo del cálculo diferencial. Ver en: <https://youtu.be/vYalaA8-lw8>

Albert Einstein

En 2015/16 se conmemoran cien años de la Teoría de la Relatividad General de Albert Einstein, el científico más conocido y popular del siglo XX. Diez años antes, había introducido la Teoría de la Relatividad Especial, en un estudio sobre el movimiento de cuerpos en ausencia de un campo gravitatorio y electromagnetismo, y en noviembre de 1915 presentaba en la Academia Prusiana de las Ciencias su Teoría de la Relatividad General, en la que Einstein revoluciona la física de Newton y proporciona las bases para una cosmología que explique el Universo – Ver en: <https://youtu.be/b-XnZk7dpUk>

Stephen Hawking.

Obra y vida de este connotado físico, cosmólogo y científico nacido en Oxford y sucesor de la Cátedra Lucasiana en Cambridge, reconocido como el más famoso de los físicos teóricos vivos hoy por su "Breve historia del tiempo", y como una figura legendaria por sus aportes logrados al integrar en una teoría la Relatividad General y la Mecánica Cuántica. Este documento se basa en un resumen del libro "Stephen Hawking para principiantes", de Mc Evoy y Zárate, con algunos complementos de la bibliografía anexa.

Ver en: <https://youtu.be/hXq4lhxyewQ>

El camino a las estrellas.

Cómo evolucionamos por la cultura. Cómo aparecen las civilizaciones. De la astronomía aristotélica a Galileo. Gravitación y Relatividad. Del Homo Habilis al Homo Sapiens. De los griegos al Renacimiento. América precolombina. De Newton a Hawking. Ver en: <https://youtu.be/jlUtSn6431E>

El remoto pasado de nuestro mundo.

¿Sabe Ud de qué tamaño es la edad del Universo y cuándo se formaron el Sol, la Luna y la Tierra? Espero estas ideas den respuestas a interesantes preguntas relacionadas con "el remoto pasado de nuestro mundo".

Ver en: <https://godues.wordpress.com/2007/08/26/el-remoto-pasado-de-nuestro-mundo/>

ENLACES PARA LA ECORREGIÓN

<i>Al Bahareque le Fue Muy Bien. Clima andino y problemática ambiental. Aspectos Urbanos del Eje Cafetero. Bioturismo y ruralidad en la ecorregión cafetera.</i>	<i>Caldas en la biorregión cafetera. Laderas del Trópico Andino: caso Manizales Paisaje y Región en la Tierra del Café. Peajes sí, pero no así y menos ahí.</i>	<i>Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia. Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.</i>
--	---	---

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Armero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos “verdes”*

Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Salto del Laja, Chile. Maria Cecilia Reyes.

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 11

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

11.1. CONCEPTOS BASICOS

11.1.1 Algunos conceptos de la teoría de la deformación. La deformación de un cuerpo es el cambio de su forma o volumen bajo la influencia de fuerzas externas; en la corteza terrestre pueden ser ante todo elásticas y residuales.

- **Elasticidad.** Es una propiedad de los cuerpos sólidos, los que pueden modificar forma y volumen bajo la influencia de efectos físicos, y recobrar completamente su estado geométrico al eliminarlos.

- **Deformación elástica.** Es la que adquiere un cuerpo sólido que al dejar de obrar los efectos físicos recupera su forma original. Durante todas las deformaciones existe un límite de elasticidad que si se supera, surge una deformación residual que no desaparece completa o parcialmente al eliminar las fuerzas que la han causado. Las fuerzas interiores que surgen en el cuerpo y tienden a equilibrar la acción de las fuerzas exteriores se llaman fuerzas de elasticidad.

- **Deformaciones residuales.** Las deformaciones residuales comunes en la corteza terrestre pueden ser plásticas o frágiles. Será plástica cuando esta deformación se revele sin interrupción de la continuidad del material y se forme como el resultado de la acción de fuerzas externas, o será frágil si las deformaciones conducen a la destrucción del cuerpo sin una deformación plástica notable.

En geología además de la deformación plástica, deben considerarse la viscosidad de las rocas y los fenómenos de relajación y fluencia. La relajación se expresa como una caída de tensiones en el cuerpo, manteniéndose constante la deformación plástica, pues se trata de un reacomodo de las partículas del cuerpo desplazándose en el proceso de la deformación plástica hasta encontrar su equilibrio y desapareciendo las tensiones internas. La relajación lleva a una transformación paulatina de una deformación elástica a una residual plástica.

Cargas externas		Tensiones		Tipo de fractura durante la destrucción	
		$\pm \sigma_{m\acute{a}x}$	$\tau_{m\acute{a}x}$	de $+\sigma_{m\acute{a}x}$	de $\tau_{m\acute{a}x}$
Tracción					
Compresión					
Desplazamiento					

Figura 49. Esfuerzos y deformaciones de un cuerpo por cargas externas. Tomado de V. Belousov, Geología Estructural.

La fluencia del material es una deformación plástica que transcurre prolongadamente a tensiones constantes que no superan el límite de plasticidad. La esencia de éste fenómeno es la reagrupación de las partículas del cuerpo bajo la influencia de una carga constante, transformándose de manera ininterrumpida la deformación elástica en plástica. Pero como la carga se mantiene la deformación elástica se repone hasta el estado anterior

11.1.2 Comportamiento de materiales sometidos a esfuerzos Las formas típicas de aplicar esfuerzos a un material, son dos: cargando el material a corto plazo hasta obtener su ruptura, en éste caso se incrementa el nivel de esfuerzos gradualmente hasta obtener la falla; o dejando sometido el material por un tiempo considerable a un esfuerzo que no le cause la ruptura, aquí no se modifica el nivel de esfuerzos en el largo plazo.

Para diferenciar tales movimientos veamos cual es el comportamiento de ese sólido en ambos casos, es decir, sometido a esfuerzos de corto y largo plazo.

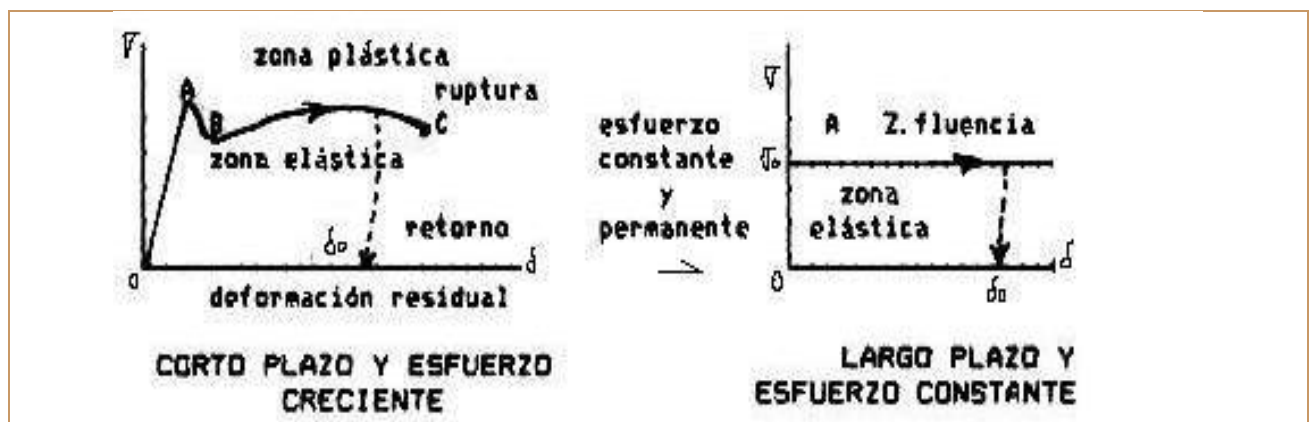


Figura 50. Carga creciente instantánea y carga constante prolongada.

- **A corto plazo y esfuerzo creciente.** La curva de esfuerzo-deformación entre O y A muestra que la deformación es proporcional al esfuerzo; si suspendemos la carga, antes de A, el material recuperará su forma regresando a O; pero si A es el límite elástico, entre A y B, el material mostrará una región de cedencia y después de B una de endurecimiento, ambas dentro de la zona plástica. Si suprimimos el esfuerzo después de B y antes de C, el material recupera parcialmente su forma y se retorna por la línea punteada quedando la muestra con una deformación residual δ_0 . En caso contrario, si seguimos cargando el material, en C se obtendrá su ruptura, después de superarse el límite plástico.

- **A largo plazo y esfuerzo constante.** El comportamiento del material es el siguiente: supongamos un cuerpo que se cargue con un esfuerzo s_0 que se mantendrá constante, manteniendo su valor dentro de la zona elástica. Al cabo de un largo tiempo, las partículas del material se reacomodan internamente, de tal manera que suspendido el esfuerzo en B, queda una deformación residual d_0 . Podríamos decir que el material entró en fluencia.

11.2. COMPORTAMIENTO DE LAS ROCAS

11.2.1 Fuerzas y mecanismos de deformación de las rocas. Puede hablarse de fuerzas dirigidas y no dirigidas; las **dirigidas o de superficie**, son más importantes en ingeniería que en geología; estas pueden ser de tensión, compresión y cizalladura. La torsión es un caso particular de la cizalladura en tres dimensiones.

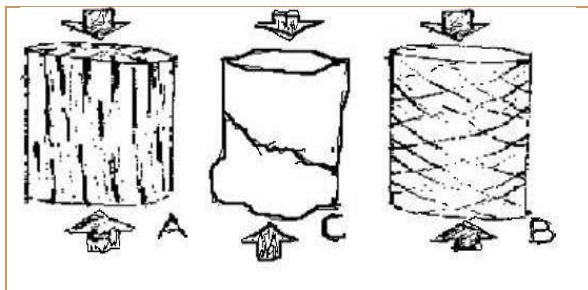


Figura 51. Bloque sometido a compresión: A. comportamiento frágil o rígido, B. comportamiento plástico de la muestra, C. material con características intermedias. Según Alvaro Correa A. Curso de mecánica de rocas. U. Nal.

Las no dirigidas son las **fuerzas de gravedad o de volumen** más importantes en geología que en ingeniería. Puede tratarse de la presión confinante, sea ella litostática o hidrostática y en general de fuerzas asociadas a la gravedad, que actúan sobre cada partícula elemental de la masa.

11.2.2 La deformación de las rocas. Las deformaciones de las rocas pueden denominarse según el origen de los esfuerzos o forma de aplicación de las cargas:

- **Por su origen.** Pueden ser tectónicas o no tectónicas. Las deformaciones tectónicas están asociadas al movimiento de las placas de la corteza terrestre, mientras las no tectónicas están asociadas a los efectos gravitacionales de las masas de tierra y a las cargas que soportan las rocas por esfuerzos dinámicos externos diferentes a los movimientos tectónicos.

- **Por el tiempo de aplicación de las cargas.** Las deformaciones pueden ser permanentes o temporales. Las deformaciones permanentes pueden ser, según el comportamiento del material, viscosa, plástica, viscoelástica y viscoplástica, mientras la deformación temporal, asociada a esfuerzos que no son permanentes, puede ser de tipo elástica o inelástica.

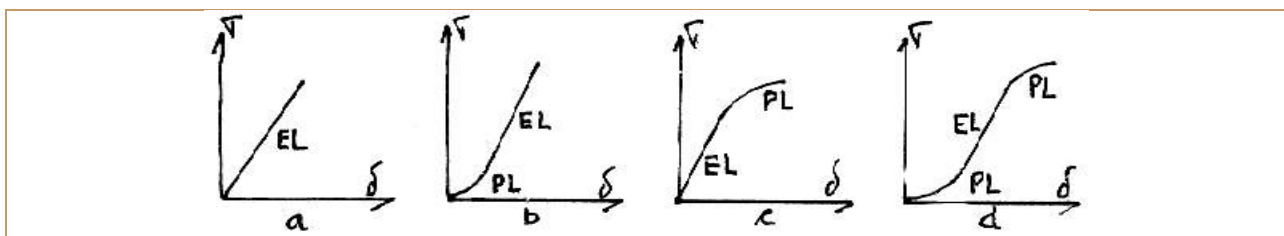


Figura 52. Relaciones esfuerzo (σ) - deformación (δ) de las rocas: A comportamiento elástico; B comportamiento plastoelástico; C comportamiento elastoplástico; D comportamiento plasto-elastoplástico. Según Alvaro Correa A. Curso de mecánica de rocas, U. Nal.

En las relaciones de la fig. 52, de esfuerzo-deformación, la curva A es típica de materiales rocosos masivos y muy duros; la curva B ilustra el comportamiento de una roca dura que sufre alguna densificación inicial cuando se carga el material; la curva C ilustra el comportamiento de una roca dura heterogénea en la cual los componentes más débiles fallan gradualmente cuando el esfuerzo ya es significativo; la curva D, la más común en las rocas, ilustra una roca con densificación inicial y posteriormente con fallamiento de algunos componentes por encima de un nivel crítico de esfuerzos.

11.2.3 Factores de plasticidad y rigidez de las rocas. Son los factores que influyen el comportamiento mecánico de la roca, a saber:

- **La temperatura.** El aumento de temperatura le da plasticidad a la roca mientras que su disminución la hace rígida. La temperatura aumenta con la profundidad.

- **La presión confinante.** Con la profundidad aumenta la presión confinante y las rocas, que en la superficie son rígidas, en la profundidad pueden comportarse plásticamente. Así aumenta el esfuerzo de ruptura y se facilita la deformación dúctil.

- **Contenido en fluido de la roca.** La arcilla seca es rígida pero mojada es plástica. Por analogía la humedad disminuye la rigidez de las rocas y aumenta su plasticidad. La presencia de fluidos como el incremento de la temperatura, aumenta el campo de deformación reduciendo la respuesta elástica y desplazando el límite de rotura a esfuerzos cada vez mayores.

- **El tiempo de actuación de la fuerza.** Se asocia a éste factor la velocidad de deformación de las rocas; si la velocidad de deformación es alta y por lo tanto el tiempo breve, el material responde con rigidez, en el caso contrario responderá plásticamente. Debe tenerse en cuenta que la unidad de tiempo geológico es el millón de años.

- **Composición y estructura de la roca.** Este factor alude a la isotropía o anisotropía del material. Por la isotropía la roca puede ser competente y tener la capacidad de absorber esfuerzos sin deformarse, por consiguiente es rígida; por la anisotropía es lo contrario pues se deforma expresando su plasticidad.

11.2.4 Mecanismos de deformación de las rocas

- **Movimientos intergranulares.** Los desplazamientos entre granos minerales son función del tamaño de los granos, de su forma cristalina, y de su grado de consolidación y cementación.

- **Movimientos intragranulares.** Se asocian a la deformación interna de la red cristalina, con las que se provocan microfisuras a favor de las cuales se produce el desplazamiento de las caras contiguas de los minerales.

- **Disolución y recristalización.** Fenómeno debido a la presión y temperatura elevadas a las cuales se someten los minerales componentes; el mecanismo es equivalente al proceso de fusión-solidificación del agua en hielo, por variaciones de la temperatura arriba y abajo del punto de congelación.

- **Deformación elástica.** Es la que se da en la profundidad al paso de ondas sísmicas y de marea, en la cual el suelo recupera la forma después del efecto.

- **Deformación plástica.** Son los pliegues producidos en las rocas que han sido sometidas a esfuerzos más allá de la zona elástica y antes del límite plástico.

- **Ruptura.** Generación de fallas y diaclasas, cuando los esfuerzos en el material superan el límite plástico.

11.3. DEFORMACIONES DE LA CORTEZA TERRESTRE

La erosión desgasta los continentes pero estos se recuperan más por deformaciones de la corteza que por vulcanismo.

Los movimientos de la corteza pueden ser abruptos o lentos.

- **Movimientos abruptos.** Son los que se acompañan de terremotos y de desplazamientos en la corteza de hasta 6 metros; crean hundimientos, levantamientos o desplazamientos transversales de bloques, o como mínimo, el arqueamiento de la corteza en un área de influencia de varios km. a la redonda.

- **Movimientos lentos.** Son los que de modo continuo se suceden en un período largo de años y con pequeñas velocidades, de tal manera que en el largo plazo se pueda advertir la deriva de un bloque o una zona, o la aparición de un arqueamiento de la corteza. A veces los movimientos se notan en construcciones emplazadas sobre fallas pero, por regla general, suponen levantamientos geodésicos. Por ejemplo, el Chocó deriva hacia el Pacífico a razón de 5 cm por año.

11.3.1 Evidencias geológicas. Las litófagas (animales que comen roca) son animales marinos que perforan agujeros de 5 cm de profundidad en las rocas del litoral, útiles para que la marea les provea allí sus alimentos. Hileras de estos agujeros se encuentran elevadas 15 metros sobre el nivel de costa a causa de terremotos ocurridos en los últimos 2000 años. Teóricamente, al extrapolar las magnitudes, en sólo 2 millones de años esa región se habría levantado 15 km., aunque es evidente que una altura mayor que el Everest no es posible en el planeta por los efectos de la gravedad.

La falla de San Andrés (USA.) tiene un desplazamiento de rumbo (transcurrente) de 550 Km., ocurrido en los últimos 70 millones de años; la falla de Palestina con 300 km. de longitud muestra un desplazamiento de rumbo derecho de 27.7 km., ocurrido durante el Terciario. El abanico de Ibagué muestra transposición de los mantos de aluvión por actividad cuaternaria de la falla de Ibagué; el basamento de Manizales, formación Quebradagrande, muestra los planos de estratificación de sus metasedimentos bastante plegados y aún cuasivericales.

11.4. PLIEGUES

Son arrugas producidas en las rocas mientras se encuentran en su estado plástico; sus dimensiones van de centímetros a cientos de km.. Los pliegues se producen preferentemente en los bordes compresivos de las placas, es decir, en las zonas de subducción, y en general a importante profundidad. Muchas rocas que en la superficie terrestre se comportan frágilmente, pasan en la profundidad al comportamiento dúctil, plegándose frente a esfuerzos de compresión y cizalla, ya que la mayor presión y temperatura que existen en el subsuelo, favorecen la deformación plástica de las rocas. Para un tipo de roca dado el estudio de la geometría de los pliegues puede informarnos de modo aproximado sobre el mecanismo de formación y la profundidad a que se ha originado.

Estas rocas más antiguas se han alterado también sufriendo metamorfismo, razón por la cual los minerales planares como las micas crecen paralelos unos a otros y la roca tiende a dividirse fácilmente en láminas delgadas (esquistosidad). Al aumentar la distancia a la fuente de presión que produce el plegamiento los pliegues van muriendo tanto en la vertical como en la horizontal.

11.4.1 Partes de un pliegue

Las partes de los pliegues son: el plano axial (PA) que es el plano de simetría, el eje del pliegue (ac), la charnela (abc) que es la intersección entre el plano axial (PA) y el pliegue; los flancos (F) que en el dibujo tienen buzamiento (β) variable; y la cresta del pliegue (MN).

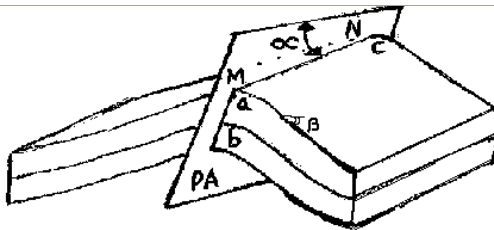


Figura 53. Partes de un pliegue. El plano axial AP parte este anticlinal por su eje MN. El buzamiento del plano axial AP, se denomina vergencia del pliegue

Se puede hablar del buzamiento a del eje (α), del buzamiento de los flancos (β), o el más importante, el buzamiento del plano axial (PA) parámetro que también se denomina **vergencia** del pliegue. Pero el rumbo de este rasgo estructural siempre se mide en el eje (α) y por consiguiente en el plano axial. Lo opuesto a la cresta de un pliegue es la depresión (para un sinclinal). La cresta no necesariamente coincide con el eje del pliegue porque este es la traza del plano axial cortándolo.

Distinguimos dos regiones en la sección transversal del pliegue de la fig. 53, que es de forma convexa: la más próxima a la superficie (a) que está en la zona de tensión y la más profunda (b) que está en la zona de compresión entre a y b hay una región intermedia simplemente arqueada pero no sometida a compresión, ni tampoco a tensión. Si el pliegue estuviese arqueado en forma cóncava, para un observador en la superficie, la zona de compresión estaría por encima de la zona de tensión.

11.4.2 Tipos de pliegues. Existen tres clases principales de pliegues: los pliegues verdaderos o de flexión, los pliegues de flujo y los pliegues de cizalladura o deslizamiento. También se puede hablar de pliegues simples y complejos. Además, las denominaciones de los pliegues pueden responder a su forma o a diferentes parámetros.

Los pliegues de **flexión** se forman por compresión de rocas competentes (duras); pueden pasar a ser pliegues de **flujo**, en zonas donde hay rocas incompetentes (blandas), estas rocas se comportan como una pasta espesa, no son muy capaces de transmitir la presión y suelen formar muchos pliegues menores. Los pliegues de **cizalladura** o deslizamiento se pueden producir en rocas frágiles por la formación de pequeñas fracturas laminares, en la que las delgadas láminas de roca son capaces de desplazarse entre sí; excepto cuando están cortados por una falla todos los pliegues terminan formando una curvatura amplia. Los pliegues **simples** suelen darse en rocas jóvenes como las del terciario y cuaternario. Los pliegues **complejos** se encuentran en rocas más viejas expuestas a movimientos terrestres durante más tiempo y que a menudo han quedado profundamente enterradas. Las rocas muy antiguas, como las precámbricas, han sido replegadas muchas veces y han desarrollado estructuras como los "boudins" (fragmentos cilíndricos de sección elíptica) y los "mullions" (aspecto de salchicha).

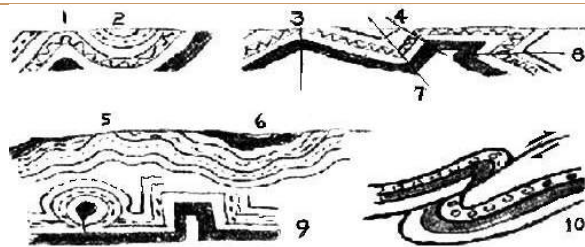


Figura 54. Tipos de pliegues. 1. Anticlinal; 2. Sinclinal; 3. Isoclinal derecho o simétrico; 4. Monoclinal o en rodilla; 5. Anticlinorio; 6. Sinclinorio; 7. Recostado inclinado o asimétrico; 8. Acostado tumbado o recurrente; 9. Abanico o encofrado; 10. Afallado o en cabalgadura.

Se denomina braquianticlinal un domo que tenga un ancho igual al largo, y braquisinclinal a una cubeta con un ancho igual al largo. Domos y cubetas se forman por compresiones complejas de la corteza. Los domos aislados pueden ser debidos al ascenso subterráneo de magma o de sal gema (diapiros salinos). Otras denominaciones de los pliegues aluden a la disposición del plano axial, a la geometría del pliegue o a los aspectos estructurales del mismo, como se ilustra en la fig. 54.

11.4.3. El Sinclinal de Tunja y los Anticlinales de Arcabuco y Toca. Estas estructuras de primer orden, con longitudes de unos 100 km. y vergencias hacia el Este, son típicas de la Cordillera Oriental Colombiana, y presentan trenes de pliegues con continuidades del orden de las decenas de km. y vergencias contrarias a las pendientes estructurales de las estructuras de primer orden, por lo que se evidencia una cierta independencia respecto a ellas. Al parecer, las segundas se asocian a deformaciones por fenómenos gravitacionales. Veamos estos ejemplos de pliegues colindantes ubicados en el extremo septentrional del Altiplano Cundiboyacense, que Andreas Kammer de un lado y P. Patarrollo y M. Moreno del otro, han estudiado en su orden y por separado, en Boyacá Colombia.

- **El sinclinal de Tunja**, está ubicado en medio de los anticlinales de Arcabuco y Toca, puesto que ambos altos, separados unos 38 km., son las estructuras colindantes. Este sinclinal define una depresión longitudinal de primer orden, cuya amplitud visiblemente va disminuyendo hacia el NS. Las vergencias en los dos flancos, opuestas y apuntando hacia la margen de la depresión, fingen una cierta simetría de los pliegues de segundo orden, pues la vergencia se hace a través del propio eje sinclinal. En el flanco E del anticlinal de Tunja, los cabeceos son variados y la tendencia se mantiene en la dirección NE.

- El anticlinal de Toca, muestra una asimetría más marcada que el de Arcabuco, por su flanco W menos inclinado casi hasta alcanzar la categoría de monoclinal, mientras el del E está afectado por la falla de Soagapa, de visible desplazamiento en el orden de los primeros km. En el Alto de Toca el eje anticlinal no muestra cabeceo.

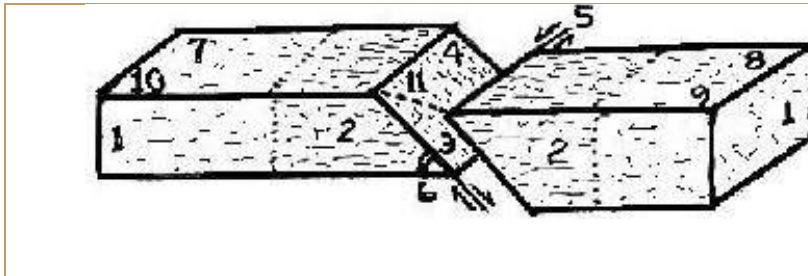


Figura 55. Partes de una falla. 1. Bloques; 2. Labios de falla; 3. Plano de falla; 4. Espejo de la falla; 5. Línea de falla; 6. Ángulo de buzamiento (a); 7. Bloque levantado; 8.

- El

anticlinal de Arcabuco, presenta su flanco W más inclinado sin que la asimetría se pueda asociar a alguna falla mayor, mientras en su flanco E la Falla de Boyacá refuerza la asimetría estructural y anuncia con su expresión una falla inversa. Las estructuras de segundo orden muestran bisagras menos regulares que la de Arcabuco, de curso casi rectilíneo. El cabeceo del eje anticlinal varía de 5° en los extremos N y S a 15° en el Cerro San Marcos. El buzamiento del flanco W es de 22° y 45° NW y para el del E de 44° y 52° SE.

11.5. FRACTURAS

Pueden ser fallas o diaclasas: ambas suponen un origen común que las explica, es decir, liberación de energía de presión por encima del límite plástico de las rocas. En las fallas hay desplazamiento importante de una masa con respecto a la otra, en las diaclasas no.

11.5.1 Partes de una falla. Las partes de una falla pueden describir estas estructuras desde el punto de vista cualitativo o cuantitativo. Es importante señalar las características y atributos que puedan tener estos elementos de las fallas.

El plano de falla es el que rompe la continuidad de los estratos y separa dos bloques. El que está sobre el plano de falla tiene la posibilidad de estar hundido o levantado, según el tipo de falla, pero siempre será el techo. Por debajo del plano de falla estará el piso. En algunos casos el plano de falla será vertical y no se hablará de techo ni piso. Si hay desplazamientos verticales de los bloques, habrá uno levantado y otro hundido.

El espejo de falla es la parte del plano de falla que queda expuesta a la intemperie, donde las estrías anuncian el sentido y la dirección del desplazamiento de los bloques.

11.5.2 Fallas fundamentales. Hay tres tipos de fallas fundamentales, clasificadas desde el punto de vista de los esfuerzos que la generan: normal, inversa y de rumbo.

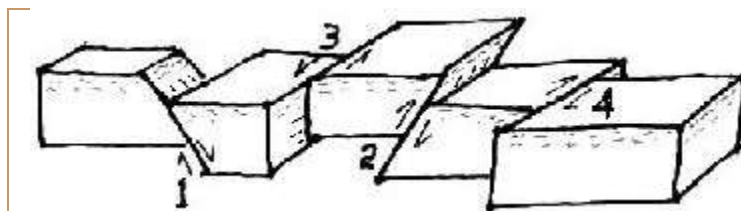


Figura 56. Tipos de fallas. 1. Falla normal o de tensión aparente; 2. Falla inversa o de compresión aparente; 3. Falla de rumbo izquierdo; 4. Falla de rumbo derecho.

- **Falla normal.** Si la disposición de los bloques parece explicada por esfuerzos de tensión o tracción, aquí el espejo de falla queda expuesto a la acción del Sol y relativamente los bloques se separan o alejan. El bloque levantado es el piso.

- **La falla inversa.** Cuando la disposición de los bloques parece responder a esfuerzos de compresión. Por el empuje los dos bloques parecen aproximarse entre sí; en ella el espejo de falla, que también se puede observar en el bloque levantado, que es el techo, queda a la sombra.

Los labios de falla, que son la porción de los bloques afectada por la propagación de las fracturas, tienen una extensión a lado y lado del plano de falla, que depende del tipo de roca y de la magnitud de los esfuerzos. Los dos bloques sufren más en las fallas inversas porque las rocas resisten más a la compresión, y al acumular más energía de deformación, estos se destrozan en mayor proporción.

- **La falla de rumbo.** Es de cizalladura o transcurrente; el desplazamiento puede ser derecho o izquierdo dependiendo de lo que suceda con el bloque del frente, cuando un observador mira desde el otro bloque. Si aquel se desplaza a la derecha, la falla será de rumbo dextrógiro y si lo hace hacia la izquierda, la falla será de rumbo levógiro o sinéxtrógiro.

Pero en la corteza, donde la mayoría de los esfuerzos son de compresión, las fallas normales, inversas o de rumbo tienen el mismo origen, pues el estado de esfuerzos que las producen es el mismo y tan solo es la orientación la que cambia.

Considérense los esfuerzos principales en compresión, en un espacio tridimensional con **sigma 1** vertical, y **sigma 2** y **sigma 3** horizontales.

- ✳ Si el máximo esfuerzo principal es vertical se tiene una falla **normal**.
- ✳ Si el máximo esfuerzo principal es horizontal y el mínimo vertical, **falla inversa**.
- ✳ Y la **de rumbo** para máximo y mínimo esfuerzos de compresión horizontales.

Los esfuerzos principales son los que se aplican sobre los planos ortogonales de un sistema, planos en los cuales el cortante es nulo. Esos planos también Principales, son los resultantes de rotar el sólido hasta obtener los esfuerzos normales máximos sobre el sistema. Aquí se admite que en el esfuerzo de la dirección vertical y por lo tanto en el plano horizontal, existe esa condición

11.5.3 Otras denominaciones para las fallas simples. Las fallas simples suelen denominarse aludiendo no sólo a la naturaleza de los esfuerzos que les da origen, sino también a la disposición del plano de ruptura con relación a los estratos (en rocas sedimentarias) o a su inclinación con respecto al horizonte, entre otras características.

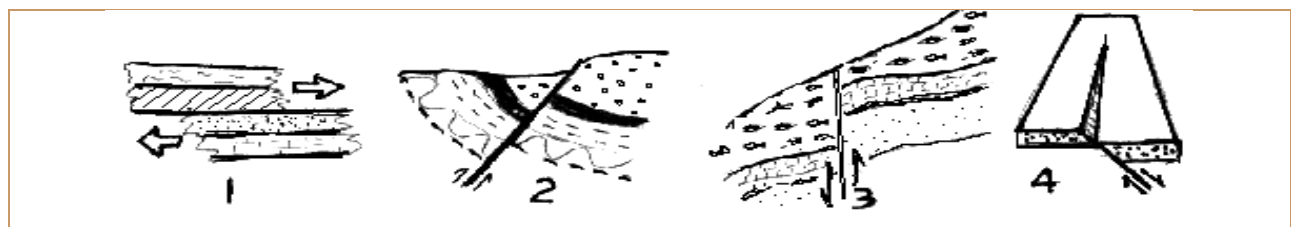


Figura 57. Otros tipos de fallas. 1. Falla conforme si el plano es paralelo a los estratos; 2. Falla contraria si el plano es perpendicular a los estratos; 3. Falla vertical si el plano de falla es vertical; 4. Falla en tijera, charnela o de torsión.

11.5.4 Sistemas compuestos de fallas Se encuentran las fallas escalonadas, los horts o pilares y los graben o fosas. Dependiendo de la dirección de los esfuerzos regionales, todo el sistema será un sistema de fallas maestras con tendencia inversa o normal, según sea la correlación entre los esfuerzos principales. Ver fig. 58.

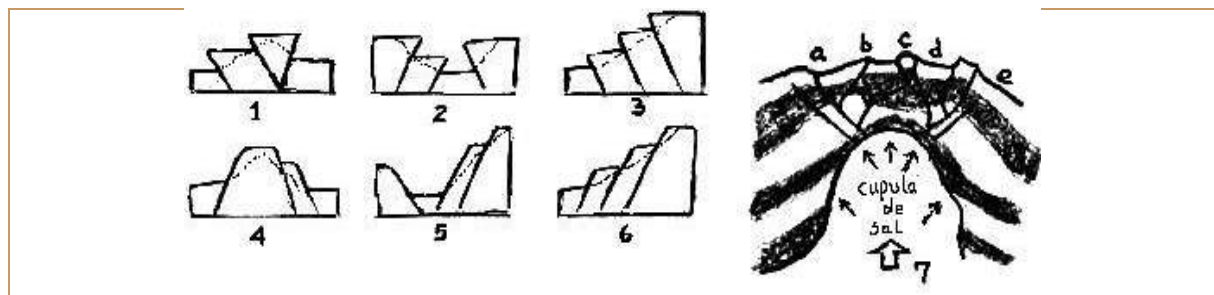


Figura 58. Sistemas compuestos de fallas. 1. Pilar inverso; 2. Fosa inversa; 3. Escalonamiento inverso; 4. Pilar normal; 5. Fosa normal; 6. Escalonamiento normal; 7. Diapiro generando a) falla normal, b) falla inversa, c) horst, d) graben, e) bloque inclinado. Adaptado de La Tierra, Círculo de Lectores.

Un **diapiro** es una masa rocosa muy plástica, por ejemplo, un domo salino, que por razón de empujes internos revienta los pliegues al ser comprimida y se extiende por encima de rocas estratigráficamente superiores.

11.6. DISCORDANCIAS ESTRATIGRAFICAS

Son contactos de dos estratos que no son inmediatamente sucesivos en el tiempo porque falta uno o más estratos de la serie, lo que se reconoce como una laguna estratigráfica. Las discordancias se producen generalmente porque una cuenca sedimentaria sufre una elevación que interrumpe la sedimentación, mecanismo que es seguido por un proceso erosivo que elimina algunos estratos. Si posteriormente vuelve a transformarse en una cuenca sedimentaria proseguirá el mecanismo que es seguido de la superposición de estratos.

11.6.1 Clases de discordancias. Si los estratos son paralelos la discordancia se llama erosiva, pero puede ocurrir que las capas superiores e inferiores, es decir, las jóvenes y las viejas, muestren ángulos de buzamiento diferente, y en este caso la discordancia se denomina angular. También puede ocurrir que la superficie de erosión sepultada que servirá de contacto entre eventos de diferentes épocas, sea paralela a los estratos superiores o secante a los mismos.

11.6.2 Mantos de corrimiento. Se asocian a procesos orogénicos cuando las presiones laterales que provocan los pliegues son muy fuertes, pues estos se pliegan y se desplazan sobre la base. En este proceso interviene la fuerza de la gravedad responsable junto al mecanismo tectónico, de la inclinación y desplazamiento de los materiales. El desplazamiento puede ser muy importante y mover los estratos deformados varios cientos de km. al lado del lugar en que se formaron. Si sobre estos terrenos actúa después la erosión los materiales más antiguos aparecerán situados encima de otros modernos, a causa del volcamiento.

11.6.3 Correlación. En un corte donde se da la aparición de una discordancia estratigráfica, además de las series sedimentarias separadas por la laguna estratigráfica, puede haber plegamientos, afallamientos, intrusiones y otros eventos, haciéndose más difícil la correlación temporal de los sucesos representados por unidades litológicas y rasgos estructurales.

Para dar solución a la secuencia de los eventos en un contacto aplicamos las leyes de la superposición, del desplazamiento y del emplazamiento, a saber:

- **Superposición.** En la estratificación, la capa más reciente suele ser la de encima, de no existir volcamiento.

- **Desplazamiento.** Una falla desplazada antecede a la falla desplazante.

- **Emplazamiento.** De dos intrusiones que se intersecan, el cuerpo intruído es el más antiguo.

11.6.4 Aplicaciones. A continuación se muestran algunos ejemplos de correlación. Algunos presentan discordancias.

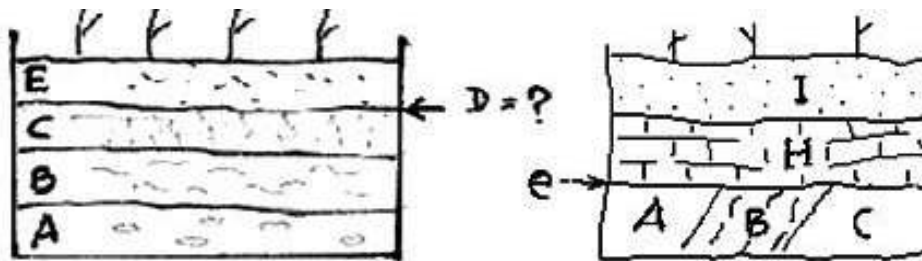


Figura 59. Discordancia: A eoceno, B oligoceno, C mioceno, falta el plioceno, D pleistoceno.

Figura 60. Discordancia entre cinco unidades litológicas. Faltan los eventos desde el D hasta el G incluidos.

En el depósito terciario que se muestra en el perfil de la fig. 59, entre C y E hace falta la capa D, lo que se explica por erosión o por la no ocurrencia del ciclo de deposición. Lo primero es A y lo más reciente E. La laguna estratigráfica es el oligoceno que no tiene representación en los fósiles.

En la discordancia angular de la fig. 60 el basamento tiene dos posibilidades: que lo más antiguo sea A o que sea C, dependiendo del grado de volcamiento. Luego continúa un proceso erosivo (e) que nivela la superficie de sedimentación para los depósitos H e I. La laguna estratigráfica estará representada por los estratos comprendidos entre los tres primeros y los dos últimos, no presentes en la columna.

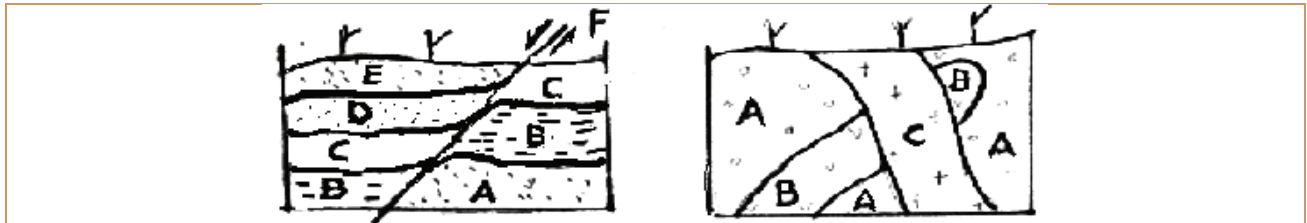


Figura 61. Correlación entre formaciones sedimentarias (izquierda) e ígneas (derecha).

En la fig. 61 de la izquierda Hay cinco estratos afectados por una falla. Por debajo de la falla están los más antiguos (A, B, C) y por encima los más recientes (D y E). El último evento es la falla que en éste caso es normal, según se desprende de la posición del estrato B.

En la fig. 61 de la derecha. En el corte se observan dos plutones laminares B y C intruyéndose y emplazados en un tercer plutón masivo A. El plutón masivo A es el más antiguo por estar intruido por B y C; luego sigue B más antiguo que C, pues C intruye el conjunto.

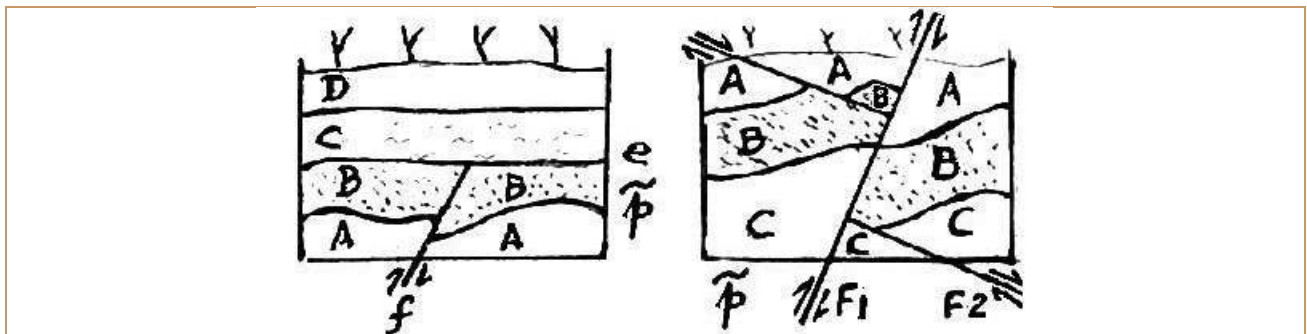


Figura 62. Correlación con eventos tectónicos: con una falla (izquierda) y con dos fallas (derecha)

En la fig. 62 de la izquierda se muestra un perfil; entre A y B la antigüedad depende de si hubo o no, volcamiento en los estratos. Después tiene que darse un plegamiento (p) previo a la fractura (f), que es una falla. Luego el proceso erosivo (e) puesto que las capas A y B aparecen por encima niveladas, pues la base del depósito C no muestra el escalón de la falla. El último evento es la formación de la capa C, la que no muestra expresión topográfica de la falla.

En la fig. 62 de la derecha, el corte muestra dos fracturas afectando tres depósitos. Inicialmente hay dos posibilidades en la secuencia, ABC o CBA y luego el plegamiento (p); sigue la falla F2 que está desplazada y por último la falla F1 que desplazó a la anterior.

11.7. ELEMENTOS DE LA GEOLOGIA ESTRUCTURAL COLOMBIANA

11.7.1 Fallas notables del país (de conformidad con el Boletín Geológico del Ingeominas Vol. XIX, No. 2 de 1971, por Earl M. Irving.)

- **Falla Salinas.** Longitud 160 Km. Ubicada al costado oriental del Magdalena Medio, es falla inversa con desplazamiento de tres km. lo que explica el levantamiento del altiplano Cundiboyacense. Al sur, en el Huila, se encuentra la falla del Magdalena, al occidente la de Mulato (Mariquita), y al norte se inicia la falla Santa Marta-Bucaramanga que es de rumbo.

- **Fallas Santa María, Yopal y Guaicaramo.** Tres fallas en el margen oriental de la cordillera Oriental, todas de cabalgamiento y paralelas, entre sí. En el costado nordeste de estas, está la falla Bocono (Venezuela) con una dirección N 45° E y de rumbo derecho. Las fallas de

cabalgamiento más notables del país son éstas situadas a lo largo de la Cordillera Oriental, cuyo buzamiento se da hacia ella con fuerte ángulo.

- **Sistema de Fallas de Algeciras.** Partiendo del Golfo de Guayaquil (Ec) hacia el sector meridional del sistema Guaicaramo, este sistema de fallas de rumbo deslizante y desplazamiento vertical, con actividad geotectónica, muestra dirección NE-SW y comprende las fallas Algeciras, Pitalito, Yunquillo, San Francisco y Afiladores.

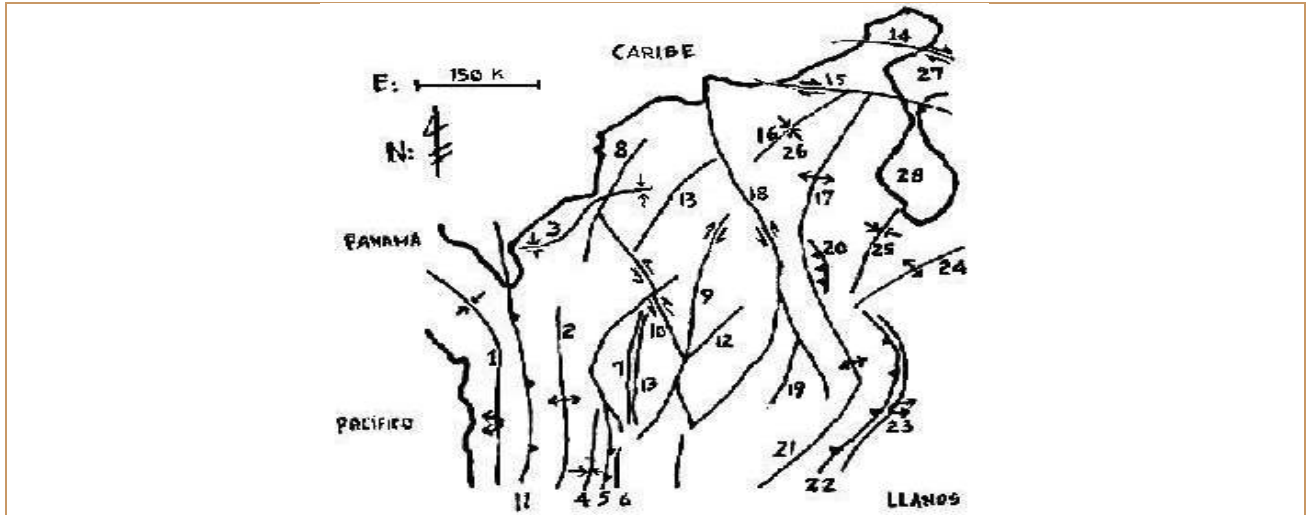


Figura 63. Mapa estructural de Colombia. 1. Cuenca del Chocó, 2. Anticlinorio de la Cordillera Occidental, 3. Cuenca costera Caribe, 4. Cuenca del Cauca, 5. Falla de romeral, 6. Zona fallada volcánica, 7. Cinturón cristalino de la Cordillera Central, 8. Falla Bolívar, 9. Falla Palestina, 10. Falla Otú, 11. Falla Atrato, 12. Falla Cimitarra, 13. Límite occidental aproximado del basamento precámbrico, 14. Falla de Cuisa, 15. Falla de Oca, 16. Cuenca del valle del Cesar, 17. Serranía del Perijá, 18. Falla de Santa Marta-Bucaramanga, 19. Falla de Suárez, 20. Falla Mercedes, 21. Anticlinorio de la Cordillera Oriental, 22. Zona fallada de Guaicaramo, 23. Cuenca de los Llanos, 24. Anticlinorio de Mérida, 25. Entrante SW de la cuenca de Maracaibo, 26. Sierra Nevada, 26. Perijá, 27. Golfo de Venezuela, 28. Lago de Maracaibo. Según Irving, E, Evolución de los Andes más Septentrionales de Colombia.

- **Falla Cauca y sector central de la de Romeral.** De Cartago a Puerto Valdivia, el Cauca es un graben comprimido entre las dos cordilleras; por lo tanto las dos fallas son inversas, buzando hacia ambas cordilleras, la Occidental y la Oriental respectivamente.

- **Falla de Santa Marta-Bucaramanga.** Longitud 600 Km., al Norte el aluvión que la cubre expresa topográficamente su actividad cuaternaria. Según perforaciones ésta falla de dirección sudeste es una falla de rumbo izquierdo con un desplazamiento de 110 Km., lo que explica la curvatura de la Cordillera Oriental.

- **Falla Bonocó.** Corta los Andes de Mérida en dirección NE, tiene una importante actividad con desplazamiento dextralateral del orden de 1 centímetro por año. El extremo SW se une con las escamas de cabalgamiento de la región de Pamplona, donde confluyen los Andes de Mérida y el Macizo de Santander.

- **Falla Oca.** Falla de rumbo con desplazamiento dextralateral de 60 Km. según perforaciones. Su dirección es EW. Limita el norte de la Sierra Nevada y penetra a Venezuela pasando por la boca del Golfo de Maracaibo.

- **Falla Cuisa.** Es paralela y armoniza con la anterior. Localizada 80 Km. al norte de la falla Oca; esta falla de rumbo muestra un desplazamiento derecho de 25 Km.

- **Falla Otú.** La más antigua de la Cordillera Central, con dirección N 15° W, expuesta al sur en 125 Km., se sumerge luego en los estratos terciarios de la costa con dirección a Montería; muestra un movimiento sinistrolateral de 65 Km. medidos donde ella emerge. Otú armoniza con la falla Santa Marta-Bucaramanga por ser de rumbo izquierdo y por su paralelismo con ella.

- **Falla Cimitarra.** Nace en la confrontación Otú-Palestina y se extiende hasta Barrancabermeja, siendo visible por su fuerte expresión topográfica en un trayecto de 120 Km. Su juventud se infiere por la intensa alteración de las formaciones miocenas del Valle Medio del Magdalena. Si las fallas antiguas, Otú y Santa Marta-Bucaramanga son de movimiento sinixtrolaterales, las fallas transcurrentes más jóvenes del terciario medio, como la falla Cimitarra al ser dextralaterales anuncian cambios de esfuerzos tectónicos que armonizan con el tectonismo terciario de la cuenca del Caribe.

- **Falla de Palestina.** Tiene una longitud de 300 Km., una dirección N 15° E y un desplazamiento dextralateral de 27.7 Km. medidos donde ésta falla de rumbo desplaza a la de Otú. Palestina es muy joven por su fuerte expresión topográfica. El extremo sur presenta vulcanismo fisural, desde el Ruiz hasta el Quindío.

- **Falla Romeral.** Se extiende de la costa norte colombiana en dirección al Ecuador pasando por Medellín, Armenia y Popayán. Al Norte el aspecto es de rumbo; en el centro de falla de compresión o inversa, al Sur de cabalgamiento. Por la distribución alineada de cuerpos ígneos ultramáficos, en su contorno, se prevé que profundice la corteza.

- **Falla Atrato.** Pasa 15 Km. al oriente de Quibdó, con dirección N-S, es decir, paralela a la Romeral. Estuvo bajo compresión pero ahora muestra desplazamiento de rumbo izquierdo. Atrato sale por el golfo de Urabá y entre ella y Romeral norte encontramos la falla Sabanalarga que en su extremo norte, Montería, da origen a la falla Bolívar.

11.7.2 Anticlinorios y sinclinorios de Colombia.

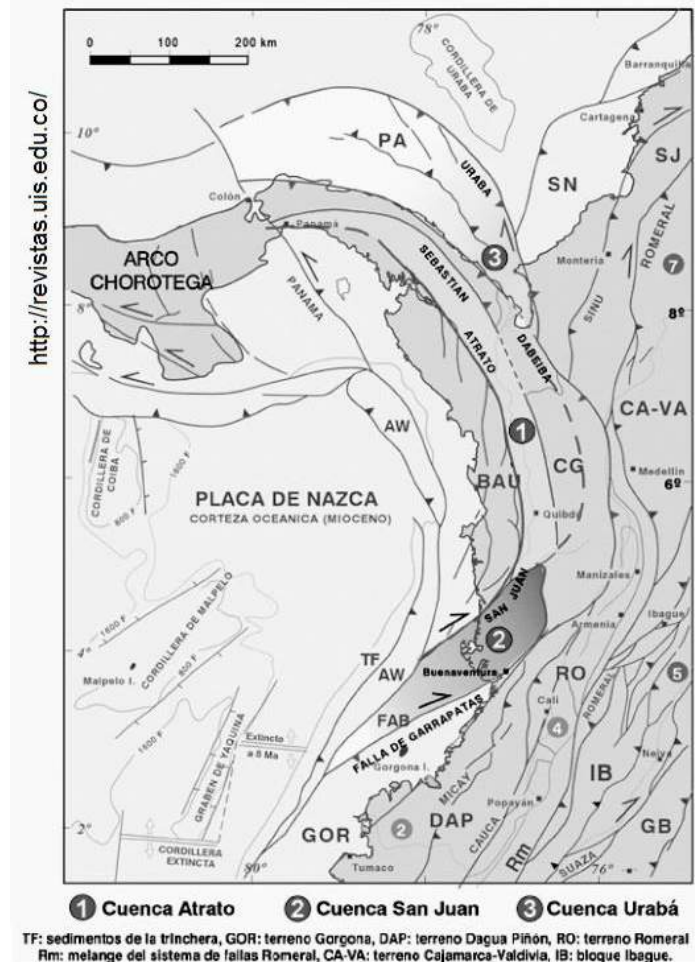


Imagen: 58. Mapa tectónico estructural, del Occidente de Colombia. Fuente: Cediell (2003) en revistas.uis.edu.co

- **Anticlinorios.** Los anticlinorios notables del país son la Cordillera Oriental, la Occidental, la Cordillera Central y la Serranía del Perijá.

- **Sinclinorios.** Los sinclinorios notables del país son la cuenca del Chocó, las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena (Alto, Medio, Bajo), la región del Caribe y el valle del Cesar.

11.7.3 Tectónica local (alineamientos).

A continuación, un par de mapas, a) Un mapa estructural del occidente colombiano, modificado tomado de Cediel (2003) y modificado de Eafit, y Agencia Nacional de hidrocarburos.; y b), otro mapa con los lineamientos y fallas del área urbana de Manizales:

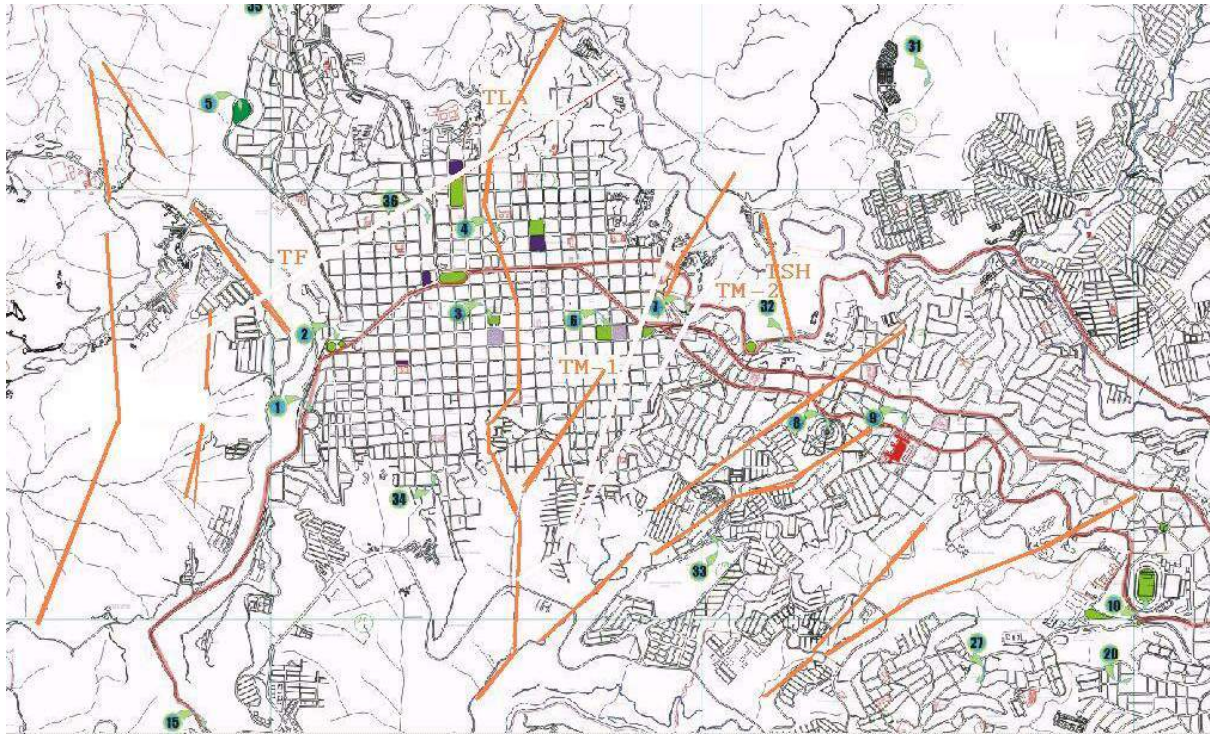


Imagen 59: Manizales: fallas y lineamientos geoestructurales. Al poniente, aparecen los rasgos estructurales del Escarpe de Chipre; por el centro y vecina a la plaza de Bolívar, la Falla Manizales-Aranzazu con dirección Norte Sur, y a partir de ella un set de fallas en abanico pasando por Fundadores, el Cementerio y la Q. San Luis. Fuente, Aguas Manizales & INGESAM.

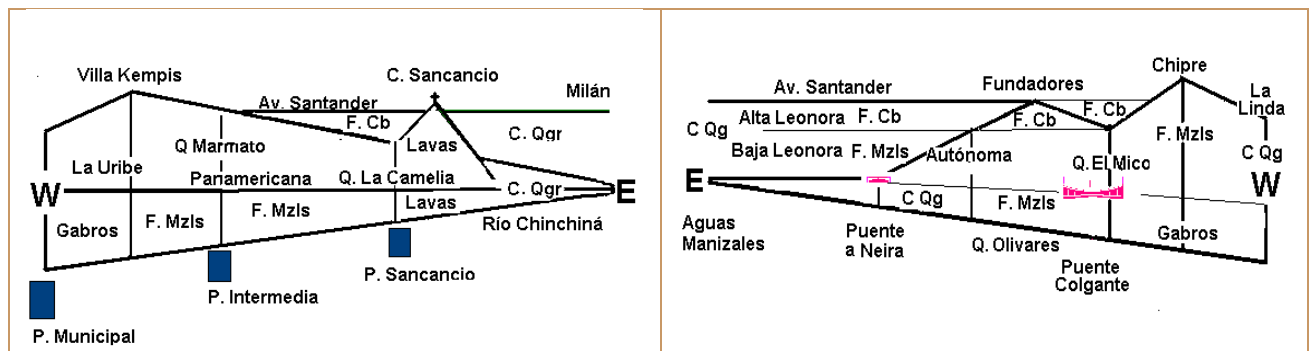


Imagen 60. Diagramas estructurales de Manizales en dirección W-E y E-W: tras la formación del abanico aluvial del Chinchiná (Formaciones Terciarias Manizales y Casabianca), se dará el levantamiento del basamento Cretácico de Manizales (Complejo Quebradagrande) que explica la formación del escarpe de Chipre GDE 2007.

Según la investigación del potencial geotérmico del Ruiz hecha por la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC, 1985) y la Geología de Manizales y sus alrededores estudiada por José Luis Naranjo y Carlos Borrero de la Universidad de Caldas, un esquema de los rasgos estructurales de la región señala las siguientes fallas o lineamientos inferidos, cuya verificación en varios casos está por hacerse.

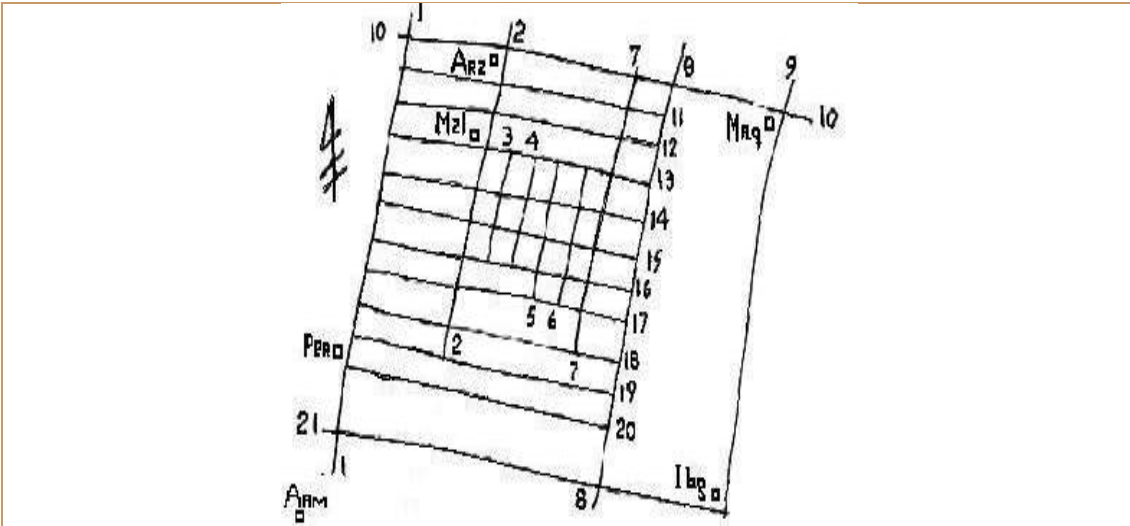


Figura 61. Diagrama esquemático estructural de la región Manizales-Armenia. Distinguimos las siguientes poblaciones: al NW Aranzazu (Arz) y Manizales (Mzl), al NE Mariquita (Mrq); al SW Ibagué (Ibg), y al SW Pereira (Per) y Armenia (Arm). Las fallas o lineamientos con dirección NS yendo de W a E son las siguientes: 1. F. Romeral, 2. F. Manizales-Aranzazu, 3. F. Laguna Baja, 4. F. Terales Botero-Londoño, 5. F. NN, 6. F. Paramillo de Santa Rosa, 7. F. Cerro Bravo, 8. F. Palestina y 9. F. Mulato. Las fallas o lineamientos que van del E al W enumeradas de N a S son: 10. F. Salamina-Marulanda, 11. F. Neira I, 12. F. Neira II, 13. F. Villa María-Terales del Ruiz, 14. F. Rioclaro, 15. F. La Cristalina, 16. F. Campoalegrito, 17. F. San Ramón, 18. F. San Eugenio, 19. F. Otún, 20. F. Consota y 21. F. Salento. Adaptado de Investigación Geotérmica del Ruiz, CHEC.

11.8. NUESTRO FRÁGIL PATRIMONIO HÍDRICO

Si entre los objetivos del milenio, aparecen la lucha contra la pobreza, el hambre, las enfermedades y la degradación del medio ambiente, cabría subrayar la meta establecida para el 2015, de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso al agua potable y a servicios básicos de saneamiento, ahora que afrontamos los graves retos en relación con un calentamiento global que compromete el patrimonio hídrico en Colombia, un país en el que el 50% del agua es de mala calidad y donde aparecen regiones con acceso limitado al vital líquido, a pesar de una enorme oferta hídrica que en 1990 por volumen de agua y por unidad de superficie, llegó a ocupar el cuarto puesto a nivel mundial.

Si la pluviosidad media anual por regiones en Colombia al pasar de 10 mil mm a 800 mm, varía hasta 8 veces entre el alto San Juan del Chocó y la Península de la Guajira, también existe asimetría de oferta hídrica entre la gran cuenca del Cauca-Magdalena, que cubre el 23,6% del suelo continental de la patria y que al drenar 8 mil metros cúbicos por segundo participa con el 12% del agua del país, y el resto del territorio donde habita el 32% de la población colombiana que dispone del 89% del patrimonio hídrico restante.

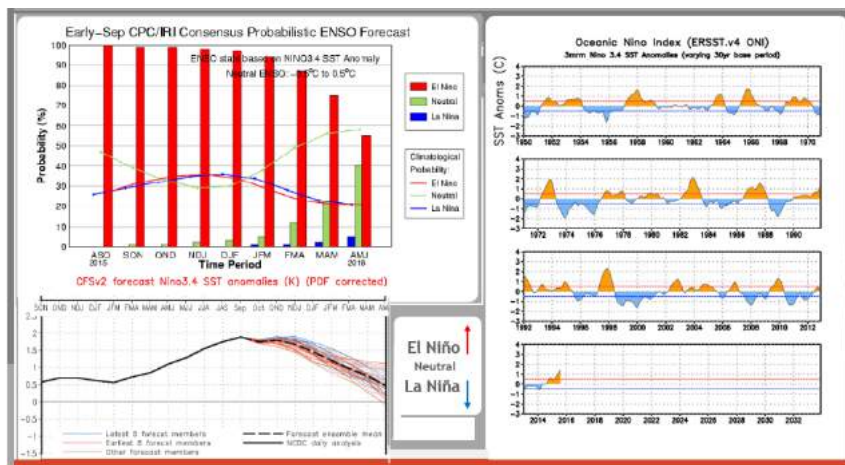


Imagen 62. Pronósticos del ENSO a 5-10-2015, y ENSO entre 1950 y 2015. Fuente: www.cpc.ncep.noaa.gov

Con el calentamiento global, incrementando la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos, habrá que tomar medidas en materia de gestión de riesgos, tal cual lo advertimos con La Niña 2010/11 al ver sus inundaciones afectando dos millones de colombianos, con eventos que quedaron plasmados en la trágica destrucción de Gramalote, y ahora con las sequías asociadas al Fenómeno de El Niño por el drama de los incendios forestales que han arrasado 93 mil hectáreas, evento que antes de pasar del nivel moderado al fuerte, ha afectado severamente la producción agrícola del país secando las pasturas y causando la muerte a unas 32 mil reses, quedando por delante un horizonte temporal en el que las lluvias de los meses siguientes podrían reducirse entre el 40 y 70%. Y ante ese panorama, ¿cómo estamos? Creo que a pesar de los grandes esfuerzos institucionales, al examinar los indicadores fundamentales, no muy bien: en los años precedentes la deforestación venía cobrado más de 200 mil hectáreas, en parte para la expansión de cultivos de palma de aceite en Caquetá, acción depredadora que equivale a destruir un río de la patria cada año; también, porque en la Guajira donde las sequías siempre acechan, las lluvias no llegaron en los últimos tres años, o porque en 80 municipios de 17 departamentos las aguas han estado contaminadas con mercurio, producto de la extracción ilegal de oro; a todo esto se suma la preocupante presión sobre un ecosistema estratégico: nuestros páramos.

En Caldas, la situación igualmente apremia: ya por la contaminación con cianuro y mercurio proveniente de la minería en Villamaría, Marmato y Supía, por la amenaza indebida de origen antrópico sobre los corredores cordilleranos de flora y fauna, por la eutrofización de acuíferos y los conflictos entre aptitud y uso del suelo en áreas de vocación agropecuaria; o ya por el modelo de ocupación expansionista del territorio en los medios periurbanos, caso Manizales donde el proyecto urbanístico de La Aurora presiona la reserva de Río Blanco, o por el prospecto minero en la vereda Gallinazo que pone en riesgo ambiental además de la reserva de la Chec ubicada sobre su frontera, la calidad del acuífero que soporta las aguas de las fuentes asociadas a la planta de tratamiento de la ciudad.

Habrà que hacer ajustes y trazar nuevos enfoques en las políticas públicas del país y en el ordenamiento territorial en materia de adaptación al cambio climático, dotándolas de una orientación socio-ambiental, y redefiniendo el verdadero carácter del agua, el suelo y la biodiversidad, erróneamente considerados un recurso y como tal un objeto de mercado, y no un patrimonio inalienable, puesto que de lo contrario además de hacer inviable el territorio, en uno o dos siglos como máximo, en nombre de un modelo de desarrollo deshumanizado y centrado en el crecimiento económico, por las falencias de un Estado débil y una sociedad indolente y no previsiva, habremos agotado la biodiversidad del país.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015.10.12]

11.9. EL SINIESTRO DE MOCOA, DISEÑO DE LA IMPREVISIÓN

RESUMEN: Durante la noche del 31 de marzo y la madrugada del 1 de abril de 2017, cuando fuertes lluvias provocaron deslizamientos, deslaves y flujos de lodo en las cuencas altas de los ríos Mocoa, Mulato y Sancoyaco, con los desbordamientos que arrasaron varios sectores urbanos en el municipio colombiano de Mocoa capital del Departamento del Putumayo, se generó un desastre que cobró, además de la destrucción de viviendas puentes, redes de servicios públicos y vehículos, al menos 320 personas fallecidas, más de 400 heridos y una cifra no oficial de 300 desaparecidos. Según cálculos oficiales, tras el alud de los 70.000 de Mocoa se han afectado cerca de 45.000 habitantes, de los cuales 4.506 sin vivienda y con necesidad de ayuda humanitaria están distribuidos en albergues.



Imagen 63. Imagen satelital de Mocoa antes y después del desastre de la noche de Marzo 31/Abril 1 de 2017, suministrada por Corpoamazonia.

Las avalanchas asociadas a las lluvias exacerbadas por el calentamiento global, y que continuarán arrasando poblados ubicados en los piedemonte cordilleranos, caso Salgar y Mocoa, son una amenaza latente y creciente para la región andina de Colombia, donde estamos pagando deudas ambientales con cientos de poblados en condición de riesgo ubicados sobre abanicos aluviales de cuerpos de agua en régimen torrencial abrigados por cuencas deforestadas, al ocupar sus vaguadas con usos conflictivos del suelo y exponer a sus pobladores: en esta nueva dinámica los desastres, que parten de eventos climáticos extremos como detonantes de riadas predecibles, son el costo de nuestra precaria cultura de planeación.

Para tratar el asunto, permitanme dos elementos conceptuales de importancia para la gestión del riesgo: uno, la previsión a corto plazo, que se relaciona con el proceso hidrogeológico, y que incluye el monitoreo de la amenaza y la definición del modelo de encadenamiento y propagación de los eventos; y dos, la previsión general, que se ocupa de los factores de la vulnerabilidad global y de los mapas de susceptibilidad a la amenaza, como insumos necesarios para estudiar el riesgo probable y los grados de exposición al peligro de bienes y personas.

Si para tales lugares, además del mapa señalando los escenarios amenazados, de una red de monitoreo que opere en tiempo real, existiesen políticas públicas, procesos educativos y herramientas para la planificación integral del territorio, se podría hablar de prevención de desastres; de lo contrario, otra sería la suerte de pobladores que en condición vulnerable habitan dichos lugares, que hoy sólo son escenarios con escombros a la espera de una tragedia, que aunque puede anticiparse, más tarde los convertirá en “campos santos” para honrar a sus víctimas mortales.

Justo durante los meses precedentes veíamos con dolor imágenes de los huaycos en Perú y Ecuador, producto del fenómeno de “El Niño costero” ocasionado por un calentamiento anómalo del mar focalizado en las costas sudamericanas, donde varios fenómenos hidrogeológicos cobraron más de un centenar de vidas, y al cual podrían sumarse las de Mocoa. Vale la pena señalar, que dicho fenómeno climático difiere del ENOS producto de las fluctuantes de temperaturas oceánicas provenientes de Australia, que al detonar en el Pacífico ecuatorial, ocasionan lo que conocemos como “El Niño o La Niña” según el caso.

En el PBOT de Mocoa, donde se consigna que el río al igual que algunos afluentes suyos al bajar de la cordillera cruzan el casco urbano, y que dada su juventud geológica al encontrarse en permanente formación generan una erosión activa que pone en peligro permanente sus zonas de influencia en la ciudad, también se reconoce la alta pluviosidad anual característica de la región, el alto grado de fragmentación del ecosistema y la presión antrópica sobre el sistema boscoso como factores de amenaza generadora de riesgos por movimientos de remoción en masa, inundaciones, crecientes de ríos y erosión. Es decir, la amenaza y el riesgo ya estaban identificados en Mocoa, pero las acciones humanas precedentes y omisiones institucionales crearon las condiciones propicias para esta tragedia.

Por las mismas razones, en la Ecorregión Cafetera, un escenario deforestado donde la superficie en potreros supera 12 veces lo debido y la extensión de bosques es 2,8 veces inferior a la esperada, podríamos encontrar áreas pobladas potencialmente amenazadas. Bastaría señalar centralidades, que al igual que en Maltería por donde transita la quebrada Manizales, también están cruzadas por un cuerpo de agua en régimen torrencial, para encontrar pobladores en riesgo, e implementar acciones para resolver las contradicciones del modelo de ocupación del territorio, emprendiendo el ordenamiento de las respectivas microcuencas y las acciones de planificación para prevenir la destrucción de la selva andina, e instalar sistemas de alerta temprana, como los utilizados en Manizales para el tema de los deslizamientos y la amenaza volcánica.

Por lo tanto, el gran desafío para mitigar esta amenaza del cambio climático, es aplicar determinantes socioambientales con un enfoque más biocéntrico que antropocéntrico, para recuperar y ordenar nuestras cuencas con sus cuerpos de agua, ecosistemas y bosques, e implementar planes de manejo ambiental participativos que contemplen estrategias de adaptación al cambio climático y modelos no conflictivos de ocupación del territorio. [La Patria. Manizales, 10/04/2017]

Lecturas complementarias

Objeción a una explotación minera en Planalto.

El propósito de este trabajo es objetar la solicitud hecha de una licencia ambiental para la explotación a cielo abierto de la anfibolita en Planalto, sobre terrenos de Cenicafé, por considerar que la actividad minera que se persigue es innecesaria, inconveniente, perjudicial e incompatible con el medio ambiente actual, a causa de la naturaleza del lugar, dada la presencia de la Reserva de Planalto como área de interés ambiental y el uso del suelo como sede del Centro de Investigaciones Cafeteras de Colombia.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11645/gonzaloduqueescobar.20135.pdf>

Colombia mira a la Cuenca del Pacífico.

A pesar de estar ubicados en la mejor esquina de América, en Colombia no hemos tenido visión marítima, lo que se advierte en la pérdida de Panamá, la pérdida de mar con Nicaragua y el rezago portuario del Pacífico: véanse el precario desarrollo del Chocó Biogeográfico y de Tumaco, y la condición de enclave económico de Buenaventura. Ponencia presentada en el 52° Congreso Nacional de SMP de Colombia, Cartagena de Indias, Colombia. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7660/gonzaloduqueescobar.201151.pdf>

Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia.

Este “ferrocarril verde”, marchando desde Urabá hasta Cupica, por el Atrato antioqueño hasta superar la zona anegable del río para establecer un puente interoceánico, complementado con la hidrovía, está asociado a un tema tan vital como extraño para Colombia: sus mares. Con los actuales puertos, no podemos acceder a dicho escenario por donde se moviliza el noventa por ciento de la economía del Siglo XXI, donde solo se accede con barcos de más de 12 mil TEU clase Suez, los que transitarán por el nuevo Canal de Panamá trayendo las líneas troncales del comercio interoceánico.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20857/gonzaloduqueescobar.201402.pdf>

Centenario “canalero”.

En los 100 años del Canal de Panamá (1914-2014), colosal puente interoceánico, veamos además de los elementos de su pasado, presente y futuro, el significado del istmo y los impactos relevantes en la historia de esta obra notable de la ingeniería mundial.

Ver en: <https://godues.wordpress.com/2014/07/07/centenario-canalero/>

Impactos del nuevo Canal de Panamá

Con la ampliación del Canal de Panamá donde seguirán operando las embarcaciones Clase Panamax de 4500 TEU, países como EE UU, China y Chile, además de la Región Caribe, Andina, y el Pacífico Americano, se verán beneficiados con la nueva obra emprendida para permitir el paso de barcos Clase Suez de 12500 TEU. Con el Nuevo Canal de Panamá incrementando la capacidad de 300 a 600 millones de toneladas anuales, al darse paso a grandes embarcaciones que reducen cinco veces los fletes, la troncal interoceánica del movimiento de carga abrirá por el Istmo un paso alterno a Suez entre el Atlántico y el Pacífico.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57024/impactosdelnuevocanaldepanama.pdf>

<p>...</p> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</p>  <p>MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS <u>Gonzalo Duque-Escobar</u> MANIZALES, 2020</p> <p>ANEXOS</p>	
<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
<p>HOME: Manual de geología para ingenieros</p>	
<p>CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.</p> <p style="text-align: right;">A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.</p>	



Cabo de la Vela, Guajira Colombia.

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 12

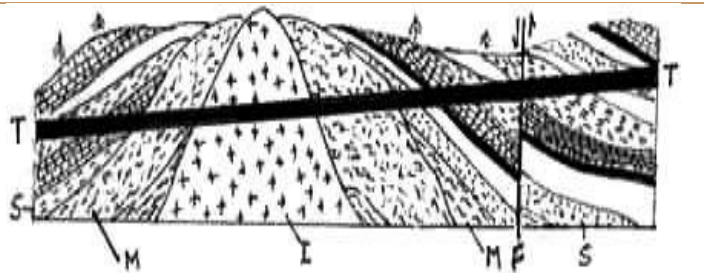
MACIZO ROCOSO

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Las rocas pueden ser duras o blandas y las fallas de los macizos se pueden presentar por zonas de debilidad o de discontinuidad estructural. Las rocas blandas fallan a través del cuerpo de la masa rocosa y también a través de sus defectos estructurales.

Figura 65. Túnel en un macizo afectado por una intrusión. Originalmente el macizo era sedimentario y ahora posee aureola de metamorfismo. (T túnel, F falla, I roca ígnea, M roca metamórfica y S roca sedimentaria).



En la fig. 65 las capas sedimentarias están levantadas hacia la intrusión ígnea. El metamorfismo se da sobre las rocas sedimentarias por efectos del magma ascendente. El contacto entre las rocas metamórficas y la intrusión está fallado. Existe una falla tectónica, además. Un túnel atravesando este macizo encontrará comportamientos diferentes en las rocas: habrá comportamiento plástico en las metamórficas y elástico en las dos zonas de falla; serán rocas duras las ígneas y metamórficas y blandas las sedimentarias, habrá discontinuidades de retracción en las ígneas y de estratificación en las sedimentarias entre estas, los comportamientos varían sustancialmente.

12.1. CALIDAD DEL MACIZO

Se considera que un suelo o roca es blando o duro, según su resistencia a la compresión esté en los siguientes rangos:

- ✳ Suelo blando menos de 4 Kg/cm²
- ✳ Suelo duro entre 4 - 10 Kg/cm²
- ✳ Roca blanda de 10 a 375 Kg/cm²
- ✳ Roca intermedia de 375 a 700 Kg/cm²
- ✳ Roca dura mas de 700 Kg/cm²
- ✳ El concreto corriente es de sólo 210 Kg/cm².

Las rocas blandas son aquellas que pueden fallar a través de material intacto a los niveles de esfuerzos existentes que se pueden dar en el área de influencia de una excavación, sin que tenga sentido un valor numérico para definir la resistencia de dichas rocas, máximo aún si se tiene en cuenta que los macizos de roca más dura pueden fallar y fallan en las excavaciones más profundas. El comportamiento de una galería puede ser dúctil, adecuado o frágil, como se muestra en la fig. , cuando se consideran profundidades del orden de 100, 200 y 300 metros respectivamente. Para valorar estas cuantías de esfuerzo, vale decir que 1 Kg/cm² equivale a 10 TT/m² o sea el esfuerzo producido por una columna de 10 m de agua.

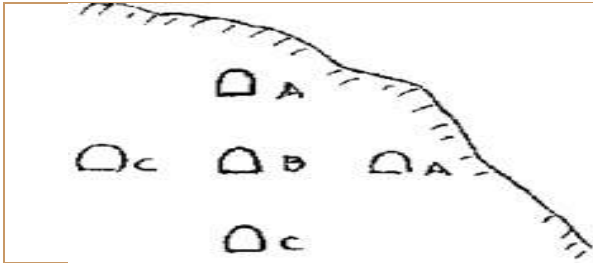


Figura 66. Profundidad de una galería. A. Comportamiento frágil, B. comportamiento adecuado, y C. comportamiento dúctil. Según Alvaro Correa A, curso de mecánica de rocas U. Nal.

En A hay relajamiento de esfuerzos y el bloque superior puede caer.

En B el confinamiento es suficiente y la región es óptima.

En C se corre peligro de implosión cuando se cierre el túnel si la roca fluye por plasticidad.

Si la densidad de la roca es 2,5 ton/m³, la carga de roca a 300 metros de profundidad ($P_z = \gamma H$) será 75 Kg/cm² y a 600 metros 150 Kg/cm².

Experimentalmente se sabe que para las excavaciones el factor de seguridad es del orden de 5. Esto es, la presión litostática P_z dividida por el esfuerzo de ruptura s_c debe ser superior a 0,2, inverso de 5 y límite por debajo del cual las rocas supuestamente fallarían. En los casos anteriores $P_z / 0,2 > s_c$, da los siguientes valores.

- * Para H = 300 m de la relación anterior $75 / 0,2 > 375 \text{ Kg/cm}^2$
- * Para H = 600 m de la relación anterior $150 / 0,2 > 750 \text{ Kg/cm}^2$

Algunos autores consideran el límite entre roca blanda o dura la resistencia confinada de 375 Kg/cm², e incluso 750 Kg/cm² o más, si los esfuerzos horizontales son mayores que los verticales aunque las profundidades sean menores que las indicadas. Para los casos anteriores, taludes en rocas de esta resistencia, con alturas de 500 metros podrían presentar falla parcial a través de la masa de la roca intacta. En proyectos de ingeniería profundos los macizos con esta resistencia pueden fallar a través del material intacto bajo ciertas consideraciones extremas de profundidad al comportarse de manera dúctil como se ilustró con el ejemplo del túnel.

12.1.1 Propiedades de las rocas.

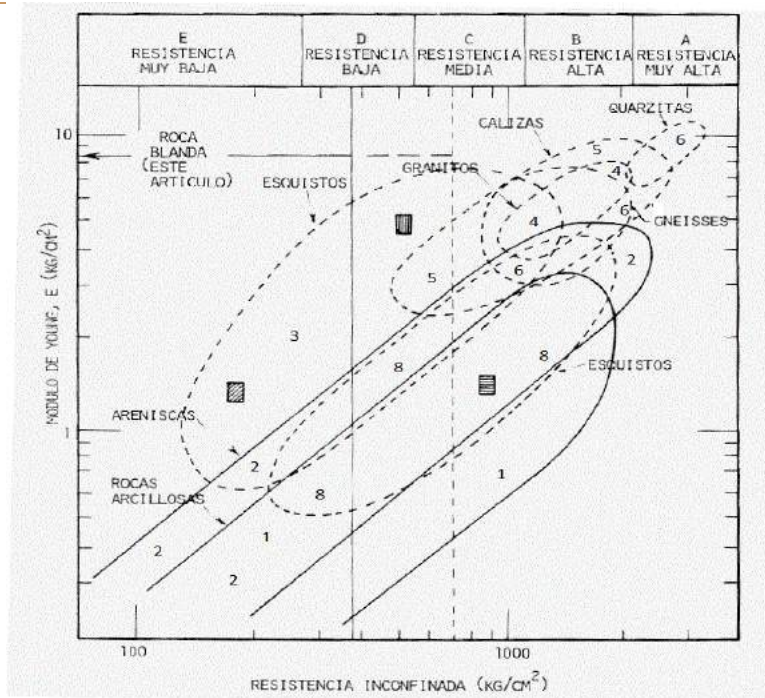


Figura.67. Clasificación ingenieril de roca intacta según Deere. E. Resistencia muy baja, D resistencia baja, C. resistencia media, B. resistencia alta, A. resistencia muy alta. 1. Roca arcillosa, 2. Areniscas, 3. Esquistos de foliación fina, 4. Granitos, 5. Calizas, 6. Cuarzitas, 7. Gneises, 8. Esquistos de foliación gruesa. M. 375 Kg/cm², N. 700 Kg/cm². Adaptado de Alberto Nieto, Caracterización G. de Macizos de Roca Blanda

- **Las rocas ígneas.** Son muy resistentes, isotrópicas, rígidas, frágiles, densas y de textura entrabada. Su inconveniente se da por presencia de materiales alterables y diaclasamiento.

- **Las rocas ígneas plutónicas.** Tienen minerales resistentes, entrabados, se da fallamiento en escalonado de minerales porque son diferentes.

- **Las rocas ígneas volcánicas.** Muestran heterogeneidad de minerales; hay falla en poros que afectan la roca, la porosidad le da plasticidad a la masa que si es de rocas masivas resulta poco porosa.

- **Las rocas sedimentarias.** Tienen resistencia media a baja son ortotrópicas, poco rígidas, dúctiles, porosas y presentan textura cementada-laminada. Su inconveniente es la ortotropía que hace difíciles los cálculos de estabilidad y comportamiento del macizo.

En las rocas sedimentarias la resistencia depende del grado de cementación y de su densidad. Ella aumenta cuando los granos son finos; si hay disolución en la masa hay porosidad. Los planos de estratificación son zonas de debilidad.

- **Las rocas metamórficas.** Se caracterizan por una resistencia medio alta, su ortotropía, tenacidad, textura entrabada y baja porosidad. Hay rigidez en el sentido paralelo y plasticidad en el perpendicular, con relación a los planos de clivaje. Su ortotropía dificulta los cálculos.

Las rocas metamórficas resultan elásticas por la cristalización de la masa. Son densas por el empaquetamiento. Si hay minerales laminados hay debilidad. Si hay esquistocidad hay zonas de debilidad. Los gneises son como los granitos aunque el bandeamiento les da debilidad.

12.1.2 Macizos en roca blanda. Los macizos de roca blanda están constituidos por materiales generalmente sedimentarios de grano fino, como arcillolitas, lodolitas, limolitas, tobas y margas, y también areniscas o conglomerados, pobremente cementadas, o por rocas metamórficas con orientación esquistosa desfavorable (filitas, esquistos), cuyo comportamiento geomecánico está controlado por la roca intacta y también por fracturas, diaclasas y fallas.

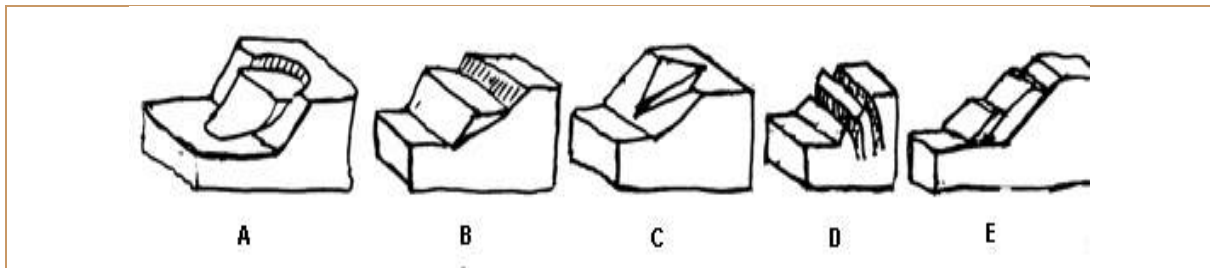


Figura 68. Fallas de un talud de roca: A. Falla circular. B. Falla planar, C. Falla en cuña, D. Falla por volcamiento, E. Fallas por flexión y Falla por pateo. Según Hoek and Bray, Rock Slope Engineering.

Los macizos de roca meteorizada también pueden ser considerados como masa de roca blanda cuyas discontinuidades son rellenos de materiales tipo suelo; dichos macizos a menudo muestran una transición hacia suelos residuales donde los saprolitos tienen estructuras relictas, heredadas de la roca sana, las que sirven de zona de falla.

12.1.3 Caracterización del macizo rocoso. Esta es una tarea de observación, mediciones y ensayos para obtener parámetros cuantitativos útiles al diseño ingenieril. Este proceso además se desarrolla a lo largo de todas las etapas del desarrollo del proyecto, desde el diseño hasta su construcción y operación. Según la fase de diseño se requiere establecer un nivel mínimo de caracterización. El primero es con base en observaciones geológicas, el segundo nivel exige prospecciones geofísicas y el nivel final perforaciones exploratorias, medidas y ensayos geotécnicos.

Los parámetros geotécnicos fundamentales son la resistencia al corte, la deformabilidad, la permeabilidad y el estado original de esfuerzos, tanto para macizos en rocas duras como en rocas blandas. En las segundas la durabilidad de las rocas y su potencial de expansión y fluencia deben ser propiedades de primer orden.

En el caso de cimentaciones los principales problemas para una estructura en roca blanda son asentamientos diferenciales, rebote, falla a lo largo del contacto estructura-roca, las altas presiones de poros, las fugas excesivas y rara vez la falla por capacidad portante del macizo. En los taludes la altura condiciona el tipo de caracterización geotécnica, como también lo hace la resistencia de la roca intacta y la geometría de las discontinuidades. Si es relevante la resistencia al corte, la deformabilidad puede tener interés por la inducción de fracturas de tensión en la corona, donde el agua introducida genera situaciones de inestabilidad que no existían.

Las obras más difíciles de caracterizar y modelar, son las excavaciones subterráneas. A diferencia de una estructura de concreto, el escenario estructural es aleatorio e incierto y queda escondido bajo una cubierta de suelo y material rocoso. Entre los problemas a resolver en el diseño

de túneles, que han de conducir agua a presión están el de la estabilidad de las paredes sin agua y con ella, el grosor del refuerzo, la permeabilidad del macizo y la estabilidad de las laderas exteriores vecinas en caso de presiones hidrostáticas inducidas y de fuga de agua hacia los taludes y laderas.

La caracterización apropiada de los macizos rocosos, además de ser la base para el diseño de las obras, contribuye a la optimización del método constructivo, da vía al mejoramiento del macizo (anclajes, inyecciones, drenaje) y permite la programación de observaciones durante el funcionamiento de las obras.

12.2. DISCONTINUIDADES EN MACIZOS ROCOSOS

Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Es importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso. Además de su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices y revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad y persistencia de las discontinuidades, y el número de familias.

Origen	Roca	Clase	Mecanismo
Genético	Igneas	Estructura de flujo	Contactos entre coladas de lavas sucesivas
		Estructura de retracción	Grietas de retracción por enfriamiento
	Metamór	Foliación	Por gradientes térmicos, de presión y anatexia
	Sedimento	Estratificación	Contactos entre eventos de deposición
Físico-químico	Todas	Termofracturas	Ciclos de calentamiento-enfriamiento o humedecimiento-secado
		Halifracturas	Expansión de sales y arcillas en fracturas
		Gelifracturas	Ciclos de congelamiento y fusión de agua
Gravedad	Todas	Relajación	Pérdida de presión de sepultura y esfuerzos de tracción
		Corte	Concentración de esfuerzos horizontales en valles
Tectónico	Todas	Estructuras de placa	Bordes constructivos, pasivos y destructivos
		Fallas	Rupturas con desplazamientos por esfuerzos de compresión, tracción y corte
		Diaclasas	Rupturas por esfuerzos tectónicos, pero sin desplazamiento de bloques
		Fracturas de pliegues	Radiales en la zona de tracción y de corte en la parte interna de la charnela

Biológico	Todas	Acción de las raíces	Penetración y crecimiento de las raíces de los árboles
-----------	-------	----------------------	--

Cuadro 16. Tipos principales de discontinuidades en macizos rocosos
Adaptado de Alvaro J. González G. Universidad Nacional, 1995.

Las discontinuidades pueden ser:

- **Genéticas o primarias.** Son discontinuidades asociadas a estructuras de flujo y a fenómenos de retracción térmica en las rocas ígneas, a la foliación en algunas rocas metamórficas y a la estratificación en las sedimentarias. Son contemporáneas con la formación de la roca.

- **Termoquímicas.** Estas discontinuidades, de carácter secundario, pueden ocurrir después de formada la roca por causa del medio externo, como la termofracturación por gradiente térmico, gelifracturación por agua-hielo, halifracturación por sales y argilofracturación por arcillas.

- **Gravitacionales y tectónicas.** Son discontinuidades secundarias asociadas a esfuerzos gravitatorios como grietas de tracción, o a esfuerzos tectónicos donde se incluyen diaclasas, fallas y estructuras de placas tectónicas.

12.2.1 Sistemas de diaclasas. Los métodos para recolectar información de discontinuidades son inexactos y entre ellos la brújula y la construcción del plano o el mapa y la topografía son los más generalizados. La descripción de las perforaciones es útil cuando hay control de verticalidad y orientación, acompañados de una buena descripción de muestras.

Una familia de diaclasas es un grupo de diaclasas con igual orientación y varias familias presentes en un macizo, intersecándose, se denominan sistema de diaclasas del macizo.

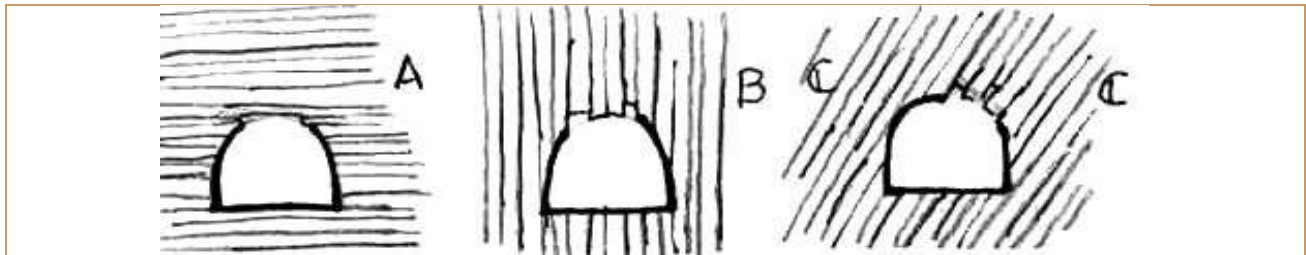


Figura 69. Estratificación y esquistosidad en el caso de un túnel. A. Discontinuidades horizontales, B. discontinuidades verticales, C. discontinuidades oblicuas. Adaptado del curso de geología de Juan Montero, U. Nal.

Las diaclasas pueden ser abiertas o cerradas y estar cementadas o no. También pueden ser paralelas a los planos de estratificación (rocas sedimentarias) o de clivaje (rocas metamórficas).

Por regla general un macizo tiene tres familias de fracturas o diaclasas asociadas a esfuerzos y cuando hay más de tres es porque existe superposición de esfuerzos.

12.2.2 Parámetros de las discontinuidades. Los parámetros de descripción de las discontinuidades son diez.

- **Orientación.** Es la posición espacial y se da con el rumbo y buzamiento de la superficie de discontinuidad. Es importante ver la actitud de los bloques y fracturas para efectos de estabilidad.

- **Espaciamiento.** Es la distancia perpendicular entre dos discontinuidades de una misma familia. Debe advertirse que el espaciamiento aparente, el que muestra en superficie la roca, por regla general es mayor que el real. Se utiliza el promedio.

- **Persistencia.** Es la longitud de la traza de una discontinuidad en un afloramiento (se trabaja estadísticamente y con criterios probabilísticos como el espaciamiento). Cuando hay persistencia se garantiza el flujo de agua a través de la masa.
- **Rugosidad.** Se alude a la rugosidad de la superficie y a la ondulación de la discontinuidad, pues ambos afectan la resistencia del macizo rocoso. Una alta rugosidad aumenta la resistencia a la fricción.
- **Resistencia de las paredes de la discontinuidad.** Generalmente es la resistencia a la compresión confinada, pues es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad.
- **Abertura.** Es la distancia perpendicular entre las paredes de las distancias de las diaclasas cuando estas no tienen relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas.
- **Relleno.** Alude al material entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación.
- **Flujo.** Agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe por el caudal y debe evaluarse si el agua brota o no con presión.
- **Número de familias presentes.** Es indicativo del grado de fracturamiento del macizo y depende de la dirección y tipo de esfuerzos. El menor número de familias en un macizo es tres; también las familias presentan características distintivas, no solamente en dirección y espaciamiento sino también en condiciones de relleno, caudal e incluso edad y tipo de esfuerzos que la origina.
- **Tamaño de bloques.** El que se cuantifica con algunas metodologías específicas. Deben identificarse además los bloques críticos: aquellos que tienen tamaños finitos y posibilidad de desprenderse.

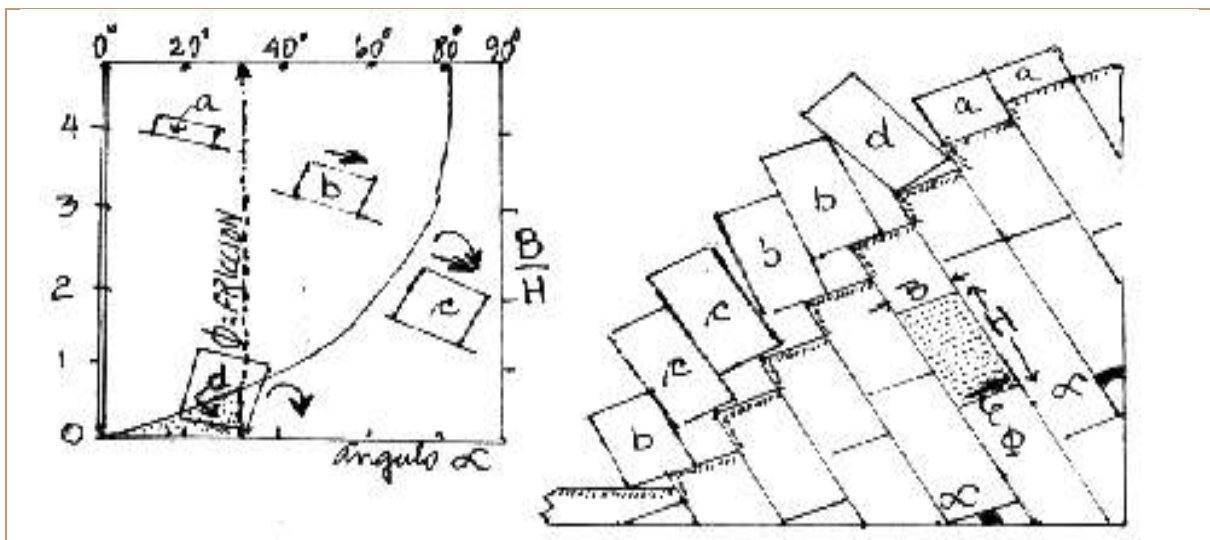


Figura 70. Volcamiento y deslizamiento de bloques. En el macizo: (a) bloques sin volcamiento ni deslizamiento; (d) con volcamiento y sin deslizamiento; (b) con deslizamiento y sin volcamiento; (c) con deslizamiento y volcamiento. En el ábaco se presentan las situaciones anteriores para un bloque sin empuje, en función de la inclinación del piso, de la relación base - altura de los bloques y de la fricción en el piso. Adaptado de E. Hoek and J. Bray, Rock Slope Engineering.

Ref: Ver ejercicio en Túneles Manizales:

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69926>

12.3. ESTABILIDAD DEL MACIZO

12.3.1 Estabilidad general. En un macizo rocoso se evalúa el material rocoso, el sistema de diaclasas, las condiciones del agua y las condiciones de esfuerzos.

En el material rocoso se evalúa la compresión confinada y la resistencia a la tracción utilizando núcleo de prueba. En el sistema de diaclasas se evalúan los parámetros señalados de rugosidad, separación (distancia), abertura (tamaño de bloques), rellenos, orientación (número de familias), persistencia y continuidad. En las condiciones del agua se evalúan la cantidad y los efectos del agua. También las características físicas y químicas de agua, y las modificaciones del caudal en el tiempo pueden importar. En las condiciones de esfuerzos se evalúan, en cantidad, rata y dirección, los cambios en la masa y los cambios en la carga. Aquí es posible considerar la necesidad de estudios de sismicidad local.

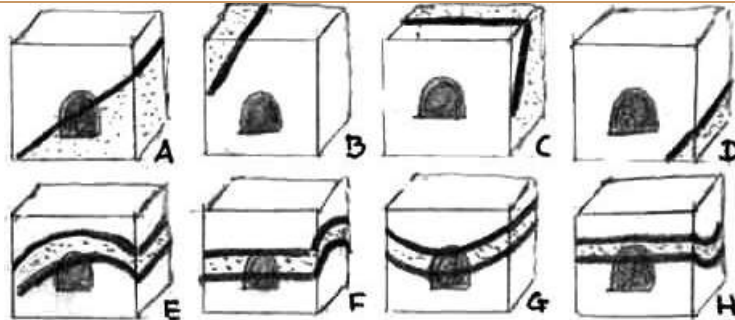


Figura 71. Aptitud de una estructura geológica y la dirección de un túnel. . La falla va con el túnel, B. y D. la falla no corta el túnel, C. la falla corta transversalmente el túnel, E. y F. el túnel se encuentra en un anticlinal, G. y H. el túnel cruza un sinclinal. Adaptado de Pedro Hernández, Conceptos de Geología Estructural.

Es importante notar la diferencia en los casos A y C. Se supone que C. es más favorable que A. porque la zona de fracturamiento intenso donde el túnel requiere blindaje es sólo una sección del túnel. En los sinclinales G. y H. se puede prever concentración de agua fluyendo hacia el túnel. Es más crítico G. que H. Los anticlinales E. y F. ofrecen mejores condiciones de autosoporte que las que ofrecen los sinclinales.

Una segunda consideración, es la anisotropía de tipo litológico: en el primer caso a ambos lados de la falla las rocas no coinciden en razón del desplazamiento que esta supone; en el segundo caso los sinclinales y anticlinales son estructuras propias de ambientes sedimentarios, y esto supone la presencia de estratos. En uno y otro caso existiera la posibilidad de encontrar rocas con propiedades diferentes que contrastan como parámetros de diseño (permeabilidad, resistencia, plasticidad, alterabilidad, etc.).

12.3.2 Estabilidad cinemática. Para evaluar la estabilidad de un bloque rígido, previendo una falla de talud en un macizo rocoso, hay que averiguar rasgos geométricos para ver el tamaño, forma y disposición de bloques o cuñas de roca, recurriendo a un análisis de estabilidad o inestabilidad cinemática.

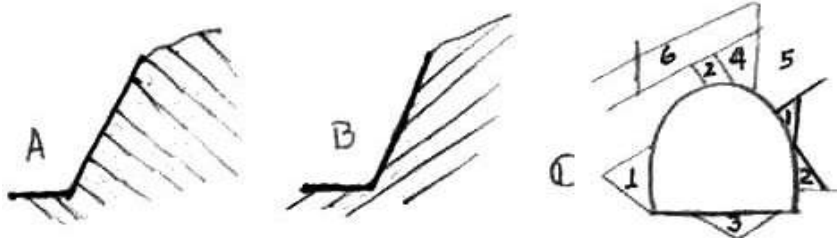


Figura 72. Estabilidad de cuñas de roca. A. talud cinemáticamente estable. B. talud cinemáticamente inestable, C. bloques formados en las paredes de un túnel. Según Hoek and Brown, Excavaciones subterráneas.

De los dos taludes, el que muestra discontinuidades buzando en contra de la pendiente, resulta cinemáticamente estable. El talud de la derecha se considera cinemáticamente inestable puesto que se facilita el deslizamiento de las masas de roca, toda vez que los bloques resultan confinados. La fricción de ser suficiente, podrá evitar el deslizamiento de las cuñas.

En la sección del túnel, con bloques críticos y potencialmente críticos, estos son bloques que se pueden caer. El seis no lo es por faltarle caída libre, el cinco tampoco por ser infinito, el cuatro por ser cono cuñado; tampoco, los bloques uno, dos y tres son finitos y removibles, y su estabilidad está en duda por fricción y geometría; uno y dos son críticos y potencialmente críticos. Tres y dos por gravedad son seguros, el dos del techo por fricción puede ser estable y exige una fuerza actuante. El dos de la pared exige fuerzas actuantes. El uno de la derecha cae libremente y el uno de la izquierda cae friccionando. Aunque exista inestabilidad cinemática no se sabe si se dará o no la falla del talud, pues desde el punto de vista mecánico el talud puede ser estable. En los túneles pueden darse bloques críticos, cuando la geometría de las discontinuidades los conforme con una actitud desfavorable, propicia al desprendimiento por falta de confinamiento e inclinación pronunciada. La falla de estos elementos se da en caso fuerzas desequilibrantes, pérdida de la resistencia y fricción insuficiente para el apoyo.

El análisis cinemático supone averiguar geoméricamente las dimensiones probables del bloque y su disposición, de acuerdo a la orientación, espaciamento y persistencia de las discontinuidades del macizo rocoso, obtenidas de perforaciones y taludes vecinos.

De otro lado, algunos depósitos de suelo pueden fallar por planos tan débiles que por su forma, su comportamiento es el de fallas en material rocoso.

12.3.3 Auscultación y control de túneles y galerías. El proceso apunta a observar la dinámica de los procesos en la masa rocosa y con respecto a la galería, particularmente esfuerzos, deformaciones y degradaciones por agentes ambientales. El propósito es garantizar la estabilidad y servicio de la estructura.

El **nivel de alarma** es diferente en minas que en casas de máquinas pues en las primeras hay cuasiestabilidad (factor de seguridad cercano a 0,9), mientras en casas de máquinas el factor de seguridad es 7 u 8.

En las minas hay procesos de avance del frente y extracción de materiales, en el primero el factor de seguridad es 3 y en el de extracción 0,7 a 0,9. Eso supone que las características del macizo son malas y se puede utilizar poca voladura obteniendo economías.

La auscultación debe basarse en una **base amplia de datos** manejables estadísticamente y las medidas deben hacerse, desde que se abre el frente a auscultar. Estas son al principio medidas cada hora, más tarde medidas diarias y por último medidas cada seis meses que nunca podrán suspenderse.

La previsión de eventos es compleja porque son muchos los parámetros y difícil su integración. Por ejemplo datos geológicos, hidrológicos y geotécnicos; datos topográficos; aspectos geométricos, aspectos técnicos como métodos de avance, tipos de soportes y revestimientos; además modificación del estado inicial de esfuerzos.

El modelo exige la determinación de ensayos de laboratorio y de medidas in situ. El ajuste del modelo o de las hipótesis supone la confrontación de resultados de observación directa. La auscultación depende del tipo de roca, magnitud y dirección de esfuerzos, métodos de avance, sostenimiento de la galería y el recurso humano.

Si **los materiales fallan por esfuerzos o deformaciones**, para la auscultación interesa la deformación. La medida de esfuerzos y deformaciones siempre es diferente desde el punto de vista espacial. Los esfuerzos suponen mediciones por áreas o volúmenes y las deformaciones, la medición puntual. De todas maneras el puente para conocer los esfuerzos a partir de la magnitud y la dirección de las deformaciones es el módulo de Young.

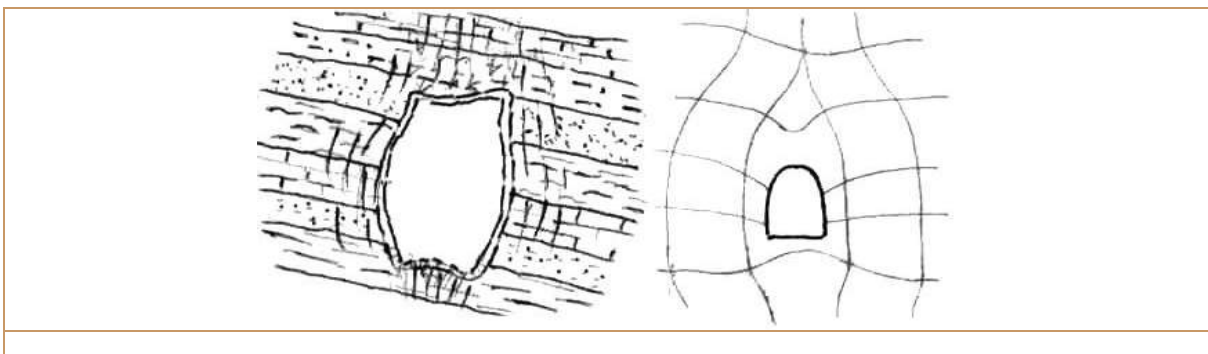


Figura 73. Galería rectangular en roca con fuerte anisotropía estratigráfica. En el dibujo la galería sugiere una elipse. La rigidez del material en las paredes es buena pero no en el piso. A la derecha se muestra la trayectoria de los esfuerzos principales en la galería, la que depende de la forma y orientación de la galería. Notas del curso de instrumentación geotécnica de Guillermo Angel, U. Nal.

Hay métodos de auscultación visuales e instrumentales (métodos sencillos y complejos). Los **métodos visuales**, aunque no cuantifican, son económicos, recomendados y significativos. Su ventaja es que permite la cualificación y extrapolación de las deformaciones. Las medidas visuales incluyen caída de bloques pequeños, generación y avance de grietas, formación de vientres y vacíos, deslizamiento de elementos de soporte, punzonamiento del piso, presencia de humedad e infiltraciones, observación de bloques críticos, oxidación de los elementos del soporte, gases, etc.

Las **medidas instrumentales** varían en costos. Las económicas y rápidas son: para deformaciones, las de convergencias (cierre de diámetros), la de expansiones (hechas con gatos), los grietómetros (pie de rey), la altura rectante (entre techo y piso); para esfuerzos, celdas de carga (miden esfuerzos por deformación) y gato plano; y para velocidad, la microsísmica que mide las diferencias de tiempo de arribo de ondas provocadas. Las medidas de costo intermedio son las que se toman con estratoscopio (especie de periscopio para introducir en rotos). Las medidas costosas y demoradas son el radiofor, distofofor, telemetría, distanciómetro (todas para deformaciones), el overcoring (mide esfuerzo y deformación sobre perforaciones) y el doorstopper (que mide esfuerzos).

Uno de los **errores** de la auscultación es que la medición no es sistemática. Las características del comportamiento del macizo y la estructura no están siempre bien definidas y por ello no se instalan los instrumentos debidos. Es frecuente la falta de experiencia para la correcta instalación y lectura de los instrumentos o para su corrección. También la falta de interés en las condiciones geológicas y en la necesidad del control, como las instalaciones tardías y la falta de mediciones (que no se ejecutan), aunque existan los instrumentos.

12.4. RASGOS ESTRUCTURALES

Planicies, montañas y mesetas en la superficie de la Tierra, muestran rasgos estructurales con características propias; esos rasgos son llamados pliegues, fracturas (fallas o diaclasas) y contactos (discordancias), además de los mantos de corrimiento.

12.4.1 Rumbo y buzamiento. La disposición o geometría de un rasgo estructural se anuncia con dos parámetros: el rumbo o dirección y el buzamiento o echado.

- **Rumbo.** Supóngase un plano inclinado del cual se pueden dibujar las curvas del nivel (CN), perpendiculares a la línea de máxima pendiente (ZL); Fig. 74.

El rumbo será el ángulo horizontal ϕ que hace una curva de nivel del plano inclinado (CN) con la Norte-Sur, de tal manera que el ángulo sea agudo.

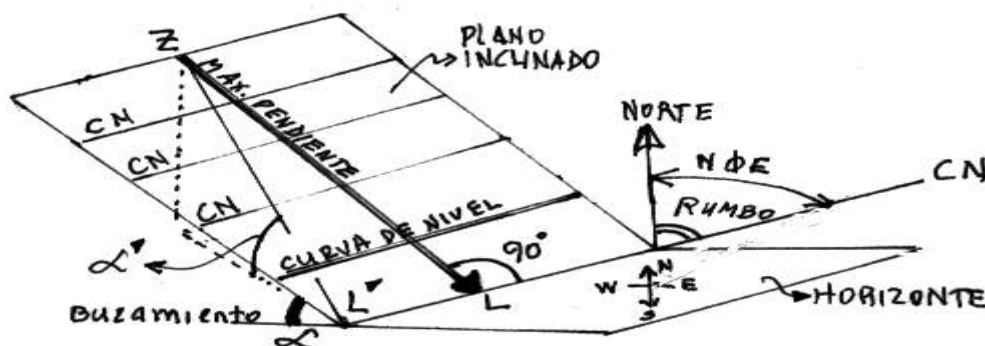


Figura 74. Plano inclinado: este plano inclinado representa una superficie de falla o cualquier otro rasgo estructural. El ángulo con la norte es horizontal y el ángulo alfa, vertical.

En el rumbo antes del valor angular ϕ va la letra N o S, según el extremo del meridiano de origen sea norte o sur, y después del ángulo ϕ va la letra E o W dependiendo del cuadrante (Este u Oeste) hacia donde avance la curva de nivel (CN).

- **Buzamiento.** La línea de máxima pendiente (ZL) muestra la trayectoria de las aguas lluvias sobre el plano inclinado. Esa línea y también el plano tienen por buzamiento el ángulo α medido con relación al horizonte. Después del ángulo α se escriben dos letras consecutivas, la primera N o S y la segunda E o W, de tal manera que quede registrado el cuadrante hacia el cual el plano inclinado se deprime, es decir, hacia el cual avanza la línea de máxima pendiente (ZL). Como las curvas de nivel (CN) y las de máxima pendiente (ZL) son perpendiculares, una de las dos letras cardinales para el buzamiento (α), será igual a otra de las que tiene el rumbo (ϕ).

Si al rumbo de una línea se le cambian las dos letras cardinales, se produce un giro de 180° ; si se le cambia una sola letra, se producirá un giro de 90° .

- **Buzamiento aparente.** Obsérvese en la fig. 74 (plano inclinado) la línea ZL' (en diagonal), esta hace un ángulo α' con el horizonte (no dibujado) ángulo menor que α y que es llamado ángulo de buzamiento aparente.

Para el mismo plano, hay muchos buzamientos aparentes α' , medido cualquiera de ellos sobre una línea no perpendicular a la curva de nivel CN, pero ninguno de ellos será superior al buzamiento real α , que es el de la línea ZL de la figura anterior.

12.4.2 Representación estereográfica. Se puede hacer una representación plana de una esfera intersecada por varios planos de corte que pasan por su centro. Estas intersecciones son círculos Máximos.

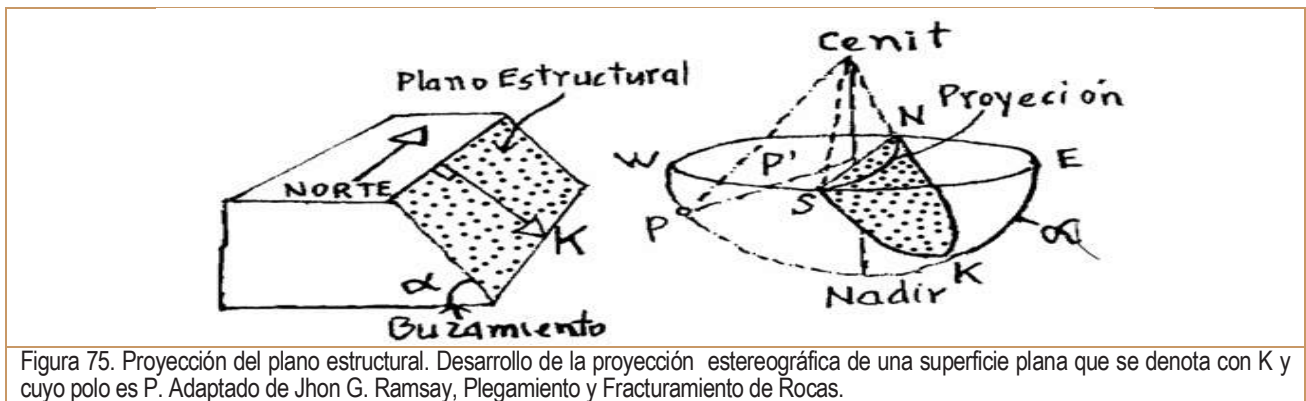


Figura 75. Proyección del plano estructural. Desarrollo de la proyección estereográfica de una superficie plana que se denota con K y cuyo polo es P. Adaptado de Jhon G. Ramsay, Plegamiento y Fracturamiento de Rocas.

Ubicándose el observador en el centro de la esfera, podrá señalar sobre su superficie seis (6) puntos fundamentales: arriba y abajo el cenit y el nadir, que son antípodas. A izquierda y derecha el oriente (E) y occidente (W), ubicados sobre los extremos de otro diámetro. Al frente y atrás estará el norte (N) y el sur (S), ambos diametralmente opuestos. Los cuatro últimos definen el horizonte NESW, sobre el cual cae perpendicularmente la línea cenit-nadir.

Pártase en dos esa misma esfera con el horizonte y considérese la semiesfera inferior, que ya había sido intersecada por un plano de corte que pasa por su centro, y del cual queda el semiplano que está por debajo del horizonte.

Este semiplano representará un plano estructural y el conjunto se puede dibujar con una proyección esférica polar o ecuatorial, en el denominado diagrama estereográfico.

Si desde el cenit se llevan rectas al círculo máximo que pasa por el punto K, éste las interceptará el horizonte formando un arco que es la proyección del plano K. Varios arcos de estos generan una red meridional o ecuatorial como la de la fig. 76 B precedente. La proyección del polo P sobre el horizonte determina el rayo que sale del cenit, pues el cenit es el centro de proyección. - **Medida del rumbo y buzamiento.** El semiplano de corte que idealiza un plano estructural tiene por intersección con el horizonte, un diámetro (CN) sobre el cual se mide la dirección del plano -rumbo- y una línea de máxima pendiente (ZL), perpendicular al diámetro, sobre la cual se mide la inclinación (α) del plano - que es el buzamiento -.

- Una perpendicular a la línea de máxima pendiente, levantada por el centro de la esfera, interceptará la semiesfera por debajo del horizonte en un punto (P) denominado polo. Además la línea de máxima pendiente del semiplano inclinado que sale del centro de la esfera intercepta la esfera en un punto K distante 90° del polo P de dicho semiplano. Este semiplano estructural (el que aparece achurado) se puede denotar con las coordenadas del polo (P) o las del punto K.

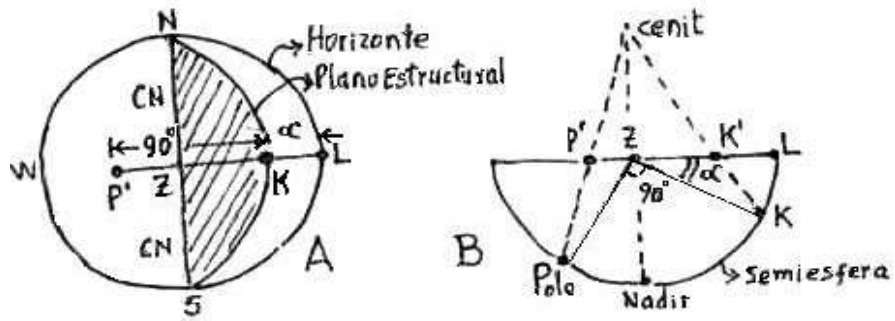


Figura 77. Plano estructural, horizonte y polo. A. Esfera cortada por un plano estructural y por el horizonte. B. Semiesfera con el polo (P) y un plano inclinado (K).

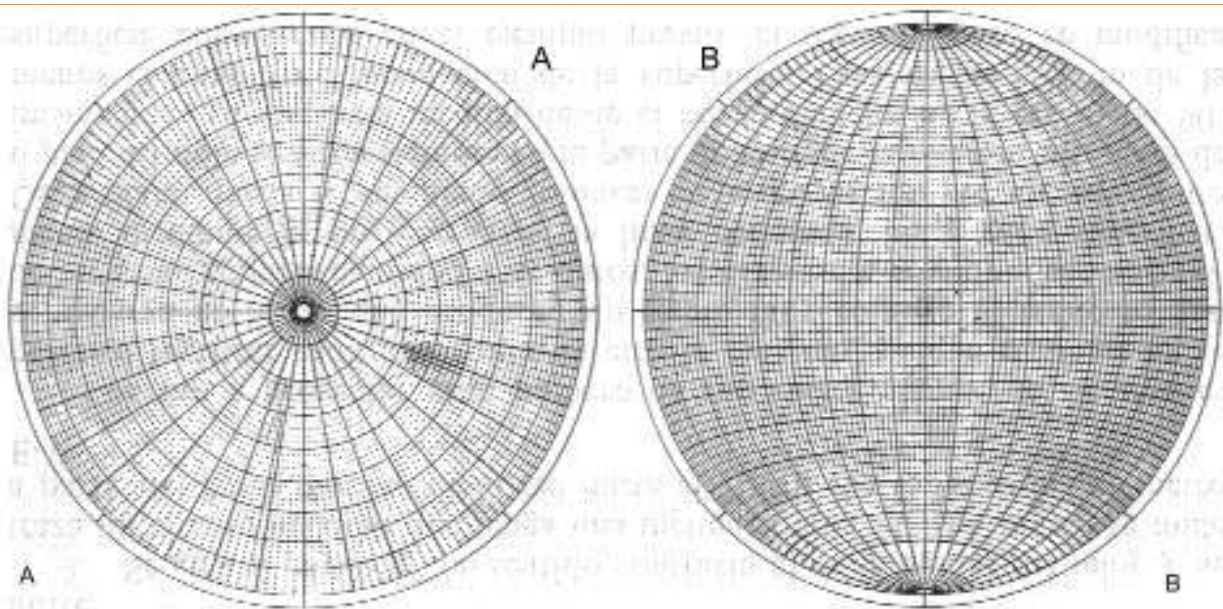


Figura 76. Tipos de proyecciones: A. Proyección polar. B. Proyección ecuatorial. Tomado de Jhon G. Ramsay, Plegamiento y Fracturamiento de Rocas.

Supóngase esa esfera cuyo centro se intercepta con el plano inclinado visto antes y dibujemos la semiesfera del nadir vista en dirección Cenit-Nadir, para que el horizonte se vea en verdadera magnitud (Fig. 78).

1° Se dibuja la curva de nivel CN con dirección $S \phi W$ o con $N \phi E$ que es lo mismo (diámetro).

2° Se traza la línea de máxima pendiente ZL perpendicular a la curva de nivel CN por el costado SE (radio), obteniendo el punto L sobre el perímetro de la circunferencia.

3° A partir de L (sobre la circunferencia) se marca el ángulo α en dirección al nadir Z (centro de la circunferencia) y se coloca el punto K (sobre el radio).

4° Se traza un arco de círculo máximo con cuerda CN (que es un diámetro), pasando por el punto K de coordenadas dadas (rumbo y buzamiento).

El siguiente esquema muestra el horizonte y los ángulos del rasgo, estructural. Se ve la curva de nivel con un rumbo $N \phi E$, y perpendicular a la curva de nivel se ve la recta ZL sobre la que se mide el buzamiento.

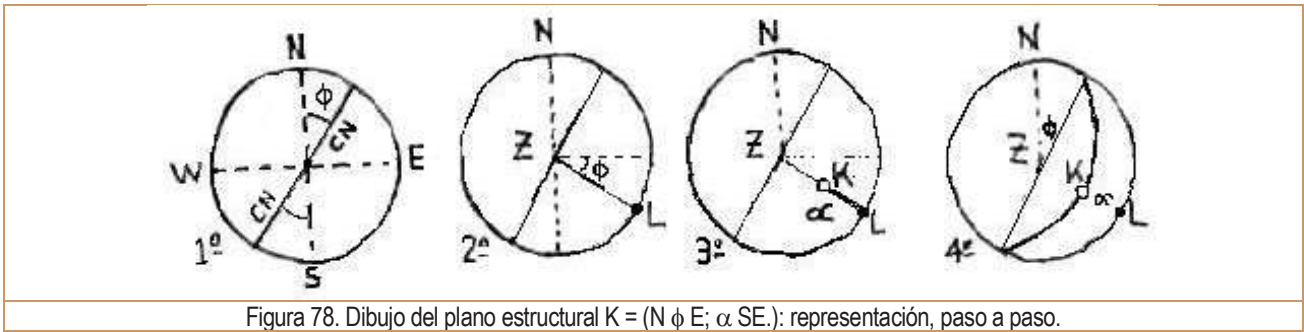


Figura 78. Dibujo del plano estructural $K = (N \phi E; \alpha SE.)$: representación, paso a paso.

En el ejemplo el plano buza α grados medidos desde el horizonte y en dirección SE. El valor de α se mide a partir de L y hacia Z, pues a L le corresponden 0° y a Z 90° . Posteriormente se coloca el punto K sobre ZL y se dibuja un arco que tenga por cuerda la curva de nivel CN que pasa por el punto K de coordenadas $N \phi E; \alpha SE.$

- Ejercicio. Se pide el punto K representativo de una falla, rasgo estructural con los siguientes parámetros: $K (N 60^\circ W; 30^\circ SW)$. Dibujar la intersección entre el plano de falla y la semiesfera sobre el diagrama estereométrico (Fig. 79).

Primero se dibuja la curva de nivel CN como un diámetro, según el rumbo (y contra rumbo dado): $N 60^\circ W$ (y $S 60^\circ E$). El observador está en el centro y bajo Z, mirando al SW, y la curva de nivel CN avanza a su izquierda y derecha.

Después se dibuja el radio ZL perpendicular a la curva de nivel CN de acuerdo a las dos letras del buzamiento; SW.

A continuación sobre ZL se marcan 30° medidos a partir de L, es decir, a partir del horizonte y en dirección al nadir Z.

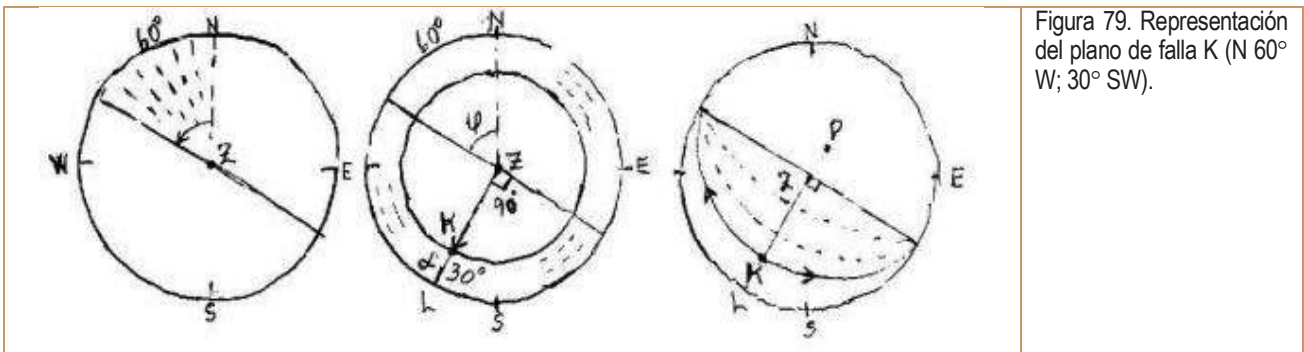


Figura 79. Representación del plano de falla $K (N 60^\circ W; 30^\circ SW)$.

Por último, utilizando como cuerda la curva de nivel CN, se traza un arco de círculo máximo que pase por K, el cual representa la intersección del plano estructural con la semiesfera del nadir.

12.4.3 Dirección de buzamiento y buzamiento. Se puede definir un plano estructural ya con el punto K o ya con su polo P. Sólo basta observar la línea ZK o la línea ZP y darle a cualquiera de ellas su acimut y buzamiento. Esta es una nomenclatura más expedita para los planos estructurales. El acimut es un ángulo que se mide a partir del norte, en la dirección de las manecillas del reloj y cuyo valor está, entre 0° y 360° sexagesimales. Se barre el ángulo hasta encontrar el punto K, y a éste punto se le mide el buzamiento sobre el radio que lo contiene, ángulo que varía de 0° a 90° , medidos del perímetro hacia el centro de la circunferencia. A 90° de K y en dirección al centro de la circunferencia, después del centro de la misma está el polo P, tal que el ángulo KZ es complementario con ZP.

En Fig. 80 se tienen varios ejemplos de planos estructurales donde las coordenadas de K, expresadas en la forma $K (\text{azimut de buzamiento} / \text{buzamiento})$, se dan en las gráficas, con su notación equivalente $K = (\text{rumbo de la curva de nivel; buzamiento de la línea de máxima pendiente})$.

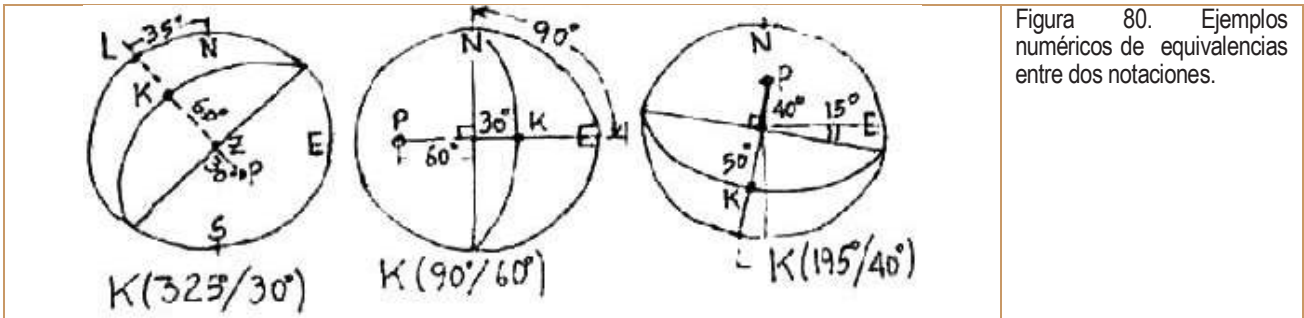


Figura 80. Ejemplos numéricos de equivalencias entre dos notaciones.

12.4.4 Aplicación al análisis de estabilidad cinemática. Uno de los problemas importantes en taludes es prever la posibilidad de falla de un talud, cuando la actitud de las discontinuidades es desfavorable. Se deberá tener en cuenta que muchas cuñas cinemáticamente inestables se sostienen gracias a la resistencia de la fricción que se ejerce entre las paredes adyacentes de las discontinuidades. Las fuerzas dinámicas inducidas por el tráfico en la vía o los sismos y las presiones por columnas de aguas infiltradas pueden romper el estado de equilibrio de las estructuras cinemáticamente inestables. Se dan ejercicios de taludes construidos en macizos rocosos con discontinuidades y las consideraciones generales del análisis.

- **Falla planar.** Se da una estratificación -línea continua- y un talud construido -línea punteada- de conformidad con las ilustraciones siguientes. Si la estratificación tiene los parámetros del plano K y el talud los del plano T, ¿hay estabilidad cinemática? (Fig. 81).

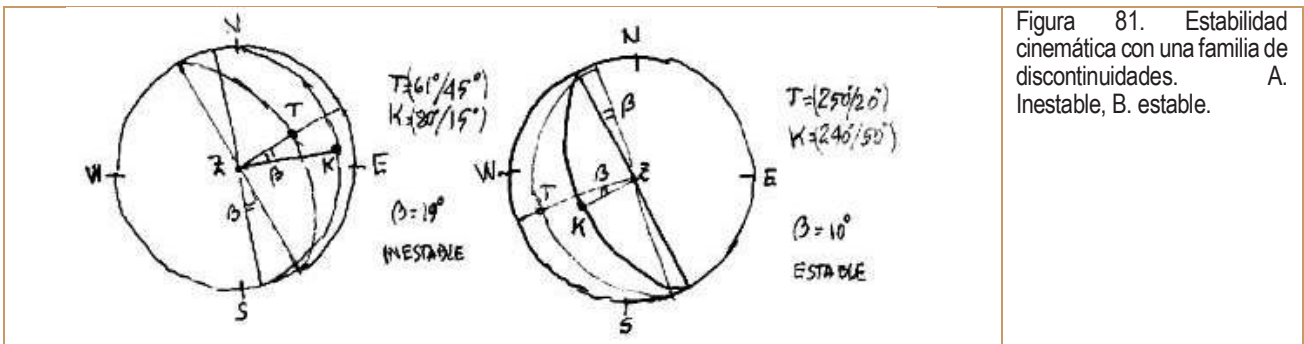


Figura 81. Estabilidad cinemática con una familia de discontinuidades. A. Inestable, B. estable.

En la figura 81 B hay estabilidad pero en la 80 A no, pues el buzamiento del talud no puede ser mayor que el de la estratificación.

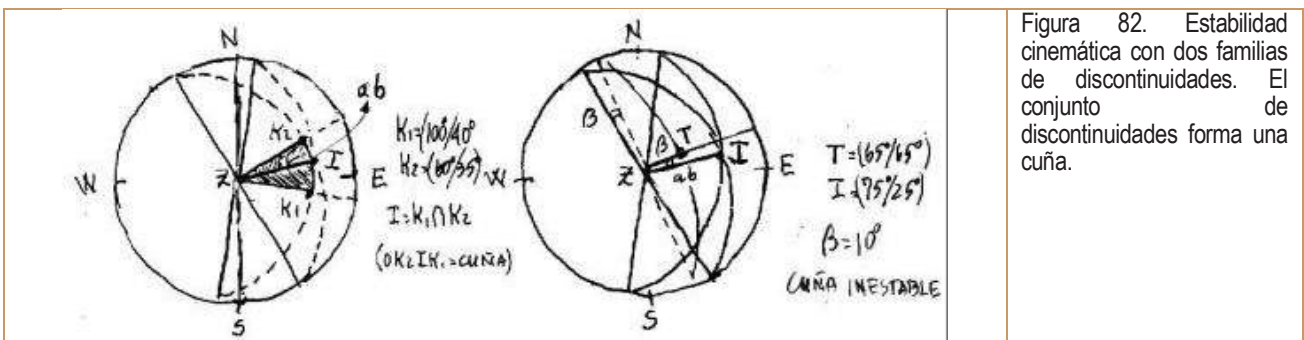


Figura 82. Estabilidad cinemática con dos familias de discontinuidades. El conjunto de discontinuidades forma una cuña.

- **Falla en cuña.** En un macizo hay dos familias de diaclasas asociadas a esfuerzos, K1 y K2, cuya intersección, en ab, genera cuñas como se ilustra a continuación. Si se hace un talud buzando en la dirección de la línea de cabeceo ab, ¿hay estabilidad cinemática? (fig. 82). El tercer sistema en el ejercicio no tiene persistencia y en consecuencia se atiende a los dos sistemas relevantes.

El buzamiento de la línea de cabeceo ab es más suave que el del talud T. La estabilidad cinemática depende del ángulo horizontal entre la línea de cabeceo ab y el valor del buzamiento del talud T; dicho ángulo debe superar 20° si queremos estabilidad cinemática. En el ejemplo no existe estabilidad por la poca inclinación de la línea de cabeceo y el estrecho ángulo entre ésta línea y el buzamiento del talud.

12.5- CASO PLANALTO: ¿CIENCIA Y CONSERVACIÓN O ACTIVIDAD EXTRACTIVA?

RESUMEN: Se señalan los inconvenientes geotécnicos y de riesgo y la incompatibilidad de la actividad minera propuesta con el actual uso del suelo: los aspectos que se tratarán se relacionan con la pérdida de los suelos volcánicos de cobertura como recurso excepcional no renovable, con el cambio desfavorable en las condiciones de estabilidad de las frágiles laderas cuyo equilibrio es inestable. Se anuncia la amenaza severa y traumática sobre un ecosistema de interés ecológico y ambiental, preservado durante 60 años en este escenario del medio tropical andino, a causa de la eventual contaminación severa del medio ambiente local en caso de introducir las prácticas mineras, como también la incompatibilidad de la propuesta con el actual uso del suelo en el sector destinado a la investigación, cuya valoración y características ambientales difieren y antagonizan con las de un eventual proceso industrial de carácter extractivo.

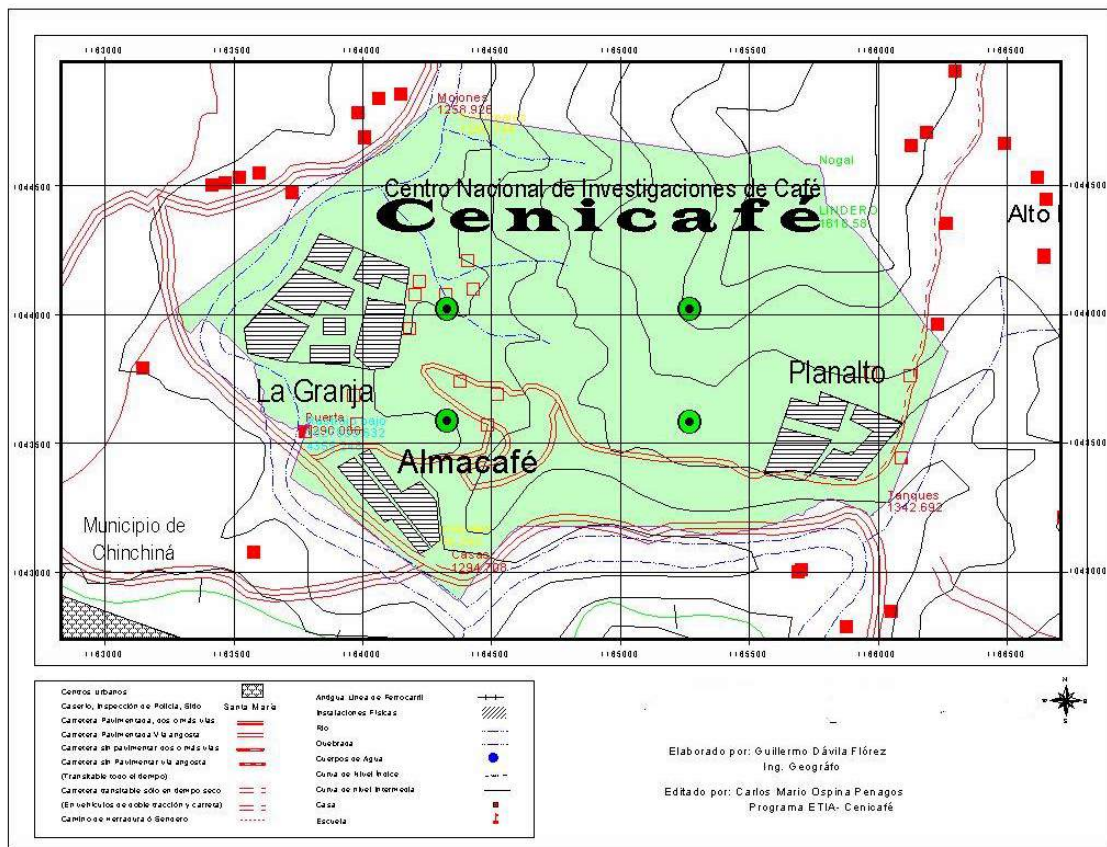
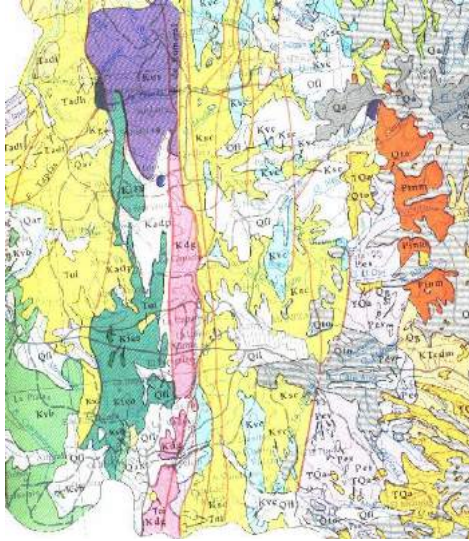


Imagen 64. Mapa topográfico del terreno de Cenicafé. Las curvas de nivel van de 50 en 50 m y el dibujo se apoya sobre una retícula de 250 por 250 m². Las construcciones van en color gris y la actividad minera presumiblemente se concentraría en el sector N-E del lote, donde emerge el macizo rocoso. Fuente Cenicafé.

“La Actividad Minera Solicitada en Planalto es Incompatible e Inconveniente con el Medio Ambiente que Demanda la Comunidad Investigativa de Cenicafé”: GDE

PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA: Atendiendo la convocatoria del 30 de octubre de 2001, se ha inscrito esta ponencia preparada como contribución del Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, de la Universidad Nacional Sede Manizales, para la Audiencia Pública que se celebrará el viernes 14 de diciembre de 2001 en el Auditorio de la Universidad Autónoma de Manizales, por convocatoria de Corpocaldas.

Para extraer materiales de cantera, se acometen actividades de prospección, montaje y explotación, sobre los flancos de los valles y crestas de montañas. Durante la explotación, resultan rocas duras y compactas o en ocasiones agrietadas. La economía de la



explotación propende por los macizos cuya estabilidad está más comprometida, dado que requieren menor carga de explosivos y horas de taladro (percusor o de rotación). Con la modificación del paisaje, cambia la temperatura del lugar y aumenta la escorrentía, por lo que la erosión se intensifica. Además, el ruido, el polvo y las vibraciones aparecen, como fruto de la explotación y de los equipos pesados desplazándose por nuevas rutas para movilizar pesadas cargas de productos útiles y de estériles, con destinos diferentes.

OBJETO: El propósito de esta es objetar la solicitud hecha por INGEOCOM Ltda, quien busca obtener la licencia ambiental para proceder a la explotación de la cantera a cielo abierto de roca anfibolita en Planalto, sobre terrenos de Federacafé-Cenicafé, por considerar que la actividad minera extractiva que se persigue por el solicitante, es innecesaria, inconveniente, perjudicial e incompatible con el medio ambiente actual, a causa de la naturaleza del lugar, por el estado del ecosistema y el actual uso y manejo del suelo propiedad de Cenicafé.

ASPECTOS GEOTÉCNICOS: El área que ocupa Cenicafé, de 0,7Km² cuadrados, es un terreno de forma casi elíptica, de unos 1200 m de en el sentido E-W por 700 m en la dirección N-S. Los desniveles del terreno casi alcanzan los 360 m, pues varían desde los 1258.9 hasta 1618.7 msnm. Las pendientes mayores llegan fácilmente al 60%, según se desprende del mapa topográfico, donde la retícula es de 250 por 250 m² y las curvas de nivel tienen 50 m de intervalo. Ver en la Fig #1, el mapa levantado por Guillermo Dávila F. para el cual la escala gráfica tiene validez en la retícula y la información restante es de gran utilidad para inferir la ocupación del terreno por parte de Cenicafé.

Las rocas de los niveles inferiores, que van con el río Chinchiná, son depósitos cuaternarios de flujos de lodo volcánico, (Qfl); esto es, materiales recientes compuestos principalmente por fragmentos de roca traídos desde la cuenca alta del río Chinchiná y sub-cuenca del Rioclaro, por los deshielos ocurridos durante eventos eruptivos de los volcanes más septentrionales de la Cordillera Central.

Y las rocas de la zona alta y montañosa, localizada y desarrollada al costado NW, pertenecen a un macizo rocoso de naturaleza ígnea y básica, asociado al stock diorítico gabroide de Chinchiná–Santa Rosa, (Kdg). Se trata acá de rocas del cretácico, constituidas por minerales alterables, que localmente pueden presentar metamorfismo, dando como resultado anfibolitas. Véase en la Fig.#2 un fragmento del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Caldas, según Ingeominas 1990. Obsérvese que tales rocas, motivo de esta solicitud, se extienden sobre un lábil corredor que supera la centena de kilómetros cuadrados, hacia el norte y hacia el sur de Chinchiná. Estas se explotan en la cantera localizada al frente y del otro lado del río, por el costado sur de Cenicafé.

Los materiales de cobertura, sobre los cuales se desarrollan los suelos que están arriba de la cota 1325 m, son por extensión andosoles, es decir suelos formados sobre cenizas volcánicas. Para Alfonso Grisales, en la tabla #4 de su libro Suelos de la Zona Cafetera (Ed. Fondo Cultural Cafetero, 1977) los suelos aludidos pertenecen a la unidad Chinchiná, cuyas principales características agrológicas permiten afirmar que se trata de suelos finos y coherentes, con buena retención de la humedad, ligeramente evolucionados, resistentes a la erosión, con presencia de krotovinas (esferas construidas por insectos) y sin limitaciones en su uso y manejo agrológico.

Imagen 65. Mapa geológico regional: al sur oeste queda Chinchiná. El ancho del mapa es de unos 38 km. Las rocas a explotar, son las de la franja roja que transcurre N-S y tienen código Kdg. Cenicafé queda en la mancha aislada de esa franja a X= 1/3 y Y=1/5 del extremo inferior izquierdo. Fuente: Ingeominas Pero lo importante es que tales suelos, los de cobertura en este lugar, son un recurso no renovable dado que la sinterización y geometría de las tefras que lo originan (piroclastos estratificados y no consolidados de ambiente subaéreo), se destruyen con el remoldeo requerido para extraer la roca que subyace, la misma que considera el solicitante como asunto de su interés minero.

CONSIDERACIONES SOBRE LOS RIESGOS: De otro lado, si bien este suelo por su naturaleza es insustituible y no recuperable, tampoco lo son sus propiedades físicas; suelo que ligado a la cobertura vegetal responde por el funcionamiento hidro-geotécnico del lugar: la estabilidad de las laderas y de los taludes depende de la geometría del terreno, de los materiales del subsuelo y del agua presente en el terreno. Además, las laderas, a diferencia de los taludes, son las cuestras naturales, que en el trópico mantienen un frágil equilibrio susceptible de romperse con la intervención antrópica. La lección que ha dejado el Sismo del 99 en Pijao, Quindío, al quedar los cafetales en pie, pero las vías cerradas por derrumbes, es que los taludes construidos a partir de las frágiles pero estables laderas, cambiaron desfavorablemente hacia la inestabilidad, por lo que fallaron las cuestras de las montañas donde se hicieron vías. Esto es, las laderas están en un equilibrio límite que les permite soportar los eventos naturales más intensos y propios del trópico andino, pero nunca los taludes que son obra de la acción antrópica.



Imagen 66.. El Anuario Meteorológico Cafetero, publicación periódica de Cenicafé y evidencia del trabajo científico desarrollado en el lugar. La portada ilustra la vida típica del ecosistema que se protege y permite reflexionar sobre los inconvenientes para las actividades intelectuales y los posibles efectos sobre los equipos de precisión que demanda la investigación, en caso de admitirse la actividad minera en Planalto.

El estado del macizo rocoso vecino al lugar que nos ocupa, con sus laderas aún no modeladas bajo un bosque tropical premontano y muy húmedo, que le sirve de cobertura, garantiza el funcionamiento regulado de las aguas superficiales y subterráneas, la estabilidad natural de los suelos y el soporte de los elementos de base del ecosistema para la biota. Si se introducen las prácticas mineras solicitadas, se cambia la cobertura vegetal, se modifica la topografía del lugar, se destruye un suelo como recurso no renovable y se modifican las condiciones de los factores de equilibrio de la ladera y la biota existente. Esto es, cambia el régimen hidrológico y se alteran los esfuerzos en la masa de suelo y roca, y se reduce a niveles sub-críticos el factor de seguridad de la montaña al destruir las laderas y construir taludes, se destruyen la fauna y la flora existentes y preservadas por muchos años.

Ante el surgimiento de esta amenaza, es el ecosistema el primer elemento amenazado, pero el perjuicio por las consecuencias de la explotación continúa y pasa por los recipientes y entendidos de las maravillas del lugar: ruidos mecánicos y de volquetas, vibraciones de maquinaria y equipo minero, polvo y pantano por partículas de suelo y roca, paisaje funesto de la montaña desolada y guillotizada, reemplazarán el aire fresco, el canto de los grillos y las aves, el murmullo del viento agitando los árboles del bosque, y la extensa gama de verdes que transita desde los tonos azulados a los amarillentos para anunciar la vida protegida de ese rincón prestado del trópico andino.

INCOMPATIBILIDAD DE USOS DEL SUELO: Dice Pierre George en su libro *El Medio Ambiente* (Ed. Orbis S.A. 1972) que "El suelo urbano e industrial está dividido en dos partes: una, dedicada al ejercicio de las actividades industriales y paraindustriales: producción, reservas, tránsito y transporte; la otra, destinada a residencia. En el primer caso el suelo es asiento de instalaciones técnicas más o menos concentradas, con un valor económico de servicio. En el segundo caso, actúa como decorado. Mientras que por un lado se le aprecia en función de sus comodidades respondiendo a necesidades técnicas, por otro se esperan de él unas cualidades estéticas, una misión de <condicionamiento> natural de la vida vegetativa y de los ocios de las poblaciones urbanas". Aquí agregaría a lo último,

ocios y algunos oficios propios de las colectividades humanas, como lo es la preservación de un ecosistema y la investigación de un importante renglón de la economía, como es el caso que nos ocupa. Las contradicciones entre lo que se espera de las dos formas de utilización implican una incompatibilidad que a menudo suele manifestarse posteriormente. Aquí, el suelo industrial es la capa de un subsuelo minero, cuya utilización asocia los efectos de la explotación subterránea a los de la explotación de superficie. Así, la ocupación del suelo industrial bloquea a menudo grandes superficies, pues debido a múltiples razones, la industria y sus servicios necesitan extensos espacios, en los cuales los talleres, depósitos, máquinas, almacenes de materiales y particulares sistemas y medios de transporte, constituyen zonas de aspecto ingrato que crean un paisaje repulsivo. Esta clase de ocupación engendra incomodidades de vecindad, y por lo tanto perjuicios.

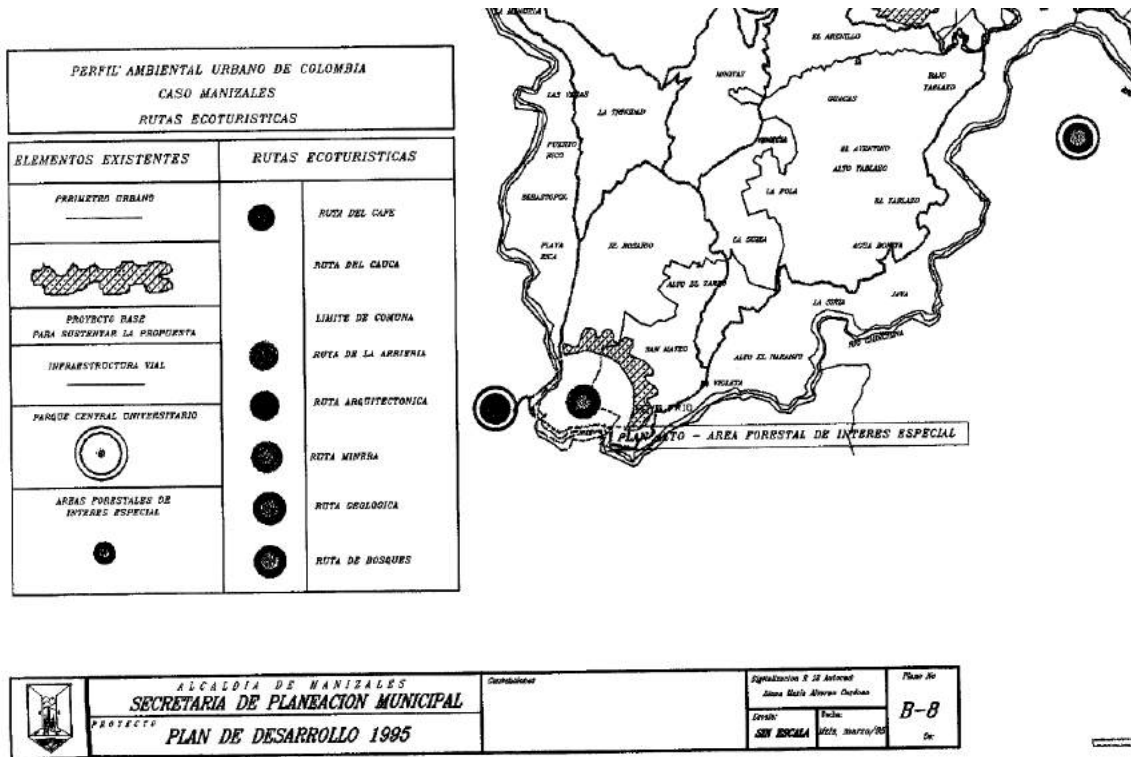


Imagen 67. Planalto, Area Forestal de Interés Especial, según se consigna en el letrero de este fragmento gráfico tomado del plano "B-8 : Rutas Ecoturísticas", publicado en el documento del Plan de Desarrollo 1995-1997, Manizales, Calidad Siglo XXI, Acuerdo 107 de Mayo 30 de 1995.

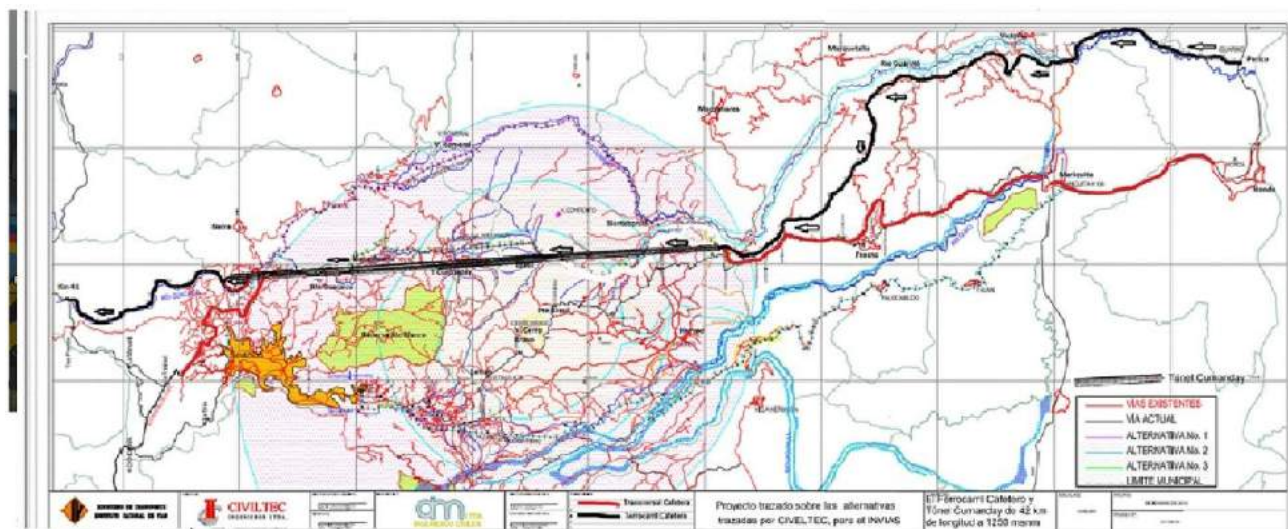
La apreciación del medio ambiente, desde la óptica de su ocupación, depende de la calidad ambiental, de la forma de utilizar los espacios y de la densidad de ocupación. Ahora, si las zonas industriales valen por su posición estratégica respecto a los medios de transporte(ferrocarril, puerto, aeropuerto y autopista) o a las ventajas del mercado (proveedores y consumidores), por la contaminación típica de dichas zonas con aceites derramados, ruidos, vibraciones), las actividades que albergan, no resultan compatibles con las condiciones necesarias para permitir otras funciones propias de zonas residenciales o de zonas de servicios (hotelera, hospitalaria, educativa, investigativa, de recreación, etc.).

EPÍLOGO: En el caso que nos ocupa, la zona demandada por la comunidad académica para la actividad investigativa de Cenicafé, demanda un medio ambiente valorado por su función estética y por su nivel de equipamiento. Aquí la calidad de alojamiento se percibe no solo en términos de disposición, de comodidades interiores y de aislamiento, sino también en función de su <medio ambiente> en el sentido etimológico y restringido de la palabra; es decir, del cotidiano espacio visual y usual que lo rodea. Cuando el marco inmediato de una colectividad se debate entre la posibilidad de un horizonte abierto y el estar sumergido en la intimidad de la actividad vecina, se puede apreciar su naturaleza en función de su neutralidad o de sus agresiones. Ese marco inmediato, en consecuencia, podrá constituirse en una prolongación del hábitat o, contrariamente, en un símbolo de la esclavitud social o humana, al sacrificar sus extensiones para albergar unas actividades ocasionales e incompatibles, que cuentan con mejores y diferentes alternativas, y sobre todo con la posibilidad de evitar consecuencias irreversibles.

BIBLIOGRAFÍA:

Suelos de la Zona Cafetera, clasificación y uso, Alfonso Grisales García. Ed. Fondo Cultural Cafetero, Medellín, 1977.
 Rock Slope Engineering, Evert Hoek and John Bray. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1977.
 La Reserva de Planalto, Síntesis de referencias de estudios. Cenicafé, Manizales, 2001.

12.6. UN TREN ANDINO PARA LA HIDROVÍA DEL MAGDALENA



Ferrocarril Cafetero. Fuentes: Red Férrea, en Geotren.es; Máquina, en La República; Trazado de rutas, en CIVILTEC

Imagen 72. Corredor Bimodal Cafetero, soportado en el Túnel Cumanday de 42 km y 1250 msnm operando para tren y ferrovía, sobre el trazado de Civiltec Ingenieros Ltda, para el Invías (2013).

Si el modo férreo puede ofrecer fletes tres a cuatro veces inferiores a los de la tractomula y el fluvial seis veces menores, en lugar de poner a competir tren, carretera y río a lo largo del Magdalena, debería extenderse el Corredor Férreo del Cauca, en primer lugar, hasta Urabá y en segundo lugar hasta La Dorada. Respecto a Cartagena, Urabá reduce la distancia al mar 40% para Medellín y 30% para el Eje Cafetero.

A la Dorada deberían llegar trenes por tres puntos cardinales. Uno de ellos por el poniente, denominado el Ferrocarril Cafetero, vía de 150 km de extensión que transitaría entre El Km 41 y La Dorada articulando el Corredor Férreo del río Cauca con la Hidrovía del Magdalena. El Proyecto incluye el Túnel Cumanday de 42 km a 1250 msnm, para salvar la Cordillera Central perforando rocas graníticas con auto-soporte, por el norte de Cerro Bravo. Ahora, dada la longitud del tunelado, los carros deben hacer uso de la ferrovía para pasar, aprovechando que los túneles ferroviarios que no tienen que ser dobles pueden triplicar en longitud los túneles carreteros. Con esta solución, la de un tunelado más largo, no habrá que exceder el 3% en la pendiente de la ferrovía, aunque la propuesta debe contemplar locomotoras eléctricas obteniéndose mayor eficiencia en el tren. El túnel que sería de sección simple, e iniciaría en el Guacaica aguas abajo de Maracas y al norte de La Linda a 1250 msnm, con salida en el Guarino sobre los 1250 msnm a la altura de Manzanares y Petaqueros, tendría una longitud de 42 km, mientras la línea férrea entre el km 41 y Purnio no excedería los 130 km.

Las obras se pagarían con los beneficios de 15 mil a 30 mil toneladas diarias del carbón andino exportándose por el Pacífico al Asia, gracias a que el medio férreo ofrece fletes inferiores a los de la tractomula. La capacidad del Magdalena estimada en 500 Millones de toneladas anuales por Hidrochina, equivale a 150 trenes diarios de 10 mil toneladas, cada uno con 100 vagones de 100 toneladas por vagón: sin los trenes, la Hidrovía no tendría impactos relevantes para el país.

De forma aproximada, el costo por Kilómetro de una línea férrea, varía entre U\$ 2,1 y U\$ 1,9 millones para una vía nueva, según sea en trocha estándar o angosta; o entre U\$ 550 y U\$ 350 mil, según se trate de su ampliación o rehabilitación. Y el costo y rendimiento de un túnel con sección transversal de 110 m² y por kilómetro, varían entre U\$ 25 y U\$ 45 millones, y de uno a 2 años, según se trate de túneles en rocas con o sin auto-soporte.

El carbón andino exportado a la Cuenca del Pacífico, incrementaría la producción actual entre cinco y diez millones de toneladas por año adicionales, si con precios remunerativos se logra industrializar su extracción. En 2014, la producción nacional superó los 84 millones de toneladas, 93% de ella concentrada en La Guajira y Cesar donde la explotación es a gran escala, y 7% en el interior donde se destacaron los distritos carboníferos de Santander, Cundinamarca y Boyacá, y en menor grado Antioquia; todos estos con una minería de corte artesanal.

En Colombia, donde la carga transportada que va por carretera es ahora del 27% si se incluye el carbón, en 2013 se movilizó un total de 183 millones de toneladas, incluyendo 6,1 millones de contenedores de 20 y 40 pies. Y para tranquilidad de citado sector automotor, esto: con una reducción dada en el costo del transporte como la que se advierte, las exportaciones en su conjunto podrían crecer unas tres veces dicha proporción, de conformidad con lo planteado en el estudio "Destrabando las arterias: El impacto de los costos de transporte en el comercio de América Latina y el Caribe", BID (2008).

La imagen de portada, muestra la ruta del Ferrocarril Cafetero en línea negra y la de la Transversal Cafetera en color rojo, sobre los trazados para las alternativas de la nueva carretera al Magdalena desarrollados por Civiltec para del Invías, en 2013. Evidentemente, la pendiente del tren idealmente no debería pasar del tres por ciento, y nunca del cinco por ciento ya que en el segundo rango la cantidad de vagones tirados cae a la mitad.

De ahí que de descartarse la carretera para un sistema bimodal con un túnelado corto del orden de 17 km a 2200 msnm (p.e. Túnel carretero de San Gotardo de un tubo con 17 km y Túnel de Laerdalen doble tubo con 24,5 km), y optarse sólo por el paso subterráneo en tubo sencillo para el tren, dado que el túnel ferroviario puede ser hasta tres veces más largo (p.e. Túneles Seikan de 53,8 km y Eurotúnel con 50,5 km), al suavizarse la pendiente con el túnel de 42 km a 1250 m de altitud, en lugar del proyecto bimodal se podría tener un ferrocarril con ferrovía en un trazado mucho más viable y un desempeño más eficiente.
 Presentación UN-SMP para el Módulo de Economía del Transporte U.N. – Manizales, 4-12-2015.

Lecturas complementarias

Compactación de suelos.

Compactadores de presión estática y de vibración, Compactación por impacto. Métodos de compactación. Suelos no cohesivos. Suelos arenosos, limosos, arcillosos. Curva de Compactación. Saturación.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap14.pdf>

Consolidación de suelos.

Principio de esfuerzo efectivo y esfuerzo neutro, Consolidación de suelos, Evaluación de asentamientos, Coeficiente de consolidación, Índices de compresión y recompresión del suelo, Carga de preconsolidación, Teoría de la consolidación, Grado de consolidación, Velocidad de consolidación, Potencial de expansión del suelo. Ver en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/consolidaciondesuelos.pdf>

Triaxial y envolvente de falla.

Presentación del equipo de ensayo, Ensayo triaxial y corte, Ecuaciones paramétricas y Ejercicios teóricos.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap13.pdf>

Pacífico Colombiano.

Entre las estrategias para acceder a la cuenca del Pacífico, Colombia requiere: 1- extender la red férrea del Corredor del río Cauca, para conectar a Buenaventura con Urabá, estableciendo un corredor logístico desde Antioquia hasta el Valle del Cauca, para el movimiento de carga. 2- Establecer un paso interoceánico, entre Urabá y Cupica aprovechando la vecindad de nuestros mares, mediante el Ferrocarril Verde complementado con la hidrovía del Atrato cuya capacidad estaría entre 50 y 80 trenes tipo Cerrejón por día. Ambos proyectos: corredor logístico y paso interoceánico, se financiarían en gran parte con el Carbón Andino.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56406/pacificocolombiano.pdf>

Nuevo Túnel Cumanday, bimodal y competitivo.

Con el Ferrocarril Cafetero, cruzando la Cordillera Central por las granodioritas vecinas a Cerro Bravo, y con él la Transversal Cafetera que complementaría el paso por La Línea haciendo uso del nuevo Túnel Cumanday, el costo de mover un contenedor desde Bogotá hasta nuestros puertos utilizando los trenes en lugar del modo carretero, se reduciría unas 3 veces, con lo cual el potencial exportador colombiano crecería unas 9 veces. La viabilidad del proyecto parte del efecto multiplicador de la reducción en los fletes.

Ver en: <https://www.calameo.com/read/00230445301f4171d69ec>

...

TEMAS DE MANIZALES

<p><i>Adaptación al cambio climático para Manizales.</i> <i>Área metropolitana de Manizales.</i> <i>Cambio climático y sustentabilidad del territorio.</i> <i>Centro Histórico de Manizales.</i> <i>Clima andino y problemática ambiental.</i> <i>Conflicto socioambiental en la reserva de Río Blanco.</i> <i>Daño a reserva forestal que protege a Manizales.</i> <i>Ecorregión Cafetera y Bioturismo.</i> <i>Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.</i> <i>El Estado y la función del suelo urbano.</i> <i>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</i> <i>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</i> <i>El modelo de ocupación urbano – territorial.</i></p>	<p><i>Gestión del Riesgo por Sismos, Volcanes y Laderas.</i> <i>La Ciudad Región Pereira – Manizales.</i> <i>La encrucijada ambiental de Manizales.</i> <i>La U.N. en Manizales.</i> <i>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.</i> <i>Libreto cafetero y agenda de ciudad.</i> <i>Los guetos urbanos o la ciudad amable.</i> <i>Manizales, ciudad de laderas.</i> <i>Manizales, ¿ciudad del agua?</i> <i>Manizales, cuidad de los ecoparques</i> <i>Manizales: El futuro de la ciudad.</i> <i>Manizales, ¿entrando a la era del conocimiento?</i> <i>Manizales: Foro del Agua 2019.</i> <i>Manizales: un diálogo con su territorio.</i> <i>Más espacio y oportunidades para el ciudadano.</i></p>	<p><i>Movilidad y modelo urbano.</i> <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena.</i> <i>Perfil ambiental de Manizales.</i> <i>Plusvalía urbana y POT Manizales</i> <i>Reflexiones sobre el POT de Manizales.</i> <i>Revolución urbana, desafío para el Eje Cafetero.</i> <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i> <i>Río Blanco: el legado de Conrado Gómez Gómez.</i> <i>Ríos urbanos para Manizales.</i> <i>Un TIM verde para el POT.</i> <i>Un tren andino para la hidrovía del Magdalena.</i> <i>Una agenda pública para Manizales.</i> <i>Una visión sistémica del Aeropuerto del Café.</i> <i>Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.</i></p>
---	--	---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Amero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos "verdes"*

Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

...



Serranía de la Macarena., Fotos Manobi Colombia-autentica.

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 13

ROCAS METAMORFICAS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Metamorfismo es el cambio de una clase coherente de roca, en otra, por debajo de la zona de intemperismo y por encima de la zona de fusión. Esos cambios dan el estado sólido como consecuencia de intensos cambios de presión, temperatura y ambiente químico; los cambios están asociados a las fuerzas que pliegan, fallan capas, inyectan magma y elevan o deprimen masas de roca.

Se restringe el metamorfismo a cambios de textura y composición de la roca porque existe recristalización (aumento de tamaño de granos minerales), metasomatismo (cambio de un mineral en otro) y neocrystalización (formación de nuevos minerales).

El nuevo arreglo atómico de la roca resultante es más compacto, ya que en la profundidad el material fluye debido a la presión. Igualmente, las rocas de grano fino son más susceptibles de sufrir las transformaciones señaladas porque los minerales ofrecen más área a los agentes químicos.

También las rocas formadas con minerales típicos de altas presiones y temperaturas se resisten a sufrir nuevos cambios a diferencia de otras, como las arcillas, que son más susceptibles por ser formadas prácticamente en la superficie.

El cuadro siguiente, muestra de una manera aproximada las rocas metamórficas con sus correspondientes rocas de base e intermedias. El orden en que se presenta cada serie de rocas alude al grado de metamorfismo en una escala creciente.

Cuadro 17. Rocas metamórficas.

ROCA BASE	ESTADO DE TRANSICIÓN	ROCA METAMÓRFICA
Shale (lutita)	Metasedimentos	pizarra, filita, esquisto, paragneis
Arenisca	Metasedimentos	cuarcita, hornfels
Caliza	Caliza cristalina	Mármol
Basalto	Metavulcanita	esquisto, anfibolita
Granito	Intrusivo gnésico	Ortogneis
Carbones	Metasedimentos grafitosos	esquistos grafitosos

13.1. AGENTES DEL METAMORFISMO

Los agentes del metamorfismo son tres: presión, temperatura y fluidos químicamente activos. La presión puede ser de confinamiento o de origen tectónico; la temperatura puede darse por gradiente geotérmico o por vecindad a cámaras magmáticas y los fluidos químicamente activos pueden estar asociados a procesos magmáticos. Al menos dos de los tres agentes señalados, por regla general, siempre están presentes.

13.1.1 Presión. El aumento de presión se debe al peso de las rocas suprayacentes o al desplazamiento de grandes masas rocosas unas con respecto a otras. En este caso, la presión fractura las rocas y la fricción es tan grande que éstas se funden parcialmente para producir la milonita, una roca dura tipo pedernal, en la cual los minerales se desintegran y recristalizan. Si la columna de rocas situada sobre un punto de la corteza es la presión litostática, la presión real a la que está sometida una roca depende también de la presión a la que se encuentran los fluidos contenidos en sus poros (presión de fluidos). En las zonas de la corteza donde existe distensión la presión disminuye, mientras que si existe compresión, aumenta. Se demandan presiones entre 2800 y 4200 atmósferas (kgf/cm^2) para que la roca fluya plásticamente; es decir, profundidades entre 9 y 12 km. El flujo plástico supone un movimiento intergranular con formación de planos de deslizamiento de la roca, pérdida de fluidos, reorientación de los granos minerales, aumento o crecimiento cristalino y cambios en la textura de las rocas.

13.1.2 Temperatura. Es el agente más importante; el gradiente geotérmico es de 33°C por km. de profundidad, aunque en algunas zonas como las fosas oceánicas, el valor es mucho menor y en las dorsales superior. Otra fuente es el calor asociado a cámaras magmáticas, aunque la aureola térmica es de pocos km. y de decenas de metros en el caso de diques y filones, porque la roca es mala conductora del calor. Los magmas superan los 1000°C y una intrusión grande puede elevar el calor de las rocas hasta 700°C para que el enfriamiento tarde más de 1 millón de años. La roca adyacente a la intrusión ígnea se divide en zonas según su grado de alteración.

Las arcillas compactadas, por ejemplo, pueden transformarse en pizarras hacia la parte externa; cerca de la intrusión habrá nuevos minerales como la andalucita y más cerca se formará una roca dura como la corneana.

La pizarra que se forma por metamorfismo de esas arcillas duras, bajo presiones bajas, tiene integrantes minerales más pequeños que los de su roca madre, a menudo inapreciables a simple vista. Erróneamente se supone que la exfoliación de la pizarra corresponde a las líneas de asentamiento de la arcilla primitiva: lo que refleja la exfoliación es la dirección de la presión a que fue sometida la arcilla durante su metamorfismo.

La temperatura en un área puede aumentar también localmente por procesos orogénicos.

La roca metamórfica más familiar es el mármol, producido por el metamorfismo de las calizas ricas en carbonato cálcico (calcita); cuando una intrusión ígnea cercana somete la calcita a alta temperatura, empieza por desprender CO_2 y se recombina después con este gas formando entonces cristales de calcita nuevos y transformándose en mármol. Los nuevos cristales tienen forma y tamaño de granos regulares y no una colección aleatoria de fragmentos como en la caliza original, lo que le confiere a la nueva roca solidez y textura uniforme.

13.1.3 Fluidos químicamente activos. Se explican por las soluciones hidrotermales de magma en enfriamiento; dichos residuos percolan la roca encajante para reaccionar con los minerales de la misma. Del intercambio iónico se da la recristalización, la neocrystalización y el metasomatismo, lo cual supone que la solución hidrotermal líquida o gaseosa (fluida) encuentre una roca porosa y permeable.

El metasomatismo, similar al metamorfismo térmico, a veces se asocia a veces con él. Al enfriarse una masa ígnea, desprende líquidos y gases calientes que pueden infiltrarse por las grietas y poros de la roca circundante. Los líquidos calientes pueden alterar esa roca mediante una combinación de calor y precipitación de los minerales disueltos. Muchos de los yacimientos de minerales metálicos más productivos proceden de filones originados por la metasomatosis.

13.2. TIPOS DE METAMORFISMO

13.2.1 Clasificación general. Por regla general se puede hablar de metamorfismo regional y de metamorfismo de contacto, que difiere no sólo por las condiciones alcanzadas en presión y temperatura, sino también por los procesos que lo originan.

- **Metamorfismo regional.** Se produce como consecuencia de procesos orogénicos, durante la formación de cordilleras de plegamiento a causa de la subducción o de la colisión continental. En este metamorfismo se incrementa la temperatura y la presión a la que se ven sometidas las rocas. Puesto que los minerales se desarrollan bajo presiones dirigidas en condiciones orogénicas, se ven obligados a crecer paralelamente entre sí y perpendiculares a estas presiones. Se origina así una foliación intensa en la roca (esquistosidad) simultánea con el metamorfismo, por lo que a estas rocas se les denomina en general esquistos.

- **Metamorfismo de contacto.** Se produce a causa de intrusiones ígneas que alcanzan zonas relativamente frías y superficiales de la corteza, las que se calientan conforme el magma se enfría. Es por tanto un metamorfismo de alta temperatura y baja presión que origina aureolas concéntricas en torno a la roca ígnea, cuya extensión depende del volumen de magma incluido. Son rocas típicas de este metamorfismo las corneanas y esquistos moteados, que se caracterizan por minerales que crecen al azar, al no estar sometidos a presiones dirigidas.

13.2.2 Clasificación detallada. Con mayor detalle, el metamorfismo, para otros autores, puede ser de cuatro tipos: de contacto, dinamometamorfismo, regional o general y ultrametamorfismo.

- **De contacto.** Se da sobre la roca encajante y dentro de la aureola de una cámara magmática, a pocos km... La temperatura es de 300 a 800°C y la presión varía entre 100 y 3000 atmósferas. Las rocas características son la piedra córnea, las pizarras nodulosas y las pizarras manchadas; los minerales tipo silicatos de Ca y Mg, y los materiales arrastrados y depositados de óxidos y sulfuros.

- **Dinamometamorfismo.** Metamorfismo cinético-mecánico o de dislocación, producto de gran presión lateral asociada a fuerzas tectónicas. La roca sufre transformaciones fundamentalmente mecánicas; como prototipo, la pizarra cristalina.

- **Metamorfismo regional o general.** Es el producto del hundimiento de la corteza a zonas profundas donde la presión y la temperatura explican todos los cambios esenciales en los minerales y en la estructura de la roca. Los escalones de metamorfismo regional, con sus productos, son:

- Epizona (piso alto). Cuarzita, granito pizarroso, granito milonitizado, filita y pizarras. La presión y temperatura son bajas.

- Mesozona (piso medio). Cuarzita, pizarras micáceas, mármol, anfibolita, eclogita. La presión y temperatura son moderadas (entre 700 y 900°C).

- Catazona (piso profundo). Ortogneis, paragneis, granulita, grafito, gneis de hornblenda. Las temperaturas están entre 1500 y 1600°C y hay fuerte presión.

- **Ultrametamorfismo.** Es el metamorfismo extremo por fuerte aumento de presión y temperatura. Los pisos son: anátesis, 17 a 75 km. de profundidad, con profundos cambios físicos en la roca; metátesis, los minerales claros se movilizan separándose de los oscuros para formar una roca bandeada; metablástesis, hay neocrystalización y recristalización, y granitización, transformación en roca granítica.

13.2.3 Metamorfismo progradante y retrometamorfismo.

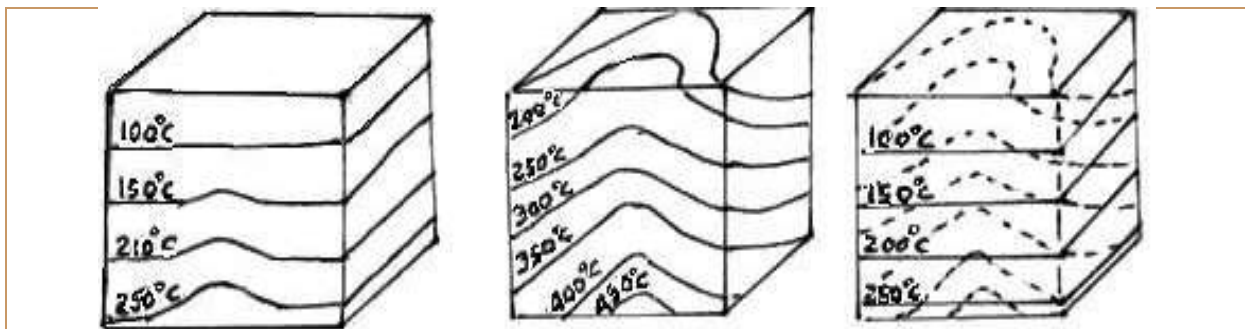


Figura 83. Metamorfismo progradante. Estados antes, durante y después del proceso.

- **Metamorfismo progradante.** Conforme en una región se produce el aumento progresivo de temperatura y/o presión, las áreas vecinas van siendo sucesivamente afectadas de tal manera que la zona de metamorfismo se expande formando un domo a partir del punto inicial (metamorfismo progradante).

En la fig. 83, cuando el metamorfismo cesa, la roca no se reestructura de nuevo. En continuo van las isoterma y en punteado las isógradas que marcan condiciones idénticas de metamorfismo después de caer la temperatura.

De esta manera, todas las rocas habrán sufrido un progresivo aumento de las condiciones hasta alcanzar un máximo llamado clímax metamórfico que es más intenso en el centro del domo que en la periferia, donde empieza cada vez a hacerse menos evidente. Así se dará lugar a una zonación metamórfica.

- **Retrometamorfismo.** Al ascender de nuevo las condiciones físicas, los minerales permanecen en estado metaestable por no tener energía suficiente para reorganizarse. Tan sólo si durante el descenso general sufren un pequeño aumento de temperatura, los minerales se reestructuran parcialmente (retrometamorfismo), sin que se lleguen a borrar la mineralogía o la textura que alcanzaron durante el clímax.

13.3. MINERALES DEL METAMORFISMO

Las condiciones de presión y temperatura que alcanza una roca y su composición química, determinan el tipo de minerales que se originan. Por tanto, las asociaciones minerales que existen en una roca metamórfica indican las condiciones físicas alcanzadas. Estos ambientes se dividen en zonas según las diferentes paragénesis (asociaciones) minerales presentes. Cada zona queda limitada por la aparición, desaparición o sustitución de uno o varios de ellos.

Los minerales del metamorfismo de bajo grado son: serpentina, talco, clorita y epidota; los de metamorfismo de grado medio son: kyanita, andalucita, estaurilita, biotita y hornblenda, y los de alto grado son: silimanita, forsterita, wollastonita y garnierita.

En el **metamorfismo regional**, con el incremento progresivo de la temperatura, se dan fenómenos de deshidratación y de descarbonatación (sí la roca es rica en carbonato). Tales procesos se ilustran así:

$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	$Al_4Si_{4-x}O_{10} + xSiO_2 + H_2O$
Caolinita	metacaolinita
$CaCO_3 + SiO_2$	$CaSiO_3 + CO_2$
calcita pedernal	wollastonita

Pero la wollastonita también se puede formar en el **metamorfismo de contacto** a las más altas temperaturas, así:

$CaCO_3 + SiO_2$	$CaSiO_3 + CO_2$
calcita cuarzo	wollastonita/

Para ilustrar la paragénesis de la roca, la reacción por la cual una caliza dolomítica con pedernal a condiciones metamórficas de bajo grado, forma talco, es la siguiente:

$3CaMg(CO_3)_2$	$+ 4SiO + H_2O$	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 +$	$3CaCO_3 + 3CO_2$
dolomita	pedernal	talco	calcita

La actinolita es un anfíbol que se presenta en cristales alargados o fibrosos. La andalucita es un silicato frecuente en contactos de granitos con pizarras arcillosas. El asbesto de fibras duras y rígidas es una serpentina de múltiples usos. La clorita es un filosilicato que se diferencia de las micas por inelástico. El granate es un nesosilicato cúbico y duro. La kyanita, silicato triclinico, con la andalucita y la sillimanita, constituyen un sistema polimorfo. La serpentina, es un filosilicato como la clorita, puede ser fibrosa u hojosa. El talco, es un filosilicato monoclinico de origen secundario gracias a la alteración de los ferromagnesianos.

13.4. FACIES DEL METAMORFISMO

Se denomina facies al conjunto de características mineralógicas, litológicas y fosilíferas que refleja el medio en el cual se formó la roca. Cada roca metamórfica se asocia a la facies en la cual se forma, sin importar su composición. La litofacies alude al conjunto de caracteres petrográficos de una facies y la biofacies al cúmulo de caracteres paleontológicos de aquella.

Las diferentes facies metamórficas caracterizan distintos tipos de metamorfismo. Así por ejemplo, la de los **esquistos azules** se origina por metamorfismo de baja temperatura en zonas de subducción; la de los **esquistos verdes, anfíbolitas y granulitas**, por metamorfismo regional de grado creciente, y la de las **comeanas**, por metamorfismo de contacto.

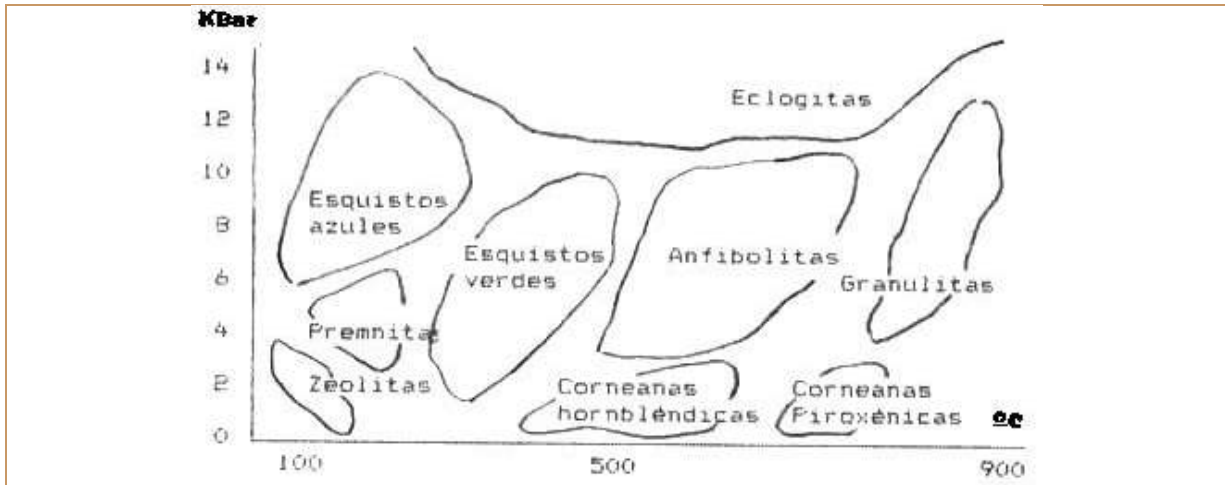


Figura 84. Esquema de Turner (1968): las facies metamórficas en relación con presión y temperatura.

Para el metamorfismo regional, del de grado alto al de grado bajo, las facies son:

De **anfibolita** con ambientes entre 450 a 180°C; de **anfibolita de epidota** con ambientes entre 250 a 450°C, y de **esquisto verde** con ambientes entre 150 a 250°C.

Pero una facies metamórfica no se define en función de un sólo mineral índice, sino por una asociación de conjuntos minerales.

La facies **zeolítica**, que representa el grado más bajo de metamorfismo, incluye zeolitas, clorita, moscovita y cuarzo. La de esquisto verde, la de más bajo grado en metamorfismo regional, puede incluir clorita, epidota, moscovita, albita y cuarzo. La facies de **anfibolita**, que prevalece en condiciones de metamorfismo medio a alto, comprende hornblenda, plagioclasa y almandita, es una facies que tiene lugar donde prevalecen las condiciones metamórficas de la estauroлита y la silimanita.

La facies de **esquisto azul**, representada por temperaturas bajas y alta presión, incluye lawsonita, jadeita, albita, glaucófana, moscovita y granate. La facies de **granulita**, que refleja las condiciones de máxima temperatura del metamorfismo regional, tiene como minerales característicos constituyentes, la plagioclasa, la hiperestena, el granate y el dióxido. La facies **eclogita**, representante de condiciones más profundas de metamorfismo, tiene como mineral índice granates ricos en piropero y onfacita y conjuntos corrientes en diatremas de kimberlita.

13.5. TEXTURA



Figura 85. Acerca de las fábricas texturales. 1 Granular densa homogénea e isotrópica. 2 Granular no densa e isotrópica. 3 Granular clasto-soportada heterogénea e isotrópica. 4 Granular matriz-soportada e isotrópica. 5 Laminar orientada y alotrópica (ortotrópica). 6 Fibrosa no orientada e isotrópica. 7. Fibrosa orientada y alotrópica (ortotrópica). 8. Laminar alotrópica. Curso de M. de Rocas. Álvaro Correa Arroyave. U. Nal de C.

Pero la textura alude, no sólo al tamaño, forma y orientación de los minerales, sino también a su arreglo. Existen texturas orientadas y no orientadas, densas y no densas; las no orientadas, cuando son densas, resultan entabadas.

Cuadro 18. Textura y fábrica del material rocoso.

ORIGEN	TEXTURA		FABRICA MINERAL					
			NO ORIENTADA			ORIENTADA		
	CLASE	GRANO	ENTRABADA	CEMENTADA	CONSO LIDADA	FOLIADA	CEMENTADA	CONSOLI DADA
IGNEO	Cristalina	Fino	Basalto					
		Grueso	Granito					
	Piroclástica	Fino		Toba				
		Grueso		Aglomerado				
METAMORFO	Cristalina	Fino	Hornfels			Pizarra		
		Grueso	Mármol			Gneis		
	Cataclástica	Fino	Milonita			Filonita		
		Grueso	Brecha			Protomilonita		
SEDIMENTAR	Grano-cristalina	Fino	Lidita					
		Grueso	Caliza oolítica					
	Clástica	Fino		Limolita calcárea	Arcillolita		Lutita Calcárea	Lutita arcillosa
		Grueso		Conglomerado calcáreo	Conglomerado arenoso		Lutita Cuarzosa	Lutita arenosa

J. Montero, A. J. González, G. Ángel. Caracterización del material rocoso, I Congreso Suramericano de Mecánica de rocas, 1982.

Las rocas tienen comportamiento isotrópico cuando las texturas son no orientadas - éste es el caso de las entrabadas - y comportamiento anisotrópico o alotrópico cuando tienen una o varias orientaciones, respectivamente.

13.6. TIPOS DE ROCAS METAMORFICAS

13.6.1 Pizarra y filita. Ambas asociadas a margas y lutitas; en la primera el grano es más fino y la foliación microscópica, en la segunda el grano es más grueso a causa del mayor metamorfismo y la foliación se hace visible en hojas grandes y delgadas. La fábrica mineral en ambas es entrabada y anisotrópica. La pizarra tiene color de gris a negro y puede también ser verdoso, amarillento, castaño y rojizo. La pizarrosidad característica puede ser o no paralela a los planos de las capas de las margas originales. Se encuentran cristaloblastos muy finos con fractura acicular y superficies sedosas reflectivas.

En el extremo meridional de la falla Santa Marta-Bucaramanga (La Floresta) hay filitas pizarrosas grafiticas oscuras con metalimolitas calcáreas. Además hay filitas limosas con meta-arenisca gris verdosa. Entre Manizales y Armenia, hay filitas cuarzosas con esquistos verdes grafiticos y cuarzo-gnéisicos, además de diabasas y calizas cristalinas (Grupo Cajamarca). Hay filitas cloríticas de tonalidades grises y verdes, con anfíbolitas y esquistos talcosos en la región Taganga entre el Rodadero y Punta Florín. En la región de la culebra hay pizarras que afloran en la carretera entre Bogotá y Cáqueza.

13.6.2 Esquisto. Puede provenir de rocas sedimentarias o ígneas como el basalto; posee metamorfismo de mayor grado que pizarras y filitas; según el material sea laminado o fibroso, variará su comportamiento; tiene mayor clivaje que los anteriores y menor que los gneises; pueden ser micaesquistos biotítico o moscovítico -los más importantes- y esquistos cuarzoso y calcáreo. Los más importantes, asociados a rocas ígneas ferromagnesianas, son los esquistos talcosos, clorítico, de hornblenda y anfíbolita. Los esquistos por regla general tienen una fábrica mineral entrabada y anisotrópica, con textura cristalina.

En la Serranía de Jarara, al sur de la falla Cuisa, se encuentran esquistos de composición variable (estauroilita, biotita y moscovita). Hay sedimentitas pelíticas, samíticas y calcáreas metamorfoseadas a facies de esquisto verde-anfíbolita baja en Santander del Norte. A lo largo de la falla Guaicáramo, y por el Este, hay esquistos cloríticos y sericíticos intercalados con filitas, pizarras y cuarcitas. En el graben del Cauca hay esquistos verdes y azules de magnitud variable y esquistos pelíticos y básicos. En la región de Génova y Barragán, esquistos lawsoníticos

y glaucofánicos. En la región Lisboa-Palestina (Caldas) hay esquistos cuarzosos, grafiticos, de color negro, con segregación de cuarzo lechoso y metamorfismo de la facies de esquistos verde, además de esquistos anfibolíticos de textura fina y anfibolitas granatíferas.

13.6.3 Anfibolita y serpentinita. Ambas asociadas a rocas básicas y ultrabásicas; la primera rica en hornblenda y plagioclasa con cierta foliación debido a la hornblenda y la segunda rica en silicatos de Magnesio, muestra tacto suave y jabonoso y es compacta. La serpentinita es el mineral derivado del metamorfismo a altas temperaturas de rocas ígneas como las dunitas y las peridotitas. La anfibolita no posee mica y muestra cristaloblastos orientados y aciculares, la serpentinita muestra cristaloblastos más finos y superficies estriadas y pulidas. Ambas rocas exhiben una textura cristalina en una fábrica mineral entabada y anisotrópica.

Anfibolitas escasas con hornblenda verde y microclina con textura enrejada, aparecen en la región central de la Serranía de la Macarena, e intercalaciones de anfibolita cloritizada en su región meridional. También hay anfibolitas con hornblenda y plagioclasa cálcica, fino-granulares oscuras y con foliación, al parecer de edad paleozoica, en la carretera Medellín-El Retiro. Hay masas protuberantes de serpentinitas de color gris verdoso a oliva pálido, estructuras de malla, ocasionalmente con granulaciones de magnetita, en el Cabo de la Vela próximo a la falla Cuisa. Hay metabasaltos del cretáceo inferior en fajas alargadas y orientadas, en la región de Yarumal.

13.6.4 Gneises. Rocas de metamorfismo de alto grado formadas a partir de rocas ígneas o sedimentarias, por lo que existen muchas variedades (gneis de plagioclasa-biotita, hornblendífero o de piroxe-granate, etc.). Si proviene de roca ígnea como granito o sienita, se denomina granítico o sienítico: el grano es grueso y el clivaje de roca; puede ser ortogneis, si se asocia a plutones, o paragneis si la roca base es sedimentaria o arcillosa. Aquí las bandas de cuarzo y feldespatos alternarán con minerales oscuros, fibrosos o laminares. Además de los cristaloblastos que conforman las bandas, la roca con una textura cristalina muestra mica diseminada y una fábrica mineral entabada anisotrópica.

Ejemplos de gneises existen desde el Guainía hasta el Amazonas, donde se encuentran gneises migmatíticos con biotita y silicatos de aluminio, gneises graníticos con anatexitas al norte y gneises moscovíticos y biotíticos con dos micas, metapelíticos y metasamíticos, al sur. En la Sierra Nevada hay gneis bandeado de hornblenda y plagioclasa con minerales accesorios euhedrales y zircón, redondeados. Hay gneises biotíticos en el río Ambeima, del Tolima. Hay gneises hornbléndicos y granodioríticos en el río Maní, de la región de San Lucas.

13.6.5 Mármol. Proviene de calizas y dolomías (los más escasos) por lo que el mineral dominante es calcita o dolomita; macroscópicamente no muestra foliación porque los granos tienen el mismo color y así la alineación no es visible, pero a la lupa muestra la exfoliación de la calcita, salvo si sus granos llegan a ser muy pequeños. El mármol puro, es blanco nieve; el negro, lo es por materia bituminosa; el verde, por hornblenda, clorita o talco; el rojo, por óxido de hierro. Esta roca se explica por metamorfismo regional o de contacto. Su textura es cristalina y la fábrica mineral es entabada isotrópica.

Hay mármoles asociados a rocas ultramáficas metamorfizadas en la región Gaira al norte de la falla de Oca y oeste de la falla Santa Marta. Hay mármoles en el terreno Garzón, entre las fallas Romeral y del Borde Llanero. También mármol gris oscuro en el terreno La Floresta, en el extremo sur de la falla Santa Marta-Bucaramanga. Entre La Ceja y Medellín y entre Medellín y Puerto Berrío, hay cuarcitas y mármoles. Hay esquistos con interposiciones de mármol y anfibolita en la baja Guajira.

13.6.6 Cuarcita y hornfels. Metamorfismo de cualquier grado en areniscas cuarzosas y en arcillas calcáreas o areniscas, respectivamente. La cuarcita presenta textura clásica, cementada, no foliada; si la del mármol es densa, la de la cuarcita es granular. La cuarcita a diferencia de la arenisca no es porosa y no rompe alrededor de los granos minerales, sino a través de ellos, pues éstos se encuentran entabados. Pura es blanca. Si la dureza del mármol es menor que la de la navaja, la de la cuarcita es mayor y raya el acero.

La hornfels, también llamada cornubianita, proviene del metamorfismo de contacto (termometamorfismo) y presenta textura entabada que se diferencia de la del mármol por ser de grano fino. Hay cuarcitas grisáceas en la Serranía de Carpintero de la alta Guajira. Hay cuarcitas y mármoles alternando con gneises, esquistos y filitas que han sido inyectados por el batolito antioqueño al núcleo de la Cordillera Central. En el camino Envigado-El Retiro hay cuarcitas y gneises asociados a metasedimentos marinos.

13.7. DISTRIBUCIÓN Y FACIES DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS EN COLOMBIA

En su trabajo titulado "Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas en Colombia", INGEOMINAS (2001) el Investigador colombiano Mario Maya Sánchez, quien recoge y complementa la valiosa información existente en la materia, señala que en el territorio nacional los efectos del metamorfismo han sido registrados, al menos cuatro veces en el Precámbrico (**Pe**), tres más en el Paleozoico (**Pz**), una vez en el Mesozoico (**Mz**), y un último evento en el Paleógeno (**Pg**).

Para la variable temporal: esta sería la notación:

Pe = Precámbrico;
 Pe4 = Mesoproterozoico;
 Pe1 = Paleoproterozoico;
 Pz = Paleozoico;
 Pz1 = Paleozoico temprano;
 Pz2, = Paleozoico medio;
 Pz3= Carbonífero superior;
 TR= Triásico
 K = Cretácico;
 KT= Cretácico temprano;
 Kt = Cretácico Tardío;
 Pg = Paleógeno (Terciario temprano);

Luego desarrolla una clasificación en “**unidades metamórficas**” para mostrar la distribución actual de dichas rocas, obteniendo seis áreas geográficas limitadas por grandes fallas, denotando la facies del metamorfismo, con los siguientes símbolos:

- C/PP: Facies Ceolita1 y Prehnita – Pumpellyta.
- AN: Facies Anfibolita.
- G: Facies Granulita.

Las seis áreas geográficas identificadas por el Investigador Maya, son:

- 1) Al oriente de la Falla Guaicáramo,
- 2) Entre las fallas Guaicáramo y Otú-Pericos,
- 3) Entre la Falla Otú-Pericos y la Falla Cauca-Almaguer (Romeral),
- 4) Al occidente de la Falla Romeral,
- 5) Entre las fallas Oca y Santa Marta - Bucaramanga
- 6) Al norte de la Falla de Oca.

Veamos las unidades, con la respectiva notación según la Facies metamórfica y Tiempo geológico asignado, información que se consigna en el mapa anexo.

Área al oriente de la Falla Guaicáramo

- **Región de la Guainía:** Unidades ANb(Pe1,Pe2,Pe4) ; PP/EV(Pe4)
- **Macizo de Garzón:** Unidades G/AN(Pe4)1 ; G/ANm(Pe4)1
- **Serranía de la Macarena y región suroriental del Nudo de los Pastos:** Unidad G/AN(Pe4)2

Entre las fallas Guaicáramo y Otú-Pericos,

- **Macizos de Santander y la Floresta:** Unidades ANb(Pe4,Pz1) ; AN/EV(Pe-Pz1) ; AN/EVbm(Pe-Pz1) ; EV(Pz1)1
- **Macizo de Quetame:** Unidad EV(Pz1)2
- **Borde Oriental de la Cordillera Central:** Unidades AN/G(Pe4) ; EV(Pz1)3 ;

Entre la Falla Otú-Pericos y la Falla Cauca-Almaguer (Romeral),

- **Cordillera Central:** Unidades G/ANm(Pe-Pz) ; ANm(Pe-Pz2) ; AN(Pe-K) ; ANb(Pz2,Pz3) ; EVb(Pz2,Pz3) ; EVm(Pz2-KT) ; AN/EV(Pz2) ; AN/EV(Pz-TR) ; AN/EVbm(Pz-KT) ; AN(Pz-TR) ; E/EAa(KT) ; C/PP(KT)

Al occidente de la Falla Romeral,

- **Suroccidente de la Cordillera Central, Cordillera Occidental:** Unidades C/PP/EV(Kt-Pg)1 ; C/PP/EV(Kt-Pg)2
- **Serranía del Baudó:** Unidad C/PP(Kt-Pg)

Entre las fallas Oca y Santa Marta - Bucaramanga

- **Cinturón de la Sierra Nevada:** Unidades G/ANm(Pe4)2 ; AN(Pz)
- **Cinturón de Sevilla:** Unidades AN(Pz3) ; AN(P)
- **Cinturón de Santa Marta:** Unidades AN(Kt,Pg) ; EVb(Kt,Pg)

Al norte de la Falla de Oca.

- **Sector al oriente de la Falla Simarua:** Unidades ANm(Pz,Pg) ; PP(Kt)
- **Sector al occidente de la Falla Simarua:** Unidad EVb(Kt-Pg)

A continuación, el mapa de I NGEOMINAS con las seis áreas propuestas por Maya Sánchez.

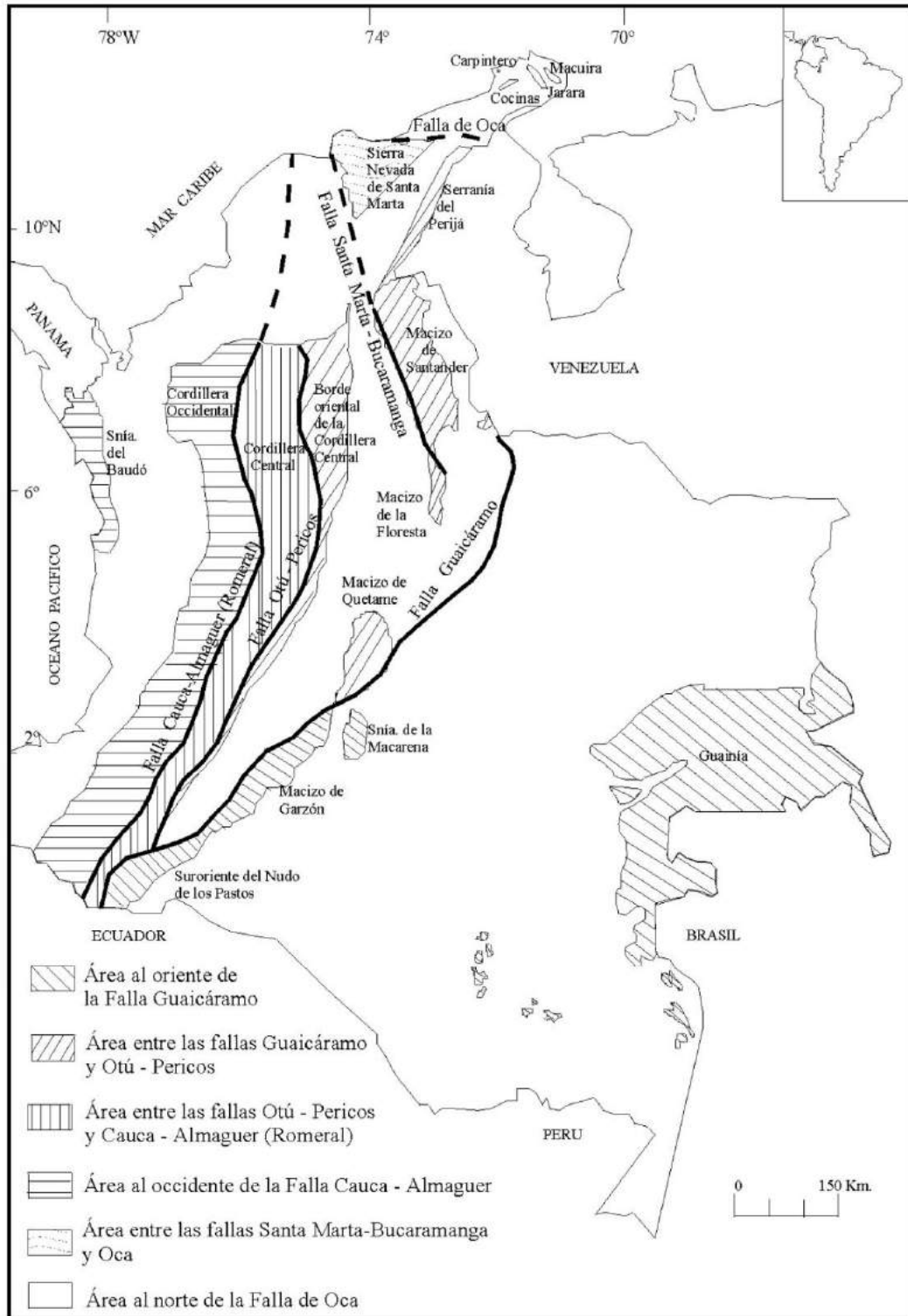


Imagen 74. Distribución de las áreas geográficas con rocas metamórficas en Colombia. Autor: Mario Maya Sánchez. INGEOMINAS (2001). Ver detalles del Mapa Metamórfico de Colombia, de Maya, en: <https://es.scribd.com/doc/164787592/Mapa-Metamorfico-de-Colombia-INGEOMINAS-2001>

13.8. COLOMBIA, PAÍS DE HUMEDALES AMENAZADOS



Imagen 75: Ciénaga Grande de Santa Marta. Imagen satelital. <http://www.ameditores.com>; Poblado del litoral del delta del río Mira Juan Manuel Reigle. <http://www.ameditores.com/>; Charca de Guarinocito. Le Dorada, Darío Correa. <https://www.flickr.com/>

Según el Instituto Alexander von Humboldt IAVH en su libro “Colombia Anfibia, país de humedales”, en 20 millones de hectáreas equivalentes a cerca del 17% de nuestra superficie continental, tenemos 31.702 humedales, de los cuales el 48% están en nuestras Orinoquia y Amazonia. Pero estos ecosistemas dinámicos de cuyos elementos fundamentales, el agua y la biota, al estar amenazados por acciones antrópicas y por el cambio climático, han permitido declarar una alerta para protegerlos, ya que cerca del 93% requiere figuras de conservación por ser frágiles cuerpos de agua estratégicos para insectos, batracios y peces, como para aves, reptiles y mamíferos, donde se hace insostenible la creciente presión de uso sobre el patrimonio hídrico; esto como resultado de la expansión urbana, del crecimiento demográfico, de la demanda de agua, de la desecación antrópica y de la contaminación, entre otros: a modo de ejemplo, la propuesta de urbanizar las tierras de la reserva “Thomas van der Hammen”, o la agonía de manglares y la masiva mortandad de peces en la Ciénaga Grande, consecuencia de obras viales del Estado.

La Convención de Ramsar (Irán) sobre los humedales de importancia internacional, aprobó el 2 de febrero de 1971 un visionario y estratégico tratado intergubernamental que sirve de marco para la conservación y uso racional de dichos ecosistemas, logrando vincular a casi el 90% de los Estados miembros de las Naciones Unidas, entre ellos Colombia que ingresa en 1998, suscribiendo progresivamente y desde entonces seis humedales de importancia con una superficie de 708.683 hectáreas, y que son: el Sistema Delta estuario del río Magdalena, albufera con 400.000 ha, que es el complejo lagunar más grande de Colombia; el Delta del río Baudó con 8.888 ha y ubicado en el Pacífico colombiano; el Complejo de Humedales Laguna del Otún con 6.579 ha, ubicado en el PNNN; el Sistema Lacustre de Chingaza, con 4.058 ha localizadas en Cundinamarca; la Laguna de La Cocha con 39.000 ha, un santuario ubicado a 2.660 msnm en Nariño; y el Complejo de Humedales de la Estrella Fluvial Inírida con 250.159 ha, de Guainía.

Se propone el IAVH consensuar un sistema con cerca de 55 clases diferentes de humedales en Colombia, cantidad que se explica por el relieve cordillerano de nuestro trópico andino con su clima bimodal, la altillanura y la selva amazónica con sus peculiares incidencias atmosféricas, y el régimen climático del Pacífico o las condiciones biogeográficas del Archipiélago, por lo que más allá de los seis emblemáticos ecosistemas húmedos denominados Sitios Ramsar, también habrá que integrar los demás humedales del país a los procesos de Ordenamiento Territorial y Planes de Manejo Ambiental, entre otros instrumentos de planificación donde se define el modelo de ocupación del suelo urbano y rural, no solo reconociéndolos como parte fundamental de los complejos ecosistemas biogeográficos y como espacios estratégicos del territorio, lo que supone emprender un inventario detallado y su caracterización, sino diseñando las acciones para su recuperación y manejo orientadas a resolver los conflictos socioambientales que los afectan y a garantizar su estabilidad ecológica, para asegurar la oferta de bienes y servicios ambientales asociados.

Al observar el mapa preliminar de humedales de Colombia del IAVH, aunque por la escala no se visibilizan turberas y otros humedales de páramo y bosques andinos que regulan los caudales de las regiones más pobladas de Colombia y que contribuyen a las dinámicas del clima, sobresalen por su extensión varios reservorios, como marismas y manglares en la costa del Pacífico desde el sur de Tribugá hasta el río Mira, y en especial sobre el delta del Patía donde aparece Tumaco; o ciénagas y madre viejas en corrientes de meandros, como las comprendidas entre el río Meta y el piedemonte de la Cordillera Oriental; o las rondas del río Guaviare y en parte del Vichada e Inírida; además de las vaguadas del Putumayo, Caquetá y Vaupés; y el valle del Atrato aguas abajo de Vigía del Fuerte, y en parte del San Juan; o en regiones como el Magdalena Medio y Bajo y el Bajo Cauca, donde a pesar de ecodios agroindustriales, mineros, etc., sobresalen, además de la Ciénaga Grande de Santa Marta, La Mojana, la Depresión Momposina y el área del Sinú-San Jorge.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016.08.15]

13.9. PARAMOS VITALES PARA LA ECORREGIÓN CAFETERA

RESUMEN: El país tiene 36 complejos de páramo, que cubren cerca de 2'906.137 hectáreas, equivalentes al 3 por ciento de la superficie del país, que están en proceso de delimitación, dado que en virtud del fallo de la Corte Constitucional no se puede realizar ningún tipo de actividad extractiva o minera. Colombia, gracias a las tres cordilleras y a sus particularidades edáficas y de biota, no solo tiene el 50% de los páramos existentes en los Andes, sino también los más diversos de la región. En la Ecorregión Cafetera, además de los complejos de páramo del PNN de los Nevados y del sur del complejo Sonsón, aparecen los Complejos del Tatamá y parte sur del complejo del Citará donde se ubica el farallón de Caramanta

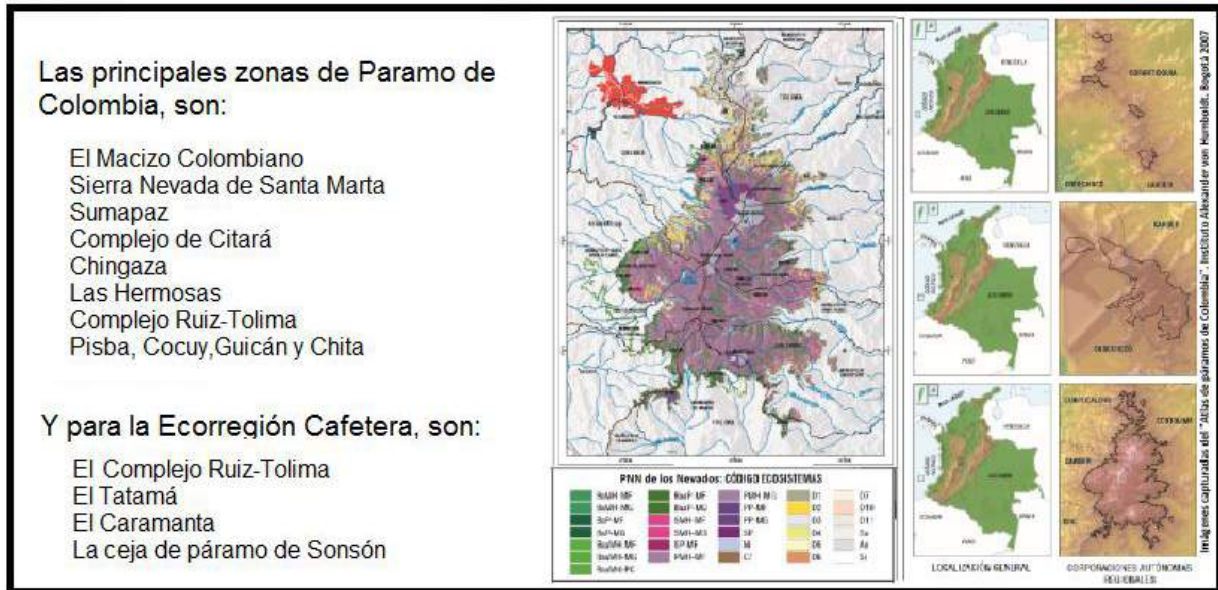


Imagen 76: Páramos en la Ecorregión Cafetera: IDEAM, e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Colombia es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, cuyos impactos socioambientales y económicos también afectarán a la Ecorregión Cafetera, no solo por la migración en altitud de las zonas de vida alterando la aptitud de los suelos y con ello la estructura de la tenencia de la tierra, sino también por cambios en el balance hídrico y régimen de precipitaciones, y en la frágil estabilidad de comunidades vegetales nativas frente a las variaciones del clima por la fragmentación de los ecosistemas, entre ellos los de montaña que están en peligro y los páramos donde por fortuna la Corte Constitucional ha blindado el subsuelo de los apetitos mineros que acechan.

Esta Ecorregión Cafetera con su verde, escarpado y deforestado paisaje tropical enclavado entre las cordilleras y profundos valles de los Andes más septentrionales de América, donde sobresalen los páramos establecidos en ambientes fluviales, glaciares y gravitacionales que se entreveran, ubicados tanto sobre la Cordillera Central en vecindad de las cumbres nevadas del Complejo volcánico Ruiz-Tolima y la Mesa de Herveo a más de 5.000 msnm, como en el continuo de farallones de la Cordillera Occidental ubicado al sur de los Complejos Paramillo y Frontino-Urrao, con sus notables alturas como el Cerro Caramanta del Complejo Citará y el Tatamá del Macizo Tatamá que son sus mayores alturas en jurisdicción del Eje Cafetero.

En los Andes sudamericanos, estos y otros páramos se extienden como islas, en ocasiones en medio de paisajes volcánicos, tal cual se observa desde la Depresión de Huancabamba al norte del Perú, hasta la Cordillera de Mérida en Venezuela o la Sierra Nevada de Santa Marta, pasando por las tres cordilleras de Colombia. Si el páramo es un ecosistema tropical de montaña con vegetación achaparrada tipo matorral, que se desarrolla por encima del área del bosque montano y por abajo del sistema nival, aunque también existen en Centro América, Sudamérica, Asia, Oceanía y África, en términos absolutos la mayor extensión paramuna del mundo está en Colombia, aunque solo algunos han escapado a diferentes procesos de alteración y afectación antrópica.

Así como hemos visto la migración de los cafetales conforme el clima ha venido cambiando, avanzando 170 m en altitud por cada grado centígrado de incremento en la temperatura, también en el PNNN ya se advierte el calentamiento global con la pérdida de los glaciares: si entre 1979 y 2010 la superficie de los hielos perpetuos en el Complejo Volcánico Ruiz-Tolima ha pasado de 32 o 29 a 12 o 10 kilómetros cuadrados, mucho antes, cuando se funda Manizales (1849), como consecuencia del último pico de una pequeña glaciación ocurrida entre 1550 y 1850, según Antonio Flórez (2002) e Ideam-Unal (1997) los hielos del PNNN sumaban cerca de 93 kilómetros cuadrados, 10% de los cuales cubrían el Cisne y el Quindío.

El Tatamá con 4.250 msnm y su ecosistema de páramo y bosques alto-andinos muy húmedos delimitados por los 3.450 m de altitud, y el Caramanta con su cumbre a 3.900 msnm que ubicado al sur de los farallones del Citará igualmente comprende el páramo, no solo marcan el paisaje del norte de Caldas y de Manizales por el poniente, sino que también nutren el drenaje de los ríos San Juan, Atrato, Risaralda y Cauca de esta ecorregión, al albergar varias cuencas de las dos vertientes de la Cordillera Occidental, tanto por el norte de la ecorregión con los ríos Arquía, San Juan Antioqueño, como al sur con los ríos San Rafael, Tatamá, Negro y Mapa.

Pero además de ser el de Tatamá un Parque Natural Nacional por fortuna casi-inaccesible y casi virgen y desconocido, y el de Caramanta una zona de interés declarada Reserva Forestal Protectora Regional en Antioquia para proteger sus páramos con su particular biota y fauna biodiversa, e importantes especies endémicas, también ambos escenarios al lado del PNNN como singulares medios de regulación hidrológica, suministro de oxígeno y captura de carbono atmosférico, además de ser espacios vitales para varias comunidades vecinas, de territorios colectivos afrodescendientes, resguardos indígenas Embera y poblados de mestizos, son medios estratégicos y fundamentales para la sustentabilidad urbana y rural de la Ecorregión Cafetera, donde vivimos cerca de 2,7 millones de habitantes que ignoramos estas y otras complejas relaciones y dinámicas culturales y ecosistémicas

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016/03/28.]

13.10. CUATRO PNN, PATRIMONIO NATURAL DE LA ECORREGIÓN CAFETERA

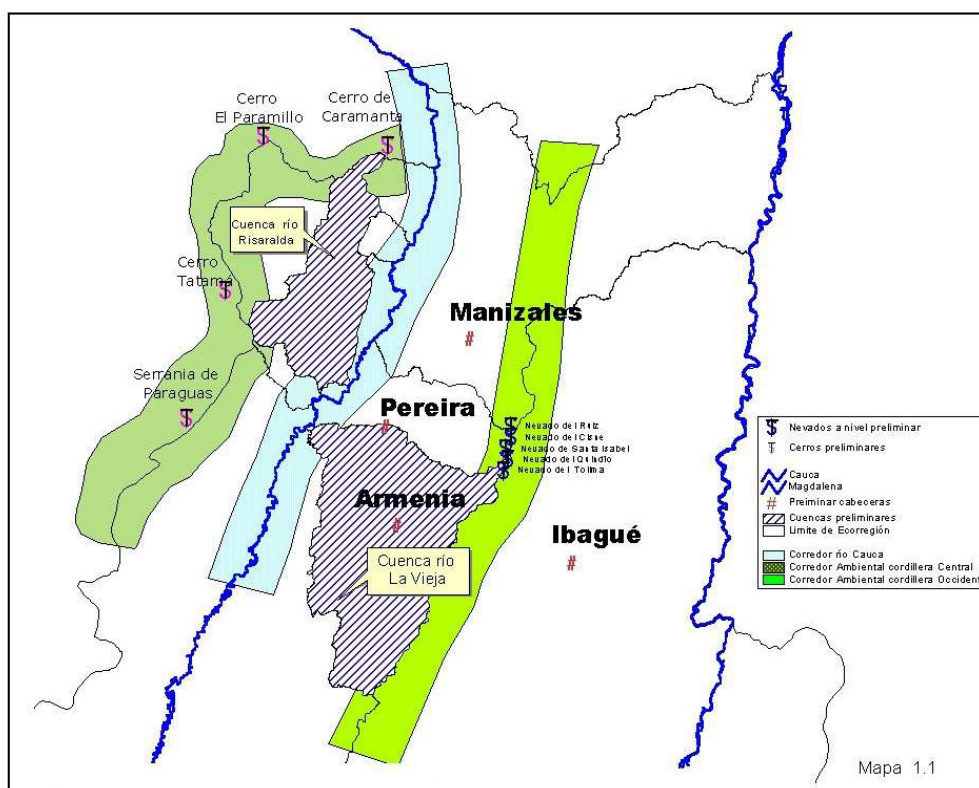


Imagen 77. Estructura Fisiográfica de la Ecorregión Cafetera. IDEAM.

Cuenta este deforestado territorio en su valioso patrimonio natural con cuatro Parques Nacionales PNN: el de los Nevados, el Tatamá, la Selva de Florencia, y el Santuario de Fauna y Flora Otún-Quimbaya. El Páramo de Tatamá, junto con los páramos del Sol en Frontino y El Duende que hospeda el Cerro Calima, son los únicos tres páramos de Colombia que no han sufrido alteración humana. Esto, a pesar de que según la Ley 99 de 1993, Art.1.N4 “Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos, serán objeto de protección especial”. Apoyados en la información del Sistema de Parques, veamos dicho valioso y amenazado patrimonio.

Primero, por su importancia tenemos el Parque de los Nevados, un ecosistema con volcanes activos que se encumbran hasta 5311 msnm, y una extensión de 583 kilómetros cuadrados, cuyo 80% lo constituye el ecosistema de páramo con sus frailejones, pajonales y humedales, que gracias al “león dormido” con sus inequívocas señales, solamente permite el ingreso por el sector de Brisas hasta el Valle de las Tumbas. Allí, al cuidado de los guías del majestuoso escenario, los visitantes encuentran además del cóndor andino, el periquito de los nevados, el pato andino y varias especies de colibríes: como el chivito de páramo endémico de la región y único en el mundo. Pero en la espesura, hay dantas, venados, tigrillos, pumas y perezosos. Además de multitud de aves, exóticos paisajes y aguas termales, se destacan el “cacho de venado” como planta endémica del superpáramo; los “colchones de agua” en humedales; y la palma de cera del Quindío en los bosques alto andinos o de niebla.

Segundo, en el poniente aparece El Tatamá ubicado sobre el parteaguas de la confluencia entre el Pacífico Biogeográfico y el Eje Cafetero, lugar indómito de 519 kilómetros cuadrados visible por el imponente cerro tutelar del mismo nombre a 4200 msnm, dotado de un páramo virgen que ofrece refugio a sus ecosistemas y hábitat de mamíferos de la fauna endémica de los Andes que gozan del beneficio de este territorio preservado. Según Parques Nacionales, Tatamá alberga: en aves, 51 familias, 270 géneros y 402 especies; en mamíferos registrados, 110 especies pertenecientes a 67 géneros; en reptiles con registro, 108 especies, pertenecientes a 51 géneros y 9 familias; y además del anturio negro, 564 especies y morfo-especies de orquídeas, y varias especies arbóreas en peligro de extinción.

En tercer lugar, tenemos entre Samaná y Pensilvania lo que describen los expertos como “una mancha de bosque nublado, de colinas ondulantes y vegetación tupida y enmarañada” para referirse al Bosque de Florencia, un frágil relicto de bosque fluvial declarado PNN en 2005, que con 100 kilómetros cuadrados de superficie y altitudes entre 850 y 2400 msnm, sobresale por un endemismo que involucra al 71% de sus especies de ranas, y poseer más de la mitad de estos anfibios registrados en la Cordillera Central. Su mayor amenaza, es la pobreza circundante, que con nuestra indiferencia no hemos resuelto en la región más olvidada de Caldas, donde los campesinos magdalenenses aún esperan la Carretera del Renacimiento entre Sonsón-La Dorada que cruza el Samaná por Puente Linda, en límites de Antioquia y Caldas.

Y finalmente el Santuario de Fauna y Flora Otún-Quimbaya, ubicado sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central, un área protegida para el departamento de Risaralda con sólo 489 hectáreas declarada PNN en 1996, que se integra al Parque de los Nevados

en la cuenta alta del río Otún, donde cerca del 90 % del área resguardada corresponde a bosques naturales; todo esto gracias a la decisión responsable de los pereiranos que los ha llevado a buscar la perpetuación de los servicios ambientales aportados a su ciudad por la cuenca de su río tutelar, dando una lección que podríamos aprender en Manizales para que hagamos lo mismo declarando PNN la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco, en lugar de declarar irresponsablemente áreas de expansión urbana los anillo de contención de nuestras reservas protectoras buscando llevar la ciudad hasta su frontera, como si la "jungla de concreto" tuviese la capacidad de amortiguar los severos impactos urbanos sobre los ecosistemas y la estructura ecológica que nos protege del cambio climático.

{Ref.: La Patria. Manizales, 2017/08/14}

13.11. MÁS ECOSISTEMAS PARA ENFRENTAR LA CRISIS DEL AGUA

RESUMEN: Las transformaciones e interacciones entre el hombre y los recursos naturales no siempre son compatibles con la cultura y el medio ecosistémico; de ahí, los desafíos para lograr la sustentabilidad del deforestado territorio de la Ecorregión Cafetera, que se derivan del examen de los haberes naturales relacionados con el agua, dados la amenaza por el cambio climático y las problemáticas socioambientales de territorio relacionadas con los usos conflictivos del suelo y las presiones sobre la estructura ecológica asociadas a un modelo conflictivo de ocupación del territorio.

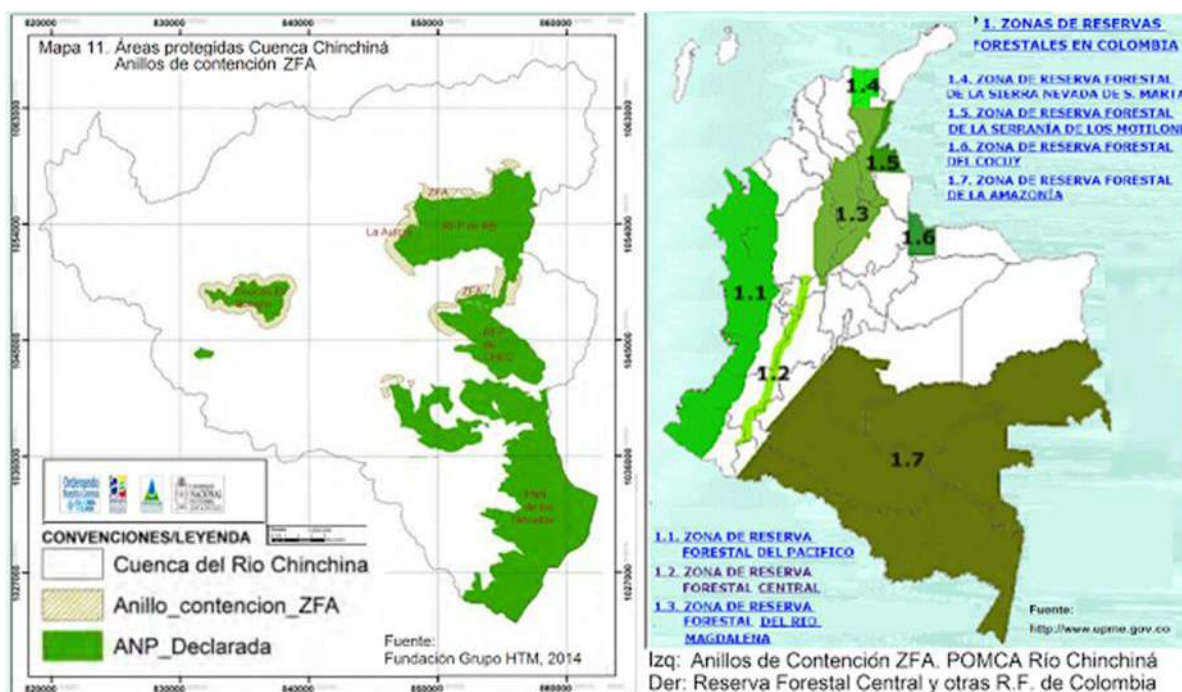


Imagen 78: Cuenca del Río Chinchiná y Zonas de Reserva Forestal en Colombia: a la Izquierda, se muestran las principales áreas de interés ambiental protegidas en la Cuenca, y a la Derecha, con el numeral 1.2 la Zona de Reserva Forestal Central sobre la Cordillera Central y a la cual pertenecen el PNN de los Nevados y las Reservas Forestales de Río Blanco y Chec. Fuente CORPOCALDAS y UPME

La problemática de la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco en Manizales, hoy amenazada por un daño severo e irreversible ocasionado al urbanizar su Anillo de contención - acto que va en contra de la recomendación que hace el estudio *Articulación de ZFA de Áreas Protegidas - SIDAP Caldas* elaborado en 2014 para Corpocaldas por el Grupo Fundación HTM (véase pag 31)-, con el fin de satisfacer apetitos del mercado inmobiliario, y la cual fue objeto de 61 de las 74 ponencias del Cabildo Abierto sobre el POT convocado por el Concejo de la ciudad en Junio de 2017, y de movilizaciones sociales lideradas por colectivos como Subámonos al Bus del POT y Todos Somos Río Blanco, las cuales aún continúan, se constituye en un hecho notable y de actualidad que invita a reflexionar sobre la necesidad de más ecosistemas para mitigar el riesgo frente a la crisis del agua en la región, donde se deben emprender acciones de adaptación al cambio climático para mitigar la pérdida de biodiversidad en el bioma andino colombiano y de suministro de agua en las capitales cafeteras.

El Caso Río Blanco

La Reserva Forestal Protectora de Río Blanco y Quebrada Olivares con 4.932 hectáreas de extensión de bosque de niebla, ubicada dentro de la gran Cuenca del Río Chinchiná y lugar que provee el 35% del agua de Manizales, hace parte de una de las zonas con mayor biodiversidad del mundo destinada a la conservación de los recursos naturales. Si como sumideros del CO₂, los bosques a través de la fotosíntesis almacenan en madera y en el ecosistema una parte del carbono tomado de la atmósfera, y le devuelven oxígeno haciendo todo lo contrario de "la jungla de concreto", entonces al haberse sustraído de la gran Reserva Forestal Central de

Colombia los predios La Aurora y Betania ubicados en el Anillo de contención de la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco en 2013, para ser urbanizados satisfaciendo el interés particular a costa del frágil ecosistema que debe ser protegido y de los servicios que provee, se ha vulnerado no sólo la Constitución Política en su Capítulo 3, el De los derechos colectivos y del ambiente, Artículos 79 y 80, sino también los tres Principios Rectores de la Ley 388 de 1997 o Ley de Desarrollo Territorial, contenidos en su Artículo 2., así como lo dispuesrto en el [Decreto 2372 de 2010](#) relacionado con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas al desconocer las Determinantes ambientales, Art. 19 y la Función Amortiguadora, Art. 31.

Lo anterior, dado que además de permitirse la socialización de los costos ambientales o perjuicios fruto de la explotación del medio ambiente para facilitar la privatización de beneficios como la obtención de la plusvalía urbana para el urbanizador, la propiedad ya no cumpliría su función ecológica y social al desnaturalizarse el carácter de zona amortiguadora que le demanda la citada reserva, el cual es necesario para proteger el hábitat de especies endémicas, vulnerables y en riesgo de extinción, y dicha fuente primordial de servicios ambientales fundamentales para la ciudad, como lo es el suministro del 35% del agua. Cuando en nombre del “desarrollo” se instrumentaliza la naturaleza permitiendo acciones no sustentables que alteran los ciclos biogénéticos y las cadenas tróficas, el ciudadano y la sociedad se obligan a emprender acciones cívicas para prevenir un ecocidio que surge de llevar la jungla de concreto al anillo de contención, apelando para el efecto al principio de prevalencia soportados en estos elementos: evitar un daño no mitigable y de nivel significativo, que se ocasionaría sobre un bien imprescindible.

Un jardín deforestado

En este verde y deforestado territorio, mientras el suelo apto para potreros es el 4%, la cobertura en dicho uso alcanza el 49%; y mientras su potencial forestal es el 54%, sólo posee el 19% de su superficie en bosques. Esto significa no sólo una alta fragmentación de los ecosistemas que pone en alto riesgo de pérdida la biodiversidad, sino también deficiencia de bosques en las zonas de recarga como factor de mayor vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos.

Aunque tanto en el Oriente de Caldas como en el alto San Juan, gracias a la alta precipitación existe un patrimonio hídrico excedentario susceptible de aprovechamientos responsable, se tiene un potencial riesgo para el suministro de agua en el Corredor del Río Cauca y Norte de Tolima asociado al déficit severo de precipitación en temporadas de El Niño y a la limitación por la precariedad de los acuíferos, consecuencia de las rocas impermeables, morfología y deforestación entre Irra y La Pintada.

Y en cuanto al sistema subterráneo de toda la ecorregión, sobresalen: 1- las zonas de recarga de los complejos de páramos del PNNN, Tatamá y Caramanta, y la gran cobertura boscosa de bosques alto-andinos en áreas de reserva cordilleranas, en las zonas del Roble y alto del Nudo, y en el bosque de Florencia; y 2- los acuíferos del extenso Valle del Magdalena, de los valles del Risaralda y el río La Vieja alimentado por el Glacis del Quindío, y el de Santágueda.

Proyección al Eje Cafetero

El cambio climático es el mayor factor de riesgo que compromete además de la biodiversidad global, el suministro de agua en el 63% de las ciudades del planeta, y la seguridad alimentaria según el Consejo Mundial del Agua (2017). En Colombia, con 24 grandes ciudades de las cuales Bogotá representa el 16 % de su población, los costos económicos de la contaminación hídrica ascendieron al 3,5% del PIB, y a un 4,5% si se suma el costo oculto de la mala calidad del agua y de los servicios de saneamiento.

De otro lado, con precipitaciones anuales promedio de 1.800 mm y unas 720 mil cuencas hidrográficas, Colombia alcanza una oferta de 7.859 kilómetros cúbicos de agua superficial y subterránea, de los cuales el 25% son las aguas de las escorrentías anuales; pero el país tiene severos problemas de calidad en la mitad de dicho patrimonio, dado el vertimiento de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante por año que llegan a los acuíferos y cuerpos de agua, proveniente del sector agropecuario y residencial, a las que se suman otras sustancias como las 200 toneladas anuales de mercurio proveniente de la actividad minera.

Si en toda la Ecorregión, las cuencas más comprometidas son las de los ríos Otún, Quindío, Chinchiná y Combeima, dado que ellas albergan la mayor proporción de los habitantes y del PIB regional, entonces las cuencas abastecedoras de agua de las capitales cafeteras deberían declararse PNN que es la figura que mejor blindo los ecosistemas en Colombia, tal cual lo ha hecho Pereira con el Santuario de Flora y Fauna Otún–Quimbaya, y no otras insuficientes como lo son la de una Reserva Forestal Protectora que es la figura de Río Blanco y de los Bosques de Chec, o un Distrito Regional de Manejo Integrado en el caso de Salento para la cuenca alta del río Quindío no incluida en el PNN de los Nevados. Por su puesto, dicha figura propuesta que ofrece el mayor blindaje, obliga a priorizar la preservación sobre el turismo.

Manizales, 24 de Octubre de 2017.

Nota: como complemento, véase el Numeral 14.9., y Lecturas complementarias Capítulo

13.12. PLUSVALÍA, DESARROLLO URBANO Y MERCADO

RESUMEN: En Manizales se requiere un sistema moderno de cargas y beneficios que permita un desarrollo ciudadano incluyente, como lo es la recuperación de la plusvalía urbana, ya implementado en Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y Pereira. La Ley 9 de 1987 de Reforma Urbana introduce el concepto de la Plusvalía Urbana desarrollado a profundidad en Colombia por el Profesor Lauchlin Currie quien propone captar todas, o gran parte de las ganancias derivadas de la valorización de la tierra urbana, al abrir espacios con mecanismos de planificación y gestión del suelo. Posteriormente, la Constitución Política de 1991, establece que “Las entidades públicas participarán en la plusvalía que genere su acción urbanística y regularán la utilización del suelo y del espacio aéreo urbano en defensa del interés común”; finalmente, la Ley 388 de 1997 define los alcances y procedimientos del cobro de la contribución de la plusvalía urbana

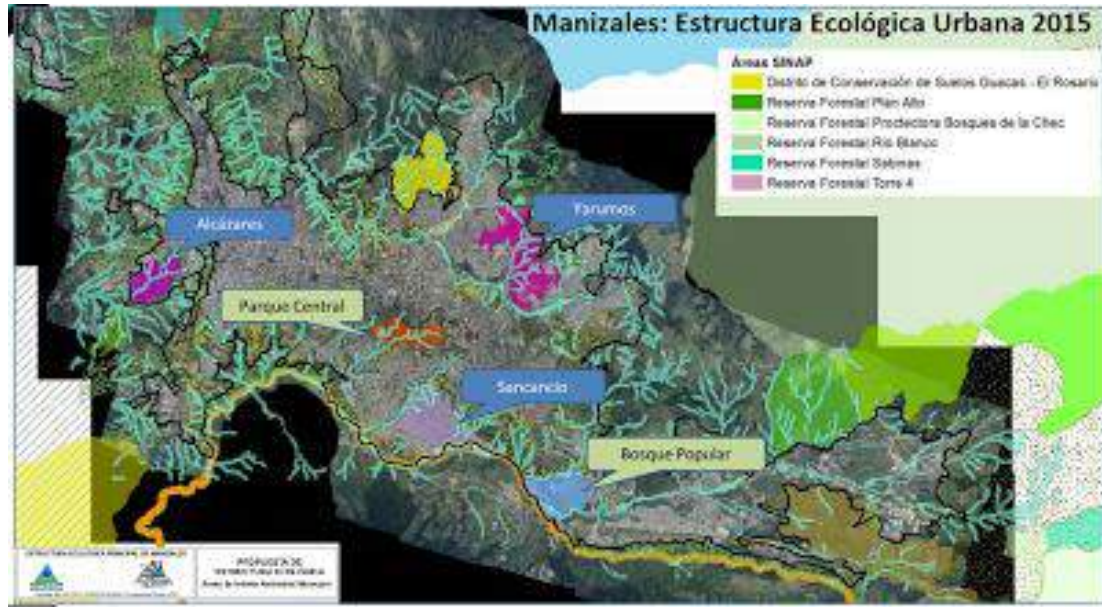


Imagen 79: Estructura Ecológica Principal Urbana. POT de Manizales 2015.

La ciudad ha evolucionado: el poblado fundacional de 1849 nace como una aldea de tapia pisada, apostada sobre una trama ortogonal; luego, avanza Manizales de forma serpenteante a lado y lado de El Carretero sobre lo alto del ramal cordillerano, al tiempo que enriquece su arquitectura con formas eclécticas entre los años 20 y 30; posteriormente, se consolida como una ciudad con forma de "cometa", gracias al emplazamiento de barriadas residenciales en tiempos de la naciente sociedad industrial; y hacia los 70, con el advenimiento de la revolución verde cuando el país rural se urbaniza, la ciudad se fragmenta al surgir los guetos que desestructuran el hábitat y se ocupan de forma conflictiva sus frágiles laderas; finalmente ahora, en lugar de densificar el hábitat, por falta de previsiones, los desarrollos urbanísticos van avanzando hacia la periferia, presionando la base ecosistémica que le da soporte a la ciudad.

Entre los objetivos fundamentales del POT de Manizales, además de evaluar las condiciones geológicas del entorno de los asentamientos y determinar las medidas para protegerlo, se requiere implementar un sistema moderno de cargas y beneficios que permita un desarrollo ciudadano incluyente, como lo es la recuperación de la plusvalía urbana por ser una propiedad común que deber servir a la sociedad que la creó, optar por un modelo moderno de estratificación urbana basado en información catastral actualizada y poner al día el catastro de los predios rurales, en lugar de soportarse únicamente en la valorización por ser un instrumento de bajo impacto social que sólo permite dotar sectores urbanos con capacidad de pago, y que facilita la distorsión del mercado con la especulación del suelo.

Si se entiende que el beneficio deriva de la asignación de edificabilidad en los suelos y normas que deciden la expansión urbana, y como carga la asignación de obligaciones urbanísticas como el pago de parte de la plusvalía generada de dichas decisiones y no por la cosa propia, otra pudiera ser la suerte de la ciudad, puesto que se podría implementar proyectos que logren redistribuir la inversión en infraestructura social y productiva, y reubicar asentamientos humanos vulnerables localizados en zonas de riesgo no mitigable, para no repetir errores como los de San José y la Alta Suiza, o la presión sobre Monte León y la reserva de Río Blanco resultado de procesos que han dinamizado un modelo de ocupación conflictivo del territorio y viciado los necesarios proyectos de renovación urbana, o la degradación del hábitat consecuencia de un sistema pre-moderno e insuficiente de cargas y beneficios, como lo es la valorización que no permite avanzar en la solución al déficit de equipamientos colectivos y espacios públicos.

También el municipio puede actualizar el catastro para fortalecer el impuesto predial y examinar las cuantías que por Ley pueden variar entre el 1 y el 16 por mil, llevando los valores del avalúo catastral a montos más acordes con la realidad socioeconómica de los pobladores para no depender de una estratificación soportada en la ubicación espacial de los moradores, pudiendo así captar recursos que demanda el POT, y en el caso de las áreas rurales actualizar el catastro para emprender inversiones que reduzcan el índice de NBI de 28 mil manizaleños, cuyo valor supera más de tres veces el de la población urbana estimado en 0,9.

Sabemos que Manizales, a pesar de contar con un 6% de déficit de vivienda y una cobertura superior al 99% en servicios públicos, requiere desarrollo institucional e instrumentos modernos para la gestión de la plusvalía y del suelo urbano, ya que además de lo señalado, requiere: 1- avanzar con un nuevo modelo urbano más verde y más humano que dinamice el hábitat en las barriadas populares, en lugar de la jungla de concreto que se promueven actuando para el mercado inmobiliario; 2- además de recuperar el centro histórico, resolver un déficit del 30% en espacio público, al contar con menos de 10 metros cuadrados por habitante contra 15 como mínimo según indicadores internacionales; y 3 fortalecer el transporte verde propendiendo por la movilidad autónoma y de medios colectivos, ya que el uso de la motocicleta y del automóvil aumenta anualmente 11%, mientras el crecimiento demográfico anual en la ciudad solo alcanza el 0,4%. [Ref.: La Patria. Manizales, 2016.09.25]

13.13. HIDRO-ITUANGO: UNA LECTURA A LA CRISIS



Imagen 80. Hidroituango y parte de las aguas del río Cauca / Colpresa. In: www.lafm.com.co

RESUMEN: La vulnerabilidad de Hidroituango, se relaciona con su escala y clase de megaobra, y con la complejidad del medio geológico en el cual se emplaza. El cañón del Cauca como estructura tectónica del trópico andino, tiene una doble condición a resolver, que lo hace vulnerable a las nuevas dinámicas del agua, impacto de la presa y modelados subterráneos a gran escala: el fracturamiento y fallamiento preexistente de las rocas, y la compleja litología y suelos en laderas de alta pendiente, condicionado la estabilidad de los macizos sometidos a cambios por cargas, flujos de agua, variaciones piezométricas y pérdida de confinamiento, que modifican el estado de esfuerzos, lo que actúa como factor contribuyente del riesgo, frente al frágil equilibrio de las estructuras litológicas, micro fallas potencialmente activas y laderas altamente susceptibles al deslizamiento.

¿Habrán pasado factura la naturaleza al actual modelo de desarrollo por la hidroeléctrica de Pescadero-Ituango?, esto, dados los pasivos ambientales del mayor proyecto de generación en la historia del país, con el cual se incorporan 2,4 millones de kilovatios que aportarían 4 puntos al PIB, y cuya energía- salvo las consideraciones pertinentes de Gabriel Poveda Ramos invitando a transformar los minerales de nuestro subsuelo para justificarla-, se exportaría. Lo anterior, cuando esta obra concebida en 1960/70, estudiada en 1980/90, e iniciada en 2010, al represar el río Cauca con un enrocado y núcleo de arcilla de 225 m de altura, y conformar un embalse de 79 km de largo y 3800 hectáreas de superficie, además de sus enormes impactos socioambientales, incorpora una amenaza para poblaciones ubicadas aguas abajo, quienes han estado en vilo tras un fallo en el túnel de desvío, ocurrido cuando está a punto de culminar la presa. La emergencia derivada del fallo en una obra subterránea vital para dicho proyecto, bajo el presupuesto de que los túneles alternos se sellaron acorde a un programa preestablecido y adecuado, son la consecuencia de dos factores determinantes: de un lado, la incertidumbre consustancial propia de las grandes obras subterráneas, para las cuales los métodos de diseño, procesos constructivos, y planeación técnica y financiera, no pueden ser convencionales, tal cual lo enseña el método observacional propuesto por Karl Terzaghi (1945-48) y desarrollado por Ralph B. Peck (1967-69), justo para tales obras; y del otro, las consecuencias de un modelo de desarrollo extractivista que explota el medio ambiente, pensado para el crecimiento económico y no para el desarrollo, ya que al instrumentalizar la naturaleza e incorporar grandes riesgos, olvida que también somos parte de ella.

Sobre lo primero, tal cual lo hemos aprendido con los múltiples casos que agobian nuestra ingeniería, mientras la incertidumbre en la estabilidad de una estructura superficial de concreto como lo es un edificio como el Space o el puente de Chirajara, varía entre el 4 y 6 por ciento gracias al conocimiento previo que tiene el calculista de la geometría, resistencia y comportamiento predecible de los elementos estructurales; contrariamente, en las obras subterráneas, como lo son los túneles y las cimentaciones que soportan grandes cargas, caso Hidroituango y Aerocafé, la incertidumbre ocasionada por las variaciones erráticas y aleatorias de los macizos rocosos, llega al 30 por ciento en condiciones normales, e incluso a valores del 50 por ciento en el complejo medio tropical andino.

Y sobre lo segundo, porque a diferencia de una hidroeléctrica a filo de agua, o de una planta en una corriente menor alimentada por medianos embalses concebidos para generar beneficios locales significativos directos, apalancando proyectos de transformación de la riqueza y un uso del agua para resolver problemas ambientales y generar empleo, por ejemplo a través del control de inundaciones, de sistemas de riego y del fortalecimiento del turismo; contrariamente, las grandes represas como Asuán en el Nilo e Itaipú en el Paraná, han dejado significativas lecciones: si no se conciben para usos múltiples, ni se contemplan los derechos bioculturales, sólo propician enclaves económicos que desestructuran territorios, al producir el desarraigo borrando de tajo la cultura de las comunidades desplazadas y excluir de sus beneficios a los pobladores; y al modificar de forma irreversible el curso natural en grandes ríos y el

microclima, afectando las dinámicas de especies de peces y aves que los remontan, y sepultando la flora y la fauna en extensiones considerables.

Finalmente, del examen de esta grave crisis, además de las anteriores reflexiones extraídas de sus crudas enseñanzas y en lugar de satanizar la ingeniería colombiana, quisiera rescatar dos asuntos aleccionadores: primero, la responsabilidad de la evacuación preventiva y oportuna del escenario potencialmente comprometido ocupado por 120 mil habitantes, para prevenir un eventual desastre aguas abajo del proyecto: recuérdese que en Armero (1985), a pesar de conocerse previamente el riesgo, por la carencia de un desarrollo institucional en la materia, no se previno un desastre ya anunciado; y segundo, reconocer el sentido ético que subyace en la valerosa decisión de asumir las cuantiosas pérdidas económicas, al desviar el flujo de agua que se represaba hacia la casa de máquinas, para prevenir el daño del embalse tras un colapso de la presa.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2018/05/21]

...
Lecturas complementarias

Esfuerzos en el Suelo.

Estructura del suelo y esfuerzos, Pruebas comunes de esfuerzo-deformación, esfuerzos geostáticos, Esfuerzos producidos por cargas aplicadas al suelo, Diagrama de influencia; Bulbos de esfuerzo; Consolidación y asentamientos.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap10.pdf>

Eje Cafetero y Transporte Intermodal

El Eje Cafetero, gracias a su ubicación en el centro-occidente de Colombia presenta una posición estratégica para implementar el sistema intermodal de carga que requiere la Región Andina, para la competitividad del país: la clave de este sistema, estaría en articular el sistema ferroviario y la hidrovía del Magdalena mediante el Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41, y en extender el Corredor férreo el Cauca, hasta el Altiplano, y desde Buenaventura hasta Urabá, apalancando el desarrollo ferroviario en la locomotora del carbón andino.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56969/ejecafeteroytransporteintermodal.pdf>

Crisis y Opciones en el Río Grande de Colombia.

Siendo el Magdalena nuestra principal arteria fluvial y el más emblemático río del país, dada su complejidad ecológica, habrá que tomar las previsiones en cada zona: en el ecosistema costero, el impacto de la turbidez sobre los corales, mitigando el efecto de aguas turbias con el nuevo canal del Dique; en la cuenca baja el perjuicio de desligar el canal navegable de los complejos de ciénagas, cerrando caños para el desarrollo de obras y expansión de cultivos y hatos; en el Magdalena Centro y Medio la importancia de un dragado como obra pública para prevenir el sistema de peajes; y en la cuenca alta, propiciar la extensión de la hidrovía para incorporar el Tolima Grande a los beneficios de la navegación. Súmese a lo anterior, el control de la contaminación y de la deforestación en todas sus formas.

Ver en: <https://www.youtube.com/watch?v=AbAfIMGRk-I>

Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.

El Plan de Acción Inmediata para la Cuenca del San Francisco, es una estrategia de los actores sociales comprometidos con la construcción sostenible de su territorio, donde la estrategia parte de implementar el "bioturismo" y hacer de la carretera de Marsella la primera "vía lenta" de Colombia. La vía lenta propuesta por los marselleses en el marco del Paisaje Cultural Cafetero, fortalece la oferta local de bienes culturales y servicios ambientales de las comunidades rurales de Marsella. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8774/gonzaloduqueescobar.201180.pdf>

Planteamiento y solución a un problema topográfico: problema "ALEPH".

Como darle coordenadas a un punto inaccesible, a partir de los ángulos de inclinación observados con teodolito desde tres placas topográficas - definidas en R3- no intervisibles. Ver en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3227/aleph_gde.pdf

ENLACES SOBRE LOGÍSTICA Y TRANSPORTE



<p>Aerocafé en tiempos de pandemia. Conectividad Regional y Ciudad Región del Eje Cafetero. Corredor Bimodal Cafetero. CTS, Economía y Territorio. ¿Cuál es el mejor sistema de transporte para Colombia? Desde los Andes al Orinoco y al Amazonas. Economía colombiana: crisis y retos. Eje Cafetero y Transporte Intermodal.</p>	<p>Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia. Ferrocarril Cafetero: un tren andino. Ferrocarriles: integración y progreso para Colombia. Fundamentos de Economía y Transportes. Logística del transporte para la RAP del Eje Cafetero. Movilidad y modelo urbano. Navegando el Río Grande de la Magdalena. Pacífico biogeográfico y geoestratégico colombiano.</p>	<p>¿Para dónde va el Magdalena? Planificación estratégica para la movilidad. Sistema Ferroviario para la Región Andina de Colombia. Un canal bioceánico por el Chocó biogeográfico. Un contexto para el puerto de aguas profundas en Tribugá, Colombia. Un TIM verde para el POT. Urabá frente a los mares de Colombia. Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.</p>
--	--	--

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Serranía de Perijá, Zulia, Venezuela. Aldeaeducativa.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 14

MONTAÑAS Y TEORIAS OROGENICAS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Montaña es la elevación o grupo elevaciones originadas por fuerzas endógenas (orogénesis) y modeladas y divididas por fuerzas exógenas.

14.1. TIPOS BASICOS DE MONTAÑAS

14.1.1 Según su altura. Se distingue entre montañas medias, de formas generalmente redondeadas a consecuencia de diferencias de altura escasas, y montañas altas, de formas agudas y pendientes abruptas, consecuencia de una erosión intensa determinada por el carácter energético del relieve (los Alpes).

14.1.2 Según su forma y extensión. Se distinguen montañas en cadena (cordillera, cadenas montañosas), con una serie de cadenas paralelas alargadas, y montañas-macizos, en las que la extensión es, más o menos, igual en todas las direcciones.

14.1.3 Según su origen. Se distinguen montañas volcánicas, surgidas por la actividad volcánica, y montañas tectónicas, que, a su vez, pueden ser plegadas (en ellas los pliegues determinan aún las formas y el agrupamiento de las cadenas), falladas o fracturadas (en ellas las fracturas y fallas son las que determinan los rasgos esenciales de la estructura) y plegado-fracturadas (los plegamientos están entremezclados en fallas).

Algunos montes se formaron por la **confluencia de placas** tectónicas en desplazamiento y la afluencia de las rocas en sus límites. En este proceso las rocas sedimentarias originarias del fondo oceánico se elevan y forman mesetas intermontañas donde enormes capas horizontales son levantadas, como el Tíbet en el Himalaya a 4200 metros de altitud o la meseta de Colorado en el Gran Cañón a 1600 metros de altura. También forman montañas plegadas, cuando el empuje contra escudos supone el plegamiento de depósitos geosinclinales con espesores de 10 Km., ejemplo Andes, Alpes, Himalaya y Rocallosas.

Otras montañas pueden alzarse **por fractura**; tales son las montañas de bloque como las de Ruwenzori entre Uganda y Zaire. Un tercer tipo de montes puede formarse como resultado de la **actividad volcánica** y ello puede ocurrir en regiones de plegamiento orogénico activo como a lo largo de la costa Pacífico donde están los volcanes Santa Helena(USA), Ruiz (Col.) y Misti (Per.). Hay otro tipo fundamental de montaña, la que nace empujada hacia arriba **por una intrusión** magmática o de un diapiro salino bajo la superficie.

14.2. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS MONTAÑAS

Una clasificación sintética de los tipos de montaña se presenta aún como una empresa muy difícil y aventurada, pues los criterios de clasificación son muy numerosos. Se puede adoptar la forma de conjunto, la dirección, la altitud, la antigüedad de la fase tectónica principal

o del último levantamiento, las disposiciones estructurales, las redes hidrográficas, los paisajes, etc. Los aspectos, volumen topográfico, aspectos morfoclimáticos y arreglos morfoestructurales, facilitan ésta clasificación.

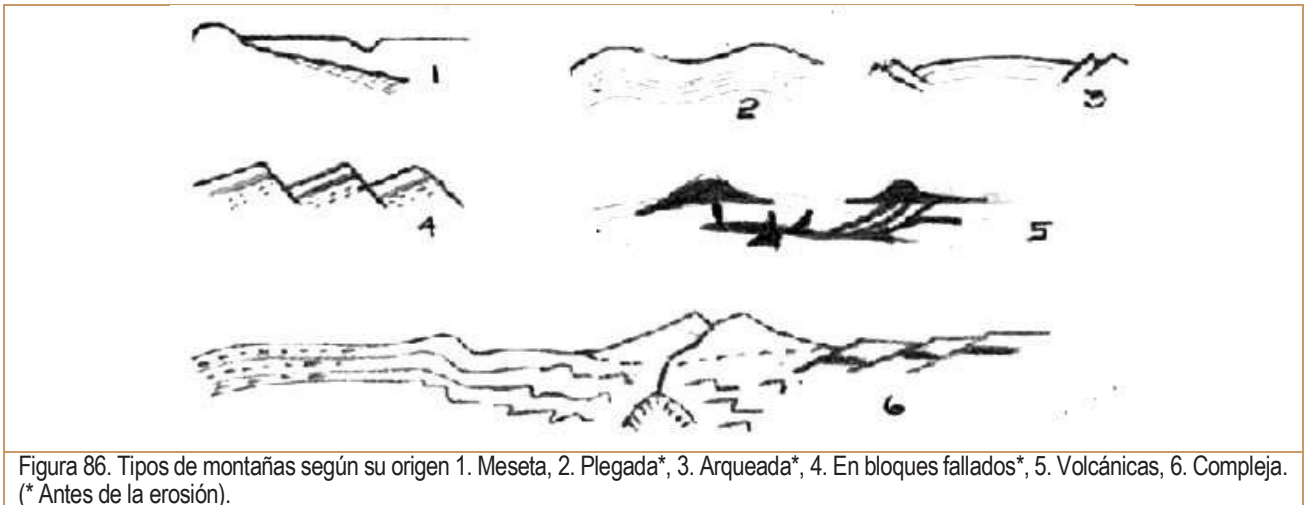


Figura 86. Tipos de montañas según su origen 1. Meseta, 2. Plegada*, 3. Arqueada*, 4. En bloques fallados*, 5. Volcánicas, 6. Compleja. (* Antes de la erosión).

14.2.1 Volumen topográfico. La importancia del volumen montañoso varía entre límites muy altos, pues existen montañas sencillas de algunos km. cúbicos, con una sola cumbre o restringidas cimas agrupadas. Es el caso de volcanes erguidos en islas aisladas en las extensiones oceánicas o sobre tierra (el Vesubio por ejemplo), o de las estribaciones separadas de las cordilleras plegadas.

Los macizos montañosos adoptan muy a menudo la forma de un arco en media luna (Jura, Himalaya), doble forma de "S" (Alpes, Andes), a veces muy poco pronunciada (Urales), otras incluso exagerada (Cárpatos). Pero también existen montañas de forma rectangular (Harz, Tian Chang), o de bordes rígidos (Vosgos, Sierra de Córdoba en Argentina), explicados a menudo por fallas limitadas que enmarcan el levantamiento. Las formas circulares son excepcionales o están mal delimitadas (Macizo Central Francés).

La dirección de conjunto de los macizos montañosos es muy variada. Se observa sin embargo un predominio de las direcciones submeridianas sobre el continente americano y en el litoral oeste del Pacífico, y de las direcciones Este Oeste en Eurasia. Actualmente se considera que la dirección de conjunto de los volúmenes montañosos es el resultado del dibujo y del movimiento de las placas sílicas, sin que por esto el problema haya quedado resuelto.

La altitud de los volúmenes montañosos depende de la amplitud del levantamiento más reciente y de la degradación experimentada por las cumbres, pues dadas ambas, proviene un cierto ajuste isostático, siendo normal que las cumbres más altas correspondan a los levantamientos más recientes (Everest, Mont Blanc). También las altitudes más pronunciadas se sitúan en los trópicos pues posiblemente se ha dado una migración de las orogenias hacia el Ecuador.

La aireación del volumen montañoso está conectada con la importancia de los puertos (divisorias de aguas) y de los valles, pues los primeros suelen coincidir con fallas o fosas tectónicas transversales, descensos de ejes de pliegues o ensilladuras. Ni la altitud ni el número de puertos guardan relación directa alguna con el volumen montañoso. Los valles cortan más o menos de manera densa y profunda el volumen montañoso donde los valles longitudinales se prolongan paralelos a los ejes de las cordilleras por facilidades estructurales como fajas de rocas blandas, sinclinales, fosas, líneas de falla o de cabalgamiento.

14.2.2. Aspectos morfoclimáticos. Las cordilleras de montañas llevan en su relieve la marca profunda de los sistemas de erosión que las atacan. Estos dependen esencialmente del clima el que a su vez viene determinado por el relieve actual y la latitud.

El relieve actual, que provoca un descenso de la temperatura, de un grado por 180 metros de altitud, supone violentos contrastes térmicos, fuertes vientos y un gran aumento de la pluviosidad. Las condiciones climáticas locales varían según la orientación de las vertientes (a barlovento o a sotavento, solana o umbría) y la altitud (frío más o menos vivo, zona de pluviosidad o de nubosidad máxima). La latitud, como para el resto del globo. El límite de las nieves perpetuas, función del régimen de las temperaturas y del de las precipitaciones, asciende desde el ecuador a los trópicos (5000 m), después desciende en las zonas templadas (de 2500 a 3100 en los Alpes) y en las zonas frías (600 m a 70° N). Cabe pues concebir una clasificación de las montañas según su situación en tal o cual zona climática, teniendo en cuenta por supuesto la acción de los paleoclimas del cuaternario. Son ellas montañas tipo templado (Vosgos y Jura, en Francia), montañas tipo polar (Antártida y Groenlandia), montañas tipo escandinavo (Escocia, Escandinavia, Labrador), montañas tipo alto alpino (Alpes e Himalaya), montañas semiárido (Sahara, Arabia), montaña tipo tropical (Macizo Brasileño).

14.2.3 Arreglos morfoestructurales. La clasificación morfoestructural aunque es la más interesante de todas, tropieza con numerosas dificultades como lo precario de los conocimientos actuales, la complejidad de los conjuntos montañosos que jamás son homogéneos en grandes extensiones y el criterio clasificador que integre elementos estructurales y morfológicos.

Los tipos regionales se han propuesto principalmente, bajo consideraciones estructurales. Aquí existirían en espacios del orden de las decenas de km:

1º desniveles principales que reproducen directamente las últimas deformaciones tectónicas, donde las cumbres corresponden a los puntos más elevados y las depresiones a los puntos más bajos.

2º Desniveles principales que se deben a la resistencia desigual de las rocas, donde los puntos altos corresponden a las capas más duras y los bajos a las más blandas.

3º Desniveles principales que se sitúan entre crestas y depresiones, donde la red hidrográfica que se desarrolla sobre un material rocoso relativamente homogéneo es la que crea por sí misma la organización del relieve.

Los tipos planetarios se han propuesto a nivel continental como morfoestructuras del orden de los cientos y miles de km.. Son las mismas cordilleras que se describirán adelante cuyos criterios no pueden ser los mismos utilizados en los tipos regionales pues se distinguen porque aquí se ponen en evidencia los grandes dominios estructurales que dividen el planeta.

14.3. TIPOS DE CORDILLERAS O PLEGAMIENTOS

Se pueden distinguir cuatro tipos principales de cordilleras, cuyo origen e instauración derivan de procesos distintos:

14.3.1 Cordilleras intracontinentales o intracratónicas. Se desarrollan en partes ya consolidadas de la corteza terrestre y no en los fondos oceánicos. Se caracterizan por una tectónica de fondo y otra de recubrimiento que afecta a una cobertura poco diferente de la de las cuencas sedimentarias vecinas. Ejemplo los Pirineos y Urales, en donde predomina la tectónica de fondo o Provenza y Jura donde es la tectónica de cubierta.

14.3.2 Dorsales medio-oceánicas. Comprenden una "provincia de cresta" de aproximadamente 10 Km. de ancho, cuyo eje lo ocupa una fosa o rift de una profundidad a veces de 3 Km.

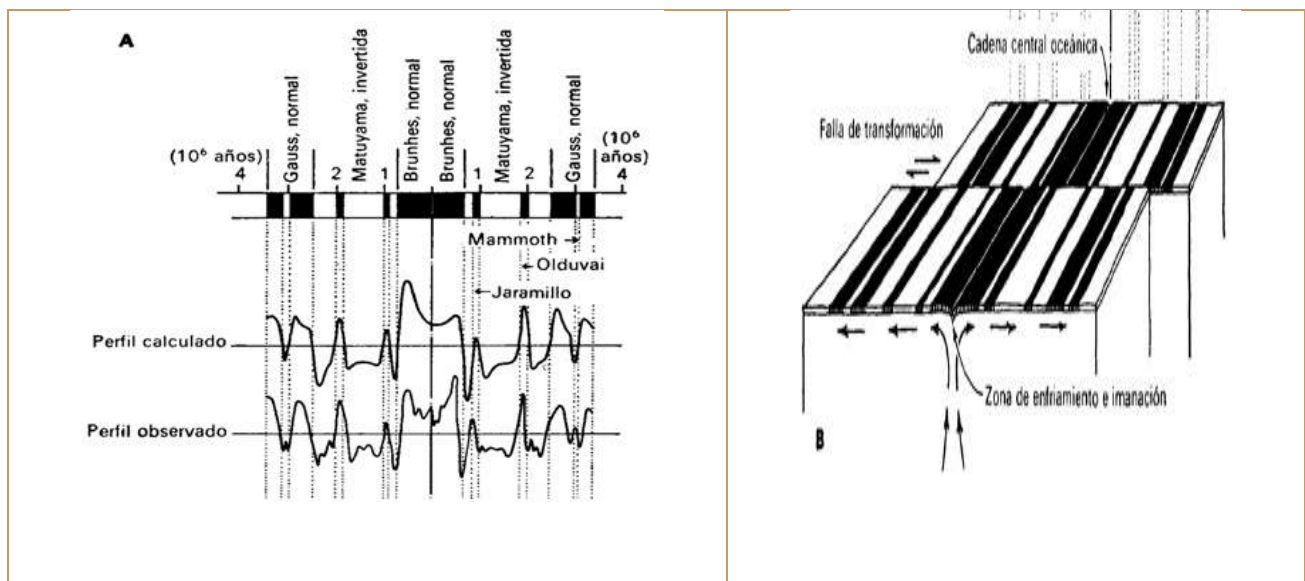


Figura 87. Magnetismo fósil en el fondo oceánico. Se muestran los grandes períodos del paleomagnetismo pliocuaternario a uno y otro lado de la cadena del Pacífico Oriental, registrados en la magnetita de los basaltos oceánicos. En A se muestra la coincidencia entre los perfiles de anomalías geomagnéticas observado y calculado; en B, la expansión del fondo oceánico e inversiones geomagnéticas. Tomado de ¿Qué es la Tierra? Takeuchi y otros.

En ocasiones las dorsales son el resultado de la consolidación del basalto suboceánico y están en el origen de la expansión del fondo de los océanos.

14.3.3 Cordilleras geosinclinales o intracratónicas (tipo alpino). Caracterizadas por flysch, ofiolitos y mantos de corrimiento. Los arcos insulares (Japón, Islas de la Sonda) comprendidos entre un cratón y una placa pueden ser asignados a éste tipo).

14.3.4 Cordilleras liminares o pericratónicas (tipo andino). Desprovistas de flyschs, ofiolitas y mantos de corrimiento, pero donde el vulcanismo es activo. La unión de las dos cordilleras liminares no puede dar en ningún caso una cordillera geosinclinal.

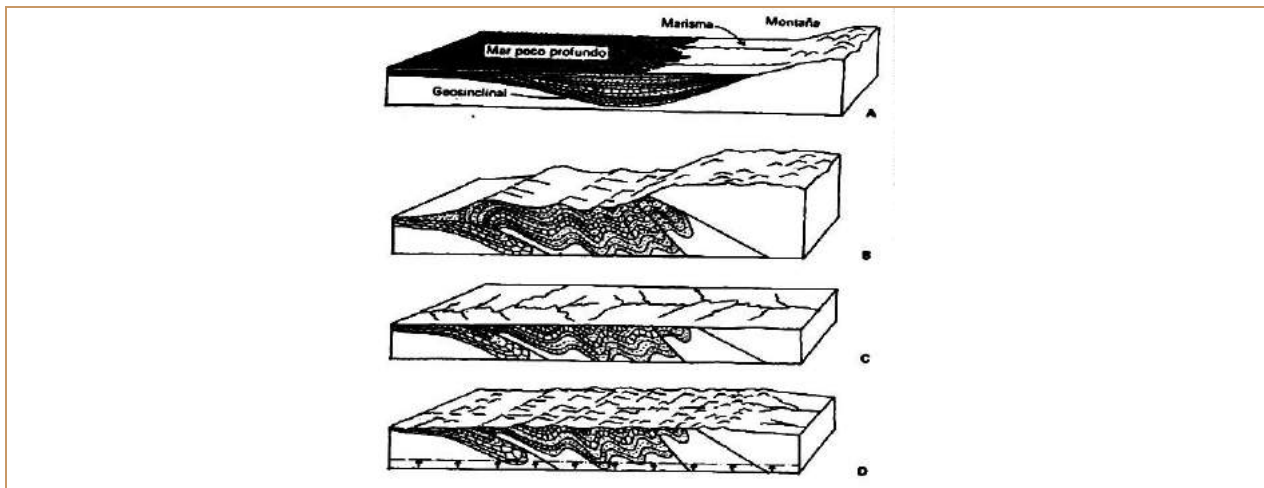


Figura 88. Colisión entre placa continental y placa oceánica. El esquema ilustra la causa de la elevación de los geosinclinales desde la fase de acumulación (A), pasando por la de plegamiento (B) y erosión (C), hasta la elevación por ajuste isostático (D). Tomado de ¿Qué es la Tierra?, Takeuchi y otros.

14.4. GEODINAMICA

Es el estudio del conjunto de procesos que modelan y alteran la estructura de la corteza, donde se incluyen las fuerzas externas que actúan hacia abajo desde la biosfera y las internas que actúan hacia arriba y desde el interior del planeta. La geodinámica interna estudia pliegues, fallas, etc. y la externa el modelado del paisaje debido al viento, agua, hielo, etc.

El planeta está sometido a un proceso de gradación continua, donde intervienen fuerzas de degradación que tratan de nivelar los continentes, asociadas a la meteorización, la erosión y los movimientos masales, y fuerzas de agradación opuestas a las anteriores, que tratan de reconstruir el relieve, como son el vulcanismo y el diastrofismo. Ver capítulo 8, numeral 8.1: Procesos externos.

Las **fuerzas endógenas** son sistemáticas y las **exógenas** son aleatorias o estocásticas. Las fuerzas endógenas se asocian a movimientos epigenéticos (de ascenso y descenso) y orogénicos (horizontales o verticales) de la corteza.

Al examinar los problemas que conciernen a la corteza y a la superficie del globo parece que el núcleo no interviene en la orogénesis. Los principales problemas están relacionados con el estado térmico de la corteza (el problema del gradiente geotérmico), los antecedentes del vulcanismo (el carácter constructivo del relieve), los antecedentes de la sismología (los terremotos acompañan a la orogénesis), las anomalías magnéticas (las perturbaciones magnéticas pueden preceder los sismos y obedecer a desplazamientos de magma), el paleomagnetismo (la alternancia de períodos de polaridad normal e inversa en las rocas de los fondos oceánicos), los sondeos oceánicos (los sedimentos marinos muestran antigüedad creciente conforme nos alejamos de las dorsales) y la isostasia (los continentes siálicos penetran tanto más el Sima cuanto más se elevan).

14.4.1 Formas del movimiento de la corteza. Las tres grandes formas del movimiento de la corteza son dictiogénesis, epirogénesis y orogénesis:

- **Dictiogénesis.** Movimiento que genera grandes abombamientos, arqueamientos, plegamientos y umbrales sin cambiar la estructura de las rocas.

- **Epirogénesis.** Movimiento causa de regresiones y transgresiones marinas, de formación de umbrales y depresiones (geoanticlinales, y geosinclinales) como espacios de erosión y sedimentación. Son movimientos lentos de ascenso y descenso de la corteza a nivel macro pero sin perturbación ni fracturamiento de estratos.

- **Orogénesis.** Movimientos tectónicos que forman montañas y en general los relieves de la corteza. Se originan en varios estadios y se acompañan de ciclos magmáticos. En la actualidad el mecanismo orogénico casi únicamente aceptado es el de la tectónica global o tectónica de placas, aunque existen y han existido otras teorías de las que algunas cuentan con defensores.

14.4.2 Estadios de la orogénesis. Los estadios de la orogenia son cinco a saber:

- **Geosinclinal.** Deposición de espesas capas de sedimentos en los geosinclinales lábiles y hundidos.

- **Altorógeno (paroxismal).** En lo profundo de los geosinclinales, y unidos al estrechamiento del espacio, tienen lugar movimientos en los que las capas se pliegan y fracturan.

- **Flysch** (calizas arenosas o amargas). Las montañas aparecen en la superficie como grupos aislados y el flysch, traído de la superficie, se deposita en el fondo marino.

- **Posorogénico.** Los orógenos formados en los dos primeros estadios son presionados a partir del subsuelo plástico y se levantan formando montañas.

- **Estadio de las molasas** (areniscas de cemento calcáreo). Comienzo de la erosión intensa, así el material erosionado es depositado en las depresiones situadas delante de las cordilleras.

Es importante conocer los cimientos de las montañas, es decir, los geosinclinales y su evolución. La palabra geosinclinal tiene un origen que se basa en dos constataciones, el extraordinario espesor de los sedimentos depositados en ciertos puntos del globo (13 Km. en los Apalaches y 20 Km. en las Montañas Rocosas), durante un período relativamente corto de tiempo (algunas decenas de millones de años), y después la desigualdad de espesor de los depósitos correspondientes a la misma duración en regiones vecinas, relación comprendida entre 1/2 y 1/100 (y que entre los Apalaches y la cuenca del Mississipi es 1/10).

Para explicar estos dos fenómenos se supone que el fondo de la depresión donde se efectúa el depósito penetra progresivamente en el magma bajo el peso de los sedimentos, formando una extensa cubeta o sinclinal de Sial dentro del Sima. Cálculos precisos han mostrado que el peso de los sedimentos era por sí sólo insuficiente para explicar éste hundimiento progresivo, llamado también subsidencia. Hundimiento que se ve favorecido por causas que provienen de la orogénesis, compresión lateral o succión del Sial mediante movimientos de convección del magma según se mostrará en los estadios y ciclos siguientes.

Los sedimentos del geosinclinal son de facies profunda o batial. Esta opinión ha sido combatida ulteriormente ya que el flysch, que se halla presente en todos los geosinclinales, es el resultado de una sucesión de lechos de esquistos finos y de sedimentos más groseros y mal calibrados (areniscas, conglomerados), que se repiten rítmicamente en un espesor considerable. Cabría pensar pues, que el depósito se efectuó cerca de las orillas en un mar poco profundo (facies nerítica). Pero ni las causas de la ritmicidad (hundimiento por tirones, variaciones climáticas, corrientes de turbidez), ni la profundidad del depósito, son conocidas actualmente con certeza.

Tampoco conviene perder de vista que existe un magmatismo geosinclinal y una noción de metamorfismo que los acompaña, y menos conviene perder de vista que la noción de geosinclinal es inseparable de la de orogénesis. En un plano más general, donde existen cordilleras no geosinclinales, también se presentarán dichos fenómenos, como se ilustra con los ciclos magmáticos que acompañan los estadios de la orogenia.

14.4.3 Ciclos magmáticos. Los estadios de la orogénesis se acompañan de ciclos magmáticos que son cinco, a saber:

- **Inicial.** Magmas básicos son movilizados durante el período geosinclinal.

- **Sinorógeno.** Transformación de magmas graníticos en gneises durante el plegamiento.

- **Tardiorógeno.** Presencia de magmas ácidos que ascienden al final del plegamiento.

- **Subsecuente.** Magmas intermedios son movilizados al final del plegamiento.

- **Final.** Magmas básicos cerrando el ciclo magmático.

14.5. CAUSAS DE LAS FUERZAS ENDOGENAS DE LA OROGENIA

Las teorías relevantes en la orogenia son: contracción termal, corrientes de convección, deriva continental y tectónica de placas.

14.5.1 Contracción termal. La pérdida de energía de acreción de la Tierra (enfriamiento) ocasiona la disminución de su volumen y el encogimiento consecuente de la corteza. El enfriamiento no se da en el núcleo, tampoco en la corteza, ocurre fundamentalmente en la zona de desorden atómico del manto. En contra de la teoría se discute la no distribución de las cordilleras en arcos de círculos máximos y de manera más regular, según los criterios de uniformidad con los cuales se pierde el calor es un modelo de capas esféricas concéntricas.

14.5.2 Corrientes de convección. Las corrientes de convección someten al manto a un flujo plástico entre el núcleo caliente y la corteza fría; la velocidad del flujo es de 12 cm por año. Las corrientes emergen por las dorsales, se desplazan horizontalmente arrastrando las placas tectónicas para sumergirse por las zonas de subducción. En las zonas de subducción se arrastran materiales y se forma geosinclinales; aquellos ocasionan un freno local de las corrientes de convección y como consecuencia los materiales que se fusionan generan las montañas. Se discute en contra de la teoría el que el manto tenga zonas de discontinuidad.

14.5.3 Deriva continental (Wegener 1912). Supone la existencia de un sólo continente Pangea, que se subdivide en dos grandes continentes Laurasia al norte y Gondwana al sur; pero ellos se subdividen en otros. Los continentes por menos pesados (SIAL) flotan sobre el SIMA. África y América se separan para dar origen al Atlántico mientras el Pacífico, el más primitivo de los océanos, perdió espacio; también de África se desprendieron la India anterior y la Antártica, mientras que América se separó del bloque Euroasiático; la deriva empezó hace 150 millones de años (Mesozoico) fue intensa hace 50 millones de años (Cenozoico) y sólo en el pleistoceno tomó el planeta su actual fisonomía.

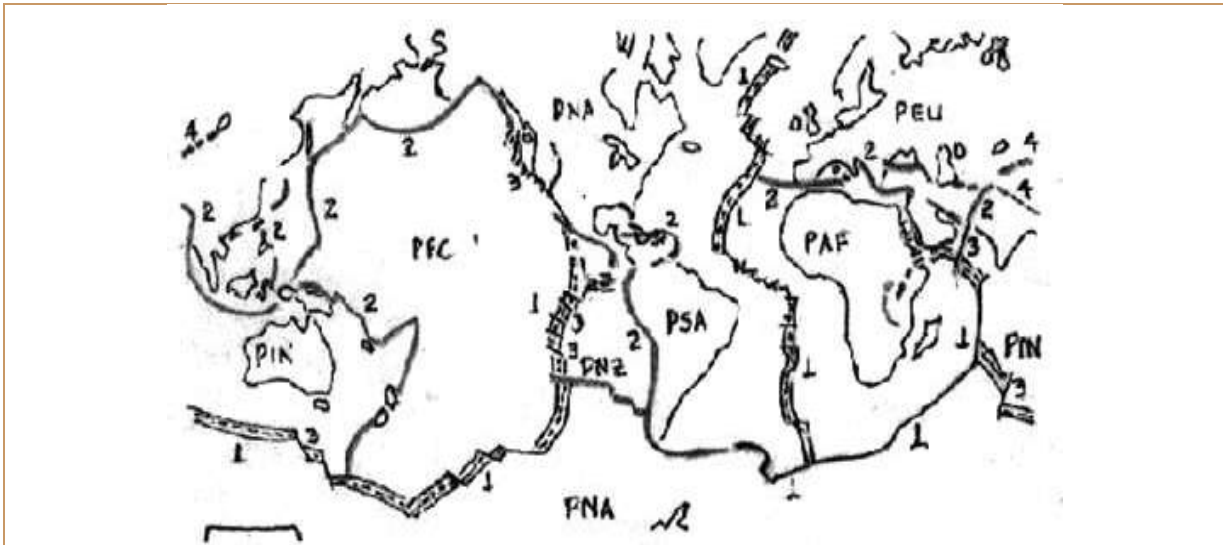


Figura 89. Placas principales y sus límites: 1. límites constructivos, 2. límites destructivos, 3. fallas transformantes, 4. límites inseguros, 5. dirección de movimiento de placas. Placa Pacífico PPC, Placa Norteamericana PNA, Placa Suramericana PSA, Placa de Nazca PNZ, Placa Antártica PAN, Placa Africana PAF, Placa Euroasiática PEU, Placa Indoaustraliana PIN.

Por la rotación de la Tierra los continentes se desplazan del polo al Ecuador, donde la fuerza centrífuga es mayor; simultáneamente los continentes se van retardando por inercia al occidente mientras la Tierra gira hacia el oriente. Por el efecto de "aplanadora" en los dos movimientos se pueden explicar montañas así: en el primer caso el Himalaya y los Alpes en el costado de avance y en el segundo los Andes y las Rocallosas, sobre el costado occidental.

En la corteza se diferencian los fondos oceánicos siempre jóvenes con sus dorsales, y los continentes más antiguos emergidos con sus cordilleras. La corteza de la Tierra, se regenera y destruye, conforme se mueve a modo de banda transportadora, impulsada por las corrientes de convección del manto plástico.

En el metamorfismo regional y dinámico, por la presión, la roca fluye y así sus minerales tienden a alargarse y aplanarse formando bandas paralelas por lo que la roca toma una propiedad llamada foliación. En otros ambientes, la roca se transforma sin tratar de fluir ni bandearse con lo que la textura puede ser foliada o no foliada. La textura o clivaje foliado, puede ser pizarrosa, filítica, esquistosa o gnéisica; la textura no foliada puede ser densa o granular.

No explica esta teoría montañas interiores como los Apalaches y otras ya desgastadas que existieron sobre los escudos o cratones; todas ellas anteriores al supuesto Pangea.

14.5.4 Tectónica de Placas. De la última glaciación del paleozoico quedan sobre rocas de varios continentes, huellas que sumadas a sus rasgos comunes permiten ensamblar el anterior Pangea. Los pasados depósitos de tillita dejaron surcos sobre la roca de base que advierten la posición ensamblada de los continentes en la pasada edad del hielo. Esas direcciones concordantes se explican por la dirección de avance y retroceso de los hielos en ese período. Resulta interesante estudiar si los depósitos de arena de pasados ambientes eólicos muestran una dirección concordante a la de los vientos en el hipotético ensamblaje del Pangea.

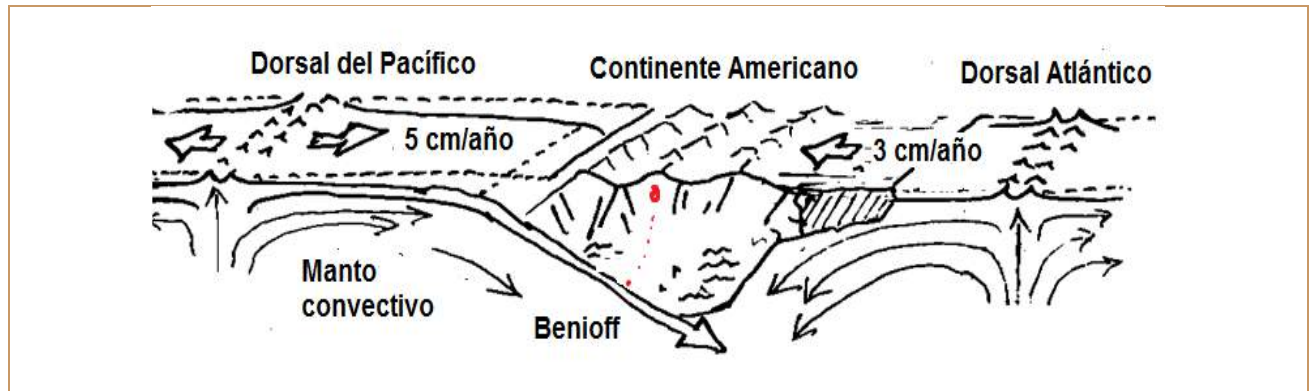


Figura 90. La Deriva Continental en el marco de los Andes. Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/11052053.pdf>

En 1950 se descubre el paleomagnetismo y se advierte con él un desplazamiento continuo de los fondos oceánicos; en las rocas se ha fosilizado la alternancia en la dirección del dipolo magnético terrestre con período del orden de los 700 mil años. En el fondo oceánico las rocas no superan los 150 millones de años de antigüedad, mientras que en los continentes alcanzan los 3000 millones de años. Supuestamente el fondo oceánico está regenerándose de continuo: el borde constructivo de las placas lo constituyen las dorsales oceánicas, el borde destructivo las zonas de subducción (márgenes continentales activos y arcos de islas) y el borde pasivo de ellas son las fallas de transformación. La corteza de la Tierra se conforma por doce placas, subdivididas en otras menores.

Respecto al flujo convectivo la dirección del desplazamiento de las placas puede ser concordante; si el flujo contribuye el desplazamiento, o contraria si el desplazamiento de la placa tiene que vencer la fricción del flujo convectivo.

14.6. SUCESION Y CLASIFICACION DE LAS OROGENESIS

14.6.1 Edad de las principales fases de plegamiento en América

Cuadro 19. Fases de plegamiento en América.

PERIODO	TIEMPO (millones de años)	FASE DE PLEGAMIENTO
Cuaternario	2	Fase pasadeniense (Coast Rangers, Sierra Nevada)
Plio-mioceno	15 a 25	Orogenia de Coast Rangers
Eoceno	65	Plegamientos laramienses (Montañas Rocosas)
Jurásico	135 a 180	Plegamientos nevadienses (Sierra Nevada, Andes)
Pérmico	225 a 280	Revolución apalachiana
Devónico	345 a 400	Plegamientos acadienses (Apalaches)
Ordovícico	440 a 500	Plegamientos tacónicos (Apalaches, América del Sur, Groenlandia)
Precámbrico	570 a 700	Plegamientos Keweenawanienses (Canadá)
Algónquico	700 a 1000	Plegamientos uronienses (Canadá)
Arcaico	1000 a 2000	Plegamiento laurentienses (Canadá)

Fouet-Pomerol. Las montañas, Orbis, 1986.

El número de ciclos de actividad orogénica es cercano a cien. Períodos considerados en otros tiempos como de calma revelan unos plegamientos. La mayor parte de cordilleras circumpacíficas se remontan a la era secundaria (paleozoica), relativamente tranquila en Europa occidental, mientras los montes Salair de Asia central se plegaron en el cámbrico.

No obstante aunque algunos geólogos estimaron que tales paroxismos tectónicos eran universales y sincrónicos y que apenas se distinguían unas cuarenta fases de 300 mil años cada una, tal opinión fue firmemente combatida señalando discordancias terciarias en varios lugares.

14.6.2 Velocidad del proceso. Hay que admitir que una velocidad orogénica de 10 cm por siglo puede acelerarse y se puede citar como ejemplo la península Idu en Japón que se eleva 20 cm cada año. También depósitos de sedimentos rítmicos como flyschs y molasas suponen períodos de levantamientos bastante superiores a los 300 mil años.

Se deduce de lo anterior que la orogénesis es un proceso lento y continuo cuyo ritmo desigual puede dar lugar a paroxismos que no aparecen mundialmente ni de manera simultánea. Se puede por otra parte disociar la orogénesis de la tectogénesis, pues es posible que los movimientos de cobertura aparezcan continuos, mientras que el levantamiento del zócalo procede por sacudidas.

14.6.3 Neotectónica. El cuaternario no es ciertamente una época singular: se da el nombre de neotectónica a la tectónica reciente que se traduce a veces por levantamientos de varios centenares de metros (islas de la Sonda, Calabria, Tunicia), medidas muy precisas de nivelación y minuciosos estudios de geomorfología permiten ponerla de manifiesto en áreas calificadas de tranquilas (Pays de Bray y Picardía). Para los ingenieros la neotectónica da información fundamental sobre procesos que tienen vigencia y que puede comprometer la estabilidad de importantes obras.

14.7. ESTILOS ESTRUCTURALES DE LOS TERRENOS DE COLOMBIA

Los siguientes apartes se toman de la publicación geológica especial de Ingeominas N14-1 de 1986, titulada Mapa de terrenos geológicos de Colombia. En la Imagen 39 se anexa el mapa a escala reducida del mismo documento.

Los terrenos son como fragmentos diversos de placas yuxtapuestas que conforman un mosaico de piezas soldadas entre sí. Estos se dividen en grupos y a su vez los grupos en formaciones. Los terrenos están caracterizados por poseer litología, estratigrafía, estilo estructural e historia propia, y por tener como límites con los terrenos vecinos fallas. Aludiremos aquí sólo al estilo estructural, a la estratigrafía y a los límites de algunos terrenos.

14.7.1 Terreno Cajamarca

- **Estilo estructural.** Pliegues imbricados con convergencia al W y expresión subvertical del plano de falla, y fallamiento con desplazamiento a lo largo del rumbo; rumbos dominantes NS a N50° E, y una dirección secundaria N40-60°W.

- **Estratigrafía.** Intercalaciones de sedimentitas pelíticas, samíticas y calcáreas con derrames básicos; volcanoclásticas básicas metamorfizadas en facies de esquistos verde a anfibolita (grupo Cajamarca).

- **Límites.** (Faja que nace en Pasto y muere al norte de Antioquia)

W: Sistema de Fallas de Romeral.

E; Sistemas de fallas del W del río Magdalena hasta Puerto Triunfo y luego NS Falla Otú.

NW: Falla de Murrucucú.

S: Convergencia del sistema de fallas de Romeral y el sistema de fallas del W del río Magdalena, a lo largo del río Guáitara.

14.7.2 Terreno Payandé (suprayacente devónico-jurásico inferior)

- **Estilo estructural.** Fallamiento con expresión subvertical de los planos de falla que delimitan bloques levantados o hundidos; el fallamiento con rumbo general NW es Jurásico superior.

- **Estratigrafía.** Sedimentitas del Devónico y Carbonífero, en relaciones localmente discordantes con la formación Luisa, formación Payandé y formación Saldaña.

- **Límites.** (Faja que se extiende de Mocoa a Ibagué)

W: Desde Armero, Falla Pericos hasta intersección con el sistema de fallas de Romeral.

E: Sistema de Fallas Suaza-Prado hasta su intersección con la Falla Cucuana y desde allí, Falla Honda hacia el norte.

14.7.2 Terreno Cauca-Romeral

- **Estilo estructural.** Fallamiento imbricado con convergencia variable.

- Límites de Cañasgordas. (Cordillera Occidental desde Nariño hasta el Valle).

W: Falla del río Atrato.
 E: Sistema de Fallas del río Cauca.
 S: Falla de Garrapatas.
 NE: Falla Dabeiba.

- Límites de Dagua. (W de Risaralda, E de Chocó y W de Antioquia).

W: Falla del Atrato y discordancia con el terreno suprayacente Atrato-San Juan-Tumaco.
 E: Sistema de fallas del río Cauca.
 N: Falla de Garrapatas.
 S: En Ecuador, intersección con la prolongación transformante del Sistema de Fallas de Romeral.

14.7.5 Terreno suprayacente Atrato-San Juan-Tumaco

- Estilo estructural. Pliegues imbricados con convergencia W que incluyen escamas de corteza oceánica.

- Estratigrafía. Secuencias faciales turbidíticas, isópicas heterócronas (?).

- Límites. (Costa Pacífica exceptuando la región de Baudó).

W: Discordancia y fallamiento (paleosutura?) contra el Terreno Baudó.
 E: Falla del Atrato.
 N: Fallamiento contra el Arco de Sautatá.

14.7.6 Supraterreno Cretácico

- Estilo estructural. Pliegues de cobertura con convergencia variable.

- Estratigrafía. Sedimentitas e intrusivos básicos del cretácico inferior y medio.

- Límites. (Entre Neiva y Santander por el E del río Magdalena).

E: Llanos Orientales.
 W: Sistema de Fallas de Romeral.

14.7.7 Terreno suprayacente cenozoico (vulcanogénico terciario- cuaternario)

- Morfología. Estratovolcanes. El vulcanismo está generado por la subducción de la Placa de Nazca bajo el margen W de la Placa Suramericana.

- Estratigrafía. Conos y calderas, flujos de lavas, tefras, lahares.

- Límites.

E-W: Irregulares, a ambos lados del eje de la Cordillera Central. Valle superior del río Magdalena. Localmente en la parte central de la Cordillera Occidental en el Departamento del Valle del Cauca.

14.8. EL AGUA EN LA BIORREGIÓN CALDENSE

Mientras la nueva Ley de Ordenamiento Territorial propone superar la visión municipalista y no desestructurar territorios en el nuevo ciclo de ordenamiento territorial, también anticipadamente en el alba del siglo XXI, desde Alma Mater con ejercicios de planificación prospectiva que involucraron al Eje Cafetero, Norte del Valle y Norte cordillerano del Tolima, se definió la Ecorregión Cafetera con 92 municipios que comparten ecosistemas estratégicos y afinidades culturales y de desarrollo en torno al café. Pero hoy, lamentablemente Manizales continúa construyendo un POT sin haber concertado los lineamientos para la subregión Centro Sur de Caldas, y menos con el área metropolitana de Pereira buscando generar sinergias, lo que afectaría la viabilidad de los modelo de ocupación territorial de lado y lado, de surgir conflictos al desestructurar territorios, o por imprevistos ambientales en temas de bienes comunes patrimoniales como el agua y el suelo, donde el cambio climático impone grandes desafíos.

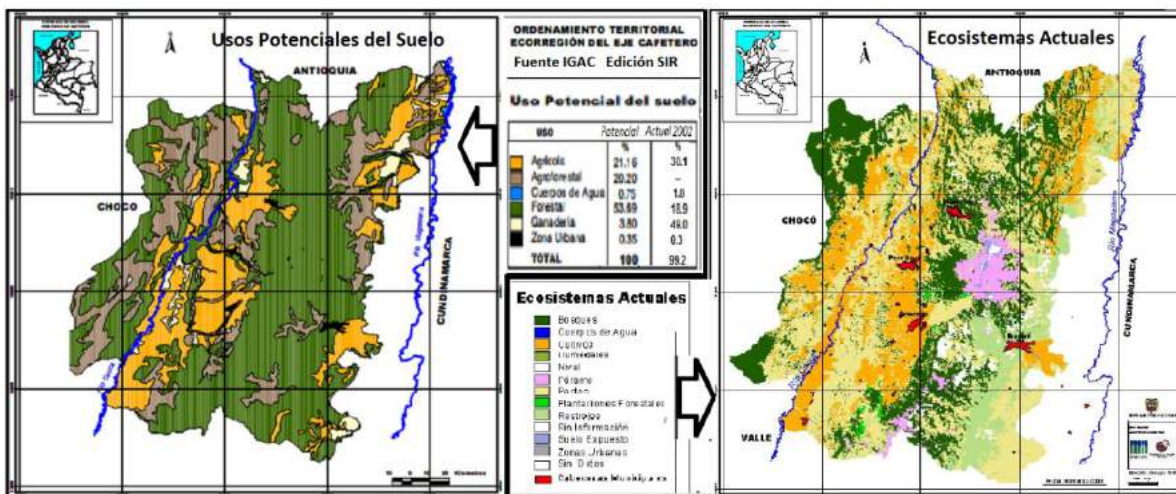


Imagen 82: Coberturas: Usos potenciales del suelo y Ecosistemas de la Ecorregión Cafetera al 2000, advirtiendo la deforestación del territorio. SIR - Red Alma Mater (2000)

Allí Caldas con cerca de un millón de habitantes en 27 municipios, unos en la hoya central del Cauca y otros en el Magdalena Centro, aparece definida como una construcción social e histórica de singular carácter, no sólo por la condición mediterránea y biodiversa de su territorio, sino también por los procesos culturales emprendidos en sus subregiones, donde habitan comunidades con diversas identidades y en continuo mestizaje, primero desde la Conquista y la Colonia, y luego tras la colonización del siglo XIX. Quienes vienen construyendo una visión para la Ecorregión Cafetera, ven en este espacio dotado de unidad territorial la oferta ambiental disponible en unidades ecológicas prioritarias, y las posibilidades de articular su demanda a las dinámicas de las áreas urbanas, definiendo y caracterizando con rigor la “biorregión”, entendida como un territorio de agua y suelo cuyos límites están definidos por las fronteras geográficas de comunidades humanas y ecosistemas. Veamos el caso nuestro.

En 2004, Caldas con cerca de 127 mil Ha en bosques, 251 mil Ha en cultivos y 336 mil Ha en pastos y rastrojos, cuantías que cubrían el 96% de su escarpado, verde y deforestado territorio, para preservar el agua y la biodiversidad debió lograr la recuperación integral de sus cuencas, yendo más allá de los escenarios naturales más sobresalientes, como lo son: los cerros de Tatamá y Caramanta, como visibles elementos del corredor biológico de la Cordillera Occidental que dominan el poniente de Manizales; el sistema de páramos que viene de Sonsón y sigue a Roncesvalles con sus fértiles tierras en San Félix y Marulanda, lugar donde se establece el Complejo Volcánico Ruiz-Tolima; y la Selva de Florencia, ecosistema con alto grado de endemismo, ubicado en límites de Samaná y Pensilvania.

Sobre el recurso hídrico disponible, en cuanto al sistema subterráneo sobresalen las zonas de recarga en áreas cordilleranas altas, como páramos y sectores vecinos de gran cobertura boscosa, lo que incluye el Parque de los Nevados y su área de amortiguación, o las regiones del Oriente caldense donde la copiosa precipitación explica un recurso hídrico excedentario, susceptible de aprovechamientos hidroenergéticos responsables, mientras otra sería la situación para los acuíferos asociados al valle interandino del Magdalena, cuyas importantes reservas de agua se establecen a profundidades que van desde decenas hasta algunos cientos de metros, donde habría que perforar las potentes capas sedimentarias de edad terciaria, hasta interceptarlas para extraerlas.

Si en la Ecorregión Cafetera el recurso hídrico más comprometido es el de las cuencas donde se fundan las capitales con sus áreas industriales exacerbando la demanda, y mañana lo será la conurbación Honda – La Dorada, Manizales y este puerto caldense deberían implementar una política pública para el agua, declarándola patrimonio público. También en Caldas, urge tomar previsiones similares en cabeceras con riesgo de déficit severo, caso Marmato y Riosucio como consecuencia de la centenaria actividad minera, o Salamina, La Merced y Filadelfia por las malas prácticas pecuarias, situación que compromete las ventajas estratégicas del corredor La Felisa – Km 41 – La Virginia, dada una amenaza asociada al suministro que se extiende a Quinchía, Marsella, Apía, Balboa y Cartago, comprometiendo severamente el desarrollo industrial y urbano, en el escenario estratégico y más promisorio para la ciudad región Pereira – Manizales, como potencial nodo logístico con privilegios para emplazar industrias químicas de base minera, entre otras.

[Ref.: La Patria, Manizales, 2014.11.10]

14.9. ¿REGRESIÓN AMBIENTAL EN LA RESERVA DE RÍO BLANCO?

RESUMEN: Reducir la huella de carbono seis veces separando aguas negras y lluvias, arborizando, usando bioingeniería e incorporando tecnologías verdes de diseño urbano, aunque sea meritorio máxime cuando no se tienen precedentes en Manizales, no significa que quienes pretenden urbanizar el Anillo de contención o ZFA de una Reserva Forestal Protectora no estén en el lugar equivocado, dado que mientras el medio natural captura carbono la “jungla de concreto no lo hace. Como fundamento, el estudio *“Articulación de ZFA de Áreas Protegidas - SIDAP Caldas”* elaborado por la Fundación Grupo HTM en 1014 para Corpocaldas, señala en la página 31 que el anillo de contención en las RFP debe tener 700 m de ancho y en el PNN de los nevados 1000 m. Lo anterior, como soporte técnico será complementado en estas notas.

A continuación se describe la magnitud de un impacto severo y no mitigable sobre un bien ambiental fundamental, cuya licencia ambiental concedida y el uso urbano declarado en el POT en 2003, violan el Artículo 78 de la Constitución Política, los tres principios rectores consagrados en el Artículo 2 de la Ley 388 de 1997, y la Resolución 1922 de 2013 (Artículo 2°), toda vez que se configura una amenaza de ecocidio asociada a la progresividad del daño en una Zona con Función Amortiguadora ZFA, cuando al urbanizarse La Aurora y sectores contiguos, tal cual ocurre ahora con la ciudadela Tierraviva que pretende llevar 10 mil habitantes a 12,5 hectáreas, de 56 que posee la empresa urbanizadora que pretende capturar la plusvalía urbana a costa de los impactos urbanos sobre la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco, bien público que le provee el 35% de agua de la ciudad y que alberga especies endémicas vulnerables en peligro de extinción, razón por la cual dicha propiedad no podrá cumplir con la función social y ecológica, sin importar la prevalencia del interés general y la socialización de los perjuicios para satisfacer el mercado inmobiliario.

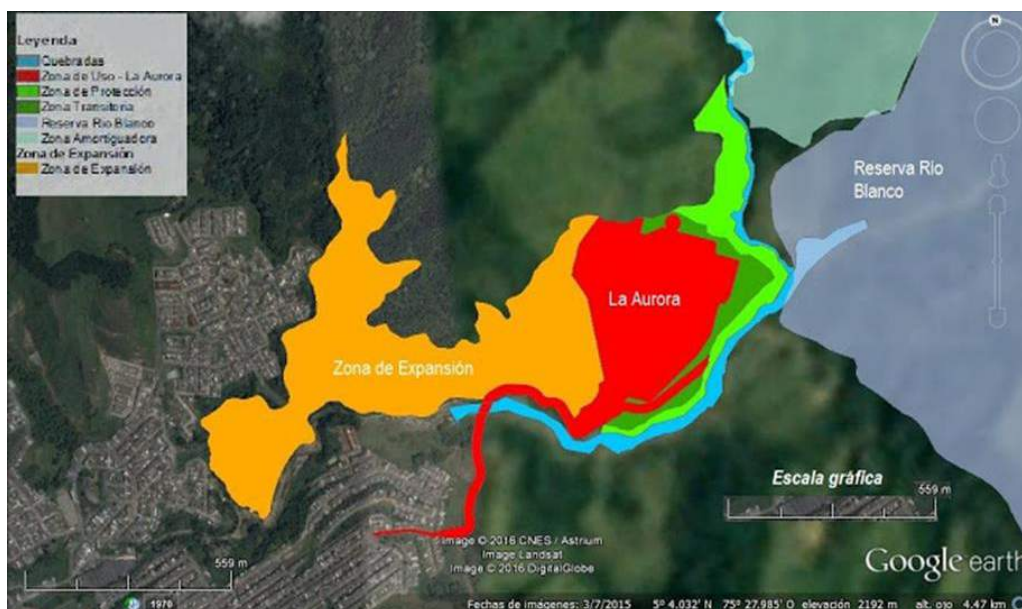


Imagen 83: Plan Parcial La Aurora, mostrando su vecindad a la Reserva Río Blanco diez veces menor que la de Manizales a dicha reserva, (140 m contra 1,4 km), con lo cual los impactos lumínicos y térmicos de Tierraviva serán 100 veces mayores que los de Manizales. Fuente: Centro de Estudios y Gestión de Derechos para la Justicia Espacial. Ver [Anchos de las franjas amortiguadoras ZFA recomendados en 2014 por la Fundación Grupo HTM para las AP de Caldas \(Pag 31\)](#).

Si por estar a 14 km de Manizales y Pereira el PNN de los Nevados requiere un Anillo de contención de 1 km, ¿por qué no darle los 700 m recomendados por la [Fundación Grupo HTM](#) a la ZFA de la Reserva Forestal de Río Blanco en La Aurora, sabiendo que los impactos de Tierraviva construida a sólo 140 m del área que se debe proteger serán 10 mil veces superiores a los de Manizales, por urbanizar 100 veces más cerca de la Reserva? ¿Puede Corpocaldas desconocer la recomendación del citado estudio elaborado para la misma entidad, recomendando para las reservas Forestales Protectoras de su jurisdicción un ancho de 700 m, al permitir la urbanización a solo 140 m de la Reserva Río Blanco?

La fragilidad del oso de anteojos que se trasladó a Barranquilla como símbolo, expresa la vulnerabilidad de especies silvestres protegidas en la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco, que están en riesgo de extinción, frente a la amenaza del poder económico de urbanizadores que pretenden desnaturalizar la función ecológica de La Aurora, una Zona con Función Amortiguadora ZFA contemplada en el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Cuenca del Río Chinchiná POMCA, documento vinculante que señaló los Anillos de Contención de las áreas protegidas en las Pág. 30 y 31, y que luego se cambia retirando dicho fragmento e imagen (véase Imagen 62 B Cap 13). El objetivo perverso al cambiar el uso del suelo previsto para la protección de dicho bien esencial [alterando el POT de 2001 en el año 2003](#) sin los protocolos debidos, persigue la plusvalía urbanizando el lugar sin que importe la función legal de la propiedad.

Vendrá la plenaria del Concejo para considerar el POT de Manizales: ¿olvidará la corporación el Cabildo Abierto donde 61 de las 76 ponencias que se ocuparon de La Aurora, en su mayoría reclamaron no vulnerar con el uso urbano del suelo en la ZFA la Reserva de Río Blanco, por tratarse de un gran pulmón de la ciudad, fuente abastecedora del 35 por ciento de su agua y hábitat de varias [especies endémicas](#), vulnerables o en peligro de extinción?; ¿desconocerá nuestra corporación el proceso implementado por la Presidencia del Concejo y el histórico Acto Administrativo de la Comisión del Plan, que excluye en 2017 La Aurora como zona de expansión urbana?

A favor de la Reserva de Río Blanco, para la cual 10500 firmas reclaman protección, gravitan dos hechos rectores: uno, Colombia acogió el Convenio proclamado en Río de Janeiro en 1992, al expedir la [Ley 165 de 1994](#) donde se compromete a proteger la diversidad biológica; y dos, la [Ley 99 de 1993](#) acogió el principio de precaución, que expresa: "cuando una actividad hace surgir amenazas de daño para el medio ambiente o la salud humana, se deben tomar medidas de precaución, incluso si no se han establecido de manera científica plena algunas relaciones de causa-efecto".

No obstante, la empresa constructora alega derechos a intervenir el territorio, sin importar los principios rectores de la [Ley 388 de 1997 de Desarrollo Territorial y Urbano](#), ni la gravedad e irreversibilidad del daño que se ocasionaría sobre dicho bien ambiental estratégico, al limitar

y alterar su función afectando la naturaleza intrínseca de una reserva protectora. Yendo en contravía de la inconformidad de colectivos y líderes ambientales y cívicos, de veedores, estudiantes y académicos, y del sentir de muchos ciudadanos, se quiere empezar construyendo 2220 apartamentos en 12,5 hectáreas de 56 que son propiedad suya; esto para una ciudadela de 10 mil habitantes, que a diferencia de un medio rural adecuado con bajo nivel de transformación, tendría notable huella de carbono. Veamos:

Si la densidad urbana prevista en Tierraviva equivale a 204 mil habitantes por milla cuadrada, densidad 4 veces mayor a la de Manizales, y si la huella ecológica cuyo per cápita en Colombia supera 2 hectáreas, incorpora un impacto superior a 20 mil hectáreas -cuantía cuatro veces mayor al área de la reserva cuya superficie es de 4932 hectáreas-, el daño severo y no mitigable por los impactos negativos de las acciones humanas, necesariamente obligaría a recurrir al contencioso para que el Estado retorne el carácter sustraído a los predios La Aurora y Betania, y ordene acciones que garanticen la función amortiguadora prevista en el POMCA como superficie de territorio circunvecina y colindante de una Reserva Forestal Protectora.

Lo anterior, previendo la progresividad del daño en el Anillo de contención, cuando los mismos urbanizadores u otros invocando el principio de igualdad repitan, advierte sobre la magnitud del impacto al permitir urbanismo, ya que darle vía al medio transformado, contaminando con ruido y luz, y alterando los ciclos biogenéticos del ecosistema, por sustraerle las funciones ecológica y social a una propiedad que se le demanda como Zona con Función Amortiguadora de una Reserva Forestal Protectora, a la luz del Decreto 2372 de 2010 expedido para reglamentar el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del país, viola la Constitución Política de 1991 por incumplimiento de los deberes ambientales a cargo del Estado.

El que el Ministerio de Medio Ambiente sustrajera La Aurora y Betania como parte de la Reserva Forestal Central en 2003, para darle vía libre a su urbanización, acto ambiental regresivo que no es competencia de Corpocaldas como administradora del bien, invita a impugnar acciones en contravía del interés común beneficiando el mercado, así se trate de un proyecto técnicamente bien desarrollado pero ubicado en el lugar equivocado, soportado en una decisión antiética en cuanto expresa la concesión innecesaria e inconveniente de una función perenne propia del Estado, como lo es la preservación de la estructura ecológica de soporte para los ecosistemas andinos, permitiendo el beneficio del mercado inmobiliario a costa de un probable ecocidio, por lo cual se debe invocar el Principio Precautorio contemplado en la Ley 99 de 1993, que expresa: "cuando una actividad hace surgir amenazas de daño para el medio ambiente o la salud humana, se deben tomar medidas de precaución, incluso si no se han establecido de manera científica plena algunas relaciones de causa-efecto". [Ref.: La Patria. Manizales 2017.07.17]

Mayor información, en: Río Blanco, cuna de vida...

14.10. EL TERRITORIO DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA

RESUMEN: Una declaratoria que priorice al río Magdalena como uno de los escenarios más representativos en la historia del país, debería partir del concepto del territorio como sujeto de derechos. Si su cuenca es el hábitat donde se dan nuestras relaciones con el bioma andino tropical, también el río, pese a haber sido fundamental como ruta de acceso para la ocupación del territorio, y como medio para la consolidación de la nación durante el siglo XIX, hoy víctima del olvido, se encuentra degradado y contaminado. Amparar sus derechos ambientales, es darle primacía a sus 30 mil pescadores, y a los humedales y bosques secos que lo circundan, no sólo para ponerle límites a las intervenciones que buscan establecer un canal navegable para que no alteren su vaguada ni los humedales como ecosistemas vitales, sino también para ordenar el cumplimiento de las acciones que demanda su recuperación integral.

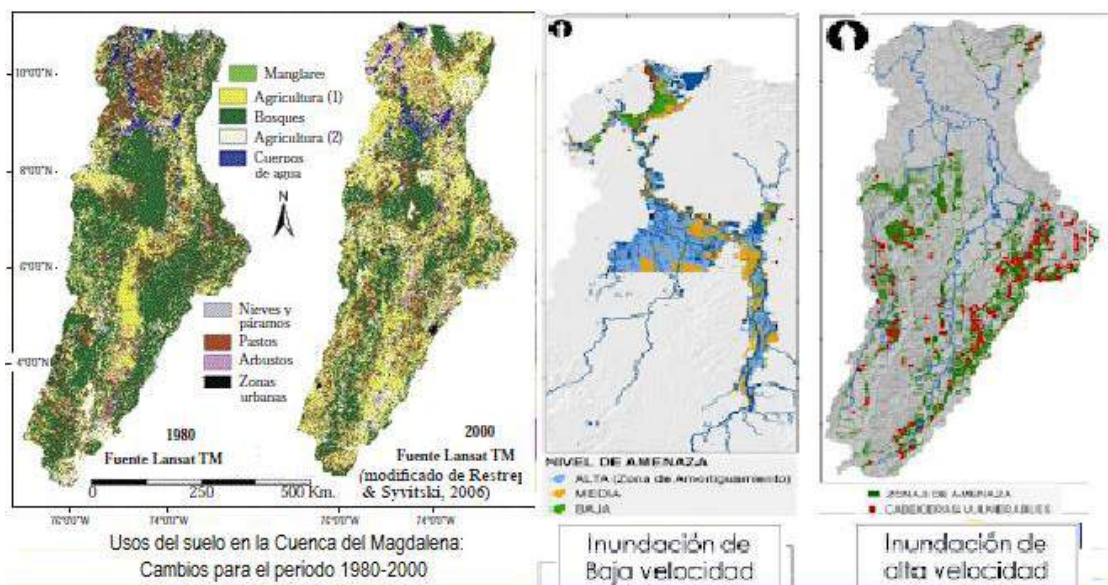


Imagen 84: Cuenca del Magdalena: Cambios en usos del suelo entre 1980 y 2000, y Mapa de áreas con amenaza de inundaciones lentas y rápidas. PMA de la Cuenca, según Cormagdalena.

Yuma ("río amigo") o Huanca-hayo ("río de las tumbas"), bautizado en 1501 por Bastidas Río de la Magdalena, fue a lo largo de cuatro siglos y medio el principal medio de transporte en Colombia y el eje de desarrollo nacional. Jiménez de Quesada, lo remontó hasta Barrancabermeja, desde donde penetra las montañas del Opón, para subir al altiplano y fundar Bogotá. Posteriormente, bogas en champanes, en extenuantes jornadas de hasta dos meses remando en dirección aguas arriba, suben y regresan para transportar cientos de personas que en el proceso de ocupación y consolidación de la Nueva Granada, deben soportar la inclemencia del ardiente clima y la incomodidad del viaje.

El río Magdalena que nace en el extremo suroccidental del país, a 3.685 metros de elevación, en el Páramo de las Papas, recorre 1.528 km de los cuales 900 km son navegables, hasta desembocar en Bocas de Ceniza sobre el mar Caribe. Como parte de la cuenca Magdalena-Cauca que con el 75% de la población del país, constituye el sistema de drenaje más importante de nuestra región andina, en su sinuoso recorrido esta juvenil corriente, se relaciona con 12 parques naturales nacionales, baña 20 departamentos, recibe entre otros tributarios al Cauca, su principal afluente, y también descarga parte de sus aguas a la Bahía de Cartagena por el Canal del Dique, construido en el siglo XVI para acceder por Calamar a Cartagena de Indias.

Los comienzos del desarrollo industrial en Colombia a principios del siglo XX, marcaron el inicio de la afectación ambiental asociada a la contaminación y la deforestación. Pero desde mediados del siglo XX, conforme se daba el crecimiento y la modernización del país, con el advenimiento del transporte aéreo y las carreteras, el río como medio de transporte se fue olvidando, y con la revolución verde impulsando la expansión de la frontera agrícola y propiciando los procesos de migración hacia los centros urbanos, también llegaron los impactos de la deforestación, la erosión, el descontrol pluviométrico y la contaminación, fenómenos que se expresan en sedimentos, descontrol hídrico y pérdida de ecosistemas. Esto sin mencionar las consecuencias sociales y económicas que de allí se derivan.

Dadas las condiciones geológicas, toda la parte media del río está constituida por un complejo sistema de humedales y un curso inestable; allí, los municipios ribereños en la mayoría de los casos, muestran bajas condiciones de vida y pobreza. El área de la gran cuenca, es de 257.400 km²; y aunque representa el 24% de la superficie del país y es el asiento de 32,5 millones de habitantes, según el Foro Ambiental Nacional, el 77% de su cobertura vegetal ha sido arrasada, el vertimiento de mercurio no para y el daño a páramos y humedales continúa.

La Ley 161 de 1994 constituyó Cormagdalena como una entidad corporativa especial, con presupuesto administrativo y autonomía financiera. Su misión, garantizar la plena utilización del río Magdalena; además de la navegación, la actividad portuaria, la conservación del suelo, la generación hidroenergética, emitir también lineamientos para la administración hidrológica, el manejo integrado del río, el uso sostenible y la preservación del medio ambiente.

Solo que las estrategias en lo corrido del siglo, para impulsar la navegación, abordar el complejo marco institucional, conocer y participar de la coordinación del sistema ambiental de la cuenca, han palidecido por múltiples factores, entre los cuales creo que sobresale la falta de un instrumento filosófico y jurídico de orden superior, para orientar la planificación de acciones y priorizar objetivos, mirando el río como un territorio sujeto de derechos bioculturales.

Es que el territorio, entendido como una construcción social e histórica, es un sujeto de derechos ambientales. Por ejemplo, siendo el Magdalena tierra de ranchos de hamacas, de chinchorros, de subriendas, de los vapores por el río y de la Expedición Botánica, de conformidad con las sentencias de la Corte Constitucional, que en 2016 y 2018 protegen al Atrato y al Amazonas, también al poseer derechos que amparen sus ecosistemas y a 30 mil pescadores de sus poblados ribereños, solo deberá ser objeto de una restauración que sea ecológicamente sólida y compatible con su cultura.

* Profesor Universidad Nacional de Colombia <http://godues.webs.com> Imagen: Río Magdalena: Inundaciones rápidas y lentas según el PMC del Magdalena., Mapa de Cormagdalena [Ref.: La Patria. Manizales, 2018/06/4]

14.11. GESTIÓN AMBIENTAL DEL RIESGO EN EL TERRITORIO.

RESUMEN: Colombia ha sufrido las consecuencias de fenómenos naturales propios del medio tropical andino, tales como sequías, inundaciones, terremotos, huracanes, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierra. En dicha problemática la gestión integral del riesgo debido al cambio climático cuando arrecian El Niño o La Niña, y frente a la amenaza sísmica en nuestros medios urbanos, seguirá siendo el desafío más relevante. Veamos algunas acciones y estrategias de carácter participativo y elementos de la política pública para lograr mediante la apropiación del territorio, la necesaria adaptación ambiental y la reducción de la vulnerabilidad a las amenazas naturales.



Imágenes 85: Inundaciones del Magdalena durante La Niña 2010-11. Carlos Julio Martínez, en *El Espectador*.

Entre los desafíos socioambientales para adaptar el hábitat a las amenazas naturales, en particular las asociadas al cambio climático y a los sismos como generadores de potenciales desastres en Colombia, y a otras problemáticas ambientales del medio urbano y rural, a pesar de haberse institucionalizado la gestión del riesgo con la creación y desarrollo alcanzado por el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), para lograr una adaptación del hábitat a las amenazas naturales y a otras demandas del medio ambiente, se deberá propiciar una cultura ambiental que facilite la apropiación social del territorio para la gestión participativa del riesgo y el incremento de la resiliencia, mediante el empleo de estrategias de adaptación al cambio climático, relacionadas no sólo con la planeación participativa y el cumplimiento de la normatividad, sino también con un modelo de ocupación no conflictivo del suelo.

No solo nuestras grandes ciudades deberán enfrentar sismos intensos en regiones sismotectónicamente activas, sino también cientos de municipios del país están en riesgo potencial por la falta de agua como consecuencia de la deforestación, lo que también agrava la dimensión de su vulnerabilidad a los desastres naturales, en especial a los eventos climáticos extremos consecuencia del cambio climático, como generadores de incendios forestales y sequías, o también de deslizamientos y riadas en ambientes de montaña, e inundaciones, y huracanes o procesos erosivos ocasionados por cambios en el nivel del mar, en nuestros medios costeros. Si las amenazas climáticas deben abordarse desde la perspectiva de las cuencas y microcuencas, las corporaciones regionales deberán intensificar las medidas correspondientes de cara a la protección de los ecosistemas estratégicos, al aseguramiento de las fuentes de agua y a la prevención de las amenazas hidrogeológicas.

A lo anterior, deberían sumarse otros aspectos relevantes, como: 1- Riesgos ambientales urbanos donde el espacio público brilla por su compleja problemática y el patrimonio arquitectónico se ha degradado. 2- Alteración severa de los ecosistemas y áreas de interés ambiental, por no prevenir los efectos antrópicos de una expansión urbana inconveniente. 3- Contaminación hídrica y de los suelos, por altos niveles de concentración de vertimientos industriales y agroindustriales. 4- Guetificación de la ciudad, consecuencia de un modelo de ciudad inequitativa y excluyente, fruto de la especulación con la renta por plusvalía urbana.

Por lo tanto, dicho lo anterior, en cuanto a políticas públicas, podríamos mejorar si consideramos: 1- Estamos urgidos de una política pública ambiental, que le apueste a objetivos estratégicos coherentes y viables, entre ellos una gestión integral del riesgo, mediada por procesos de carácter participativo para alcanzar la sostenibilidad de los procesos de cambio. 2- Requerimos decisiones democráticas, sobre derechos civiles expresados en los planes de desarrollo, soportados en unos usos no conflictivos del suelo espacializados en el plan de ordenamiento y concertados con los actores sociales incluidas las comunidades de base. 3- Se debe implementar una pedagógica popular ambiental para la apropiación de los procesos de cambio, como estrategia que posibilite el empoderamiento del territorio, para una construcción participativa con el concurso de los actores del territorio.

Y finalmente, en cuanto a la gestión del riesgo, los instrumentos a contemplar, serían: a) La previsión a corto plazo que atañe a la instrumentación de los fenómenos geodinámicos, las alertas tempranas y la modelación de los eventos probables. b) La previsión general de los desastres donde resultan vitales los mapas de amenaza para resolver la ocupación conflictiva del suelo e implementar los modelos de exposición al riesgo. c) Medidas de prevención tanto con mejoras físicas o estructurales, como de gestión eficiente de los sistemas estratégicos y líneas vitales. d) Medidas de preparación asociadas a la planificación de acciones rápidas y eficaces, para restaurar los servicios y controlar o mitigar los daños al sistema y al ambiente. e) El plan general que debe diseñarse en función del riesgo de cúmulo, de importancia para las autoridades. f) El plan operativo diseñado en función del riesgo específico, que dé respuestas a las inquietudes locales. g) La educación para una cultura ambiental que propenda por la apropiación social de la gestión del riesgo, y por la prevención de los desastres por la vía de la planificación y del ordenamiento del territorio.

[La Patria. Manizales, 2018-02-26]

14.12. UNA MIRADA A LOS MARES DE COLOMBIA



Imagen: Cuenca del Amazonas (WWF), Fronteras y Relieve de Colombia (Wikipedia.org) y Cuenca del Mar Caribe (Invest Offshore).

RESUMEN: Colombia, que posee los andes más septentrionales de América, ubicada en el noroccidente de América del Sur, con territorio en las cuencas altas del Orinoco y Amazonas y aguas en los océanos Atlántico y Pacífico, ha vivido de espaldas a estos valiosos espacios que la confinan. Si bien los mares de Colombia constituyen el 45% de su territorio, las dos cuencas señaladas con sus enormes hidroviás y una superficie de 8 millones 487 mil kilómetros cuadrados, cubren el 46,6% de Sudamérica. El país, que por no tener una visión marítima perdió a Panamá y mar en San Andrés, requiere ocuparse de la formación e investigación en la materia, para conocer desde una perspectiva científica integral el patrimonio que albergan nuestros mares e hidroviás, no solo por su importancia estratégica y geopolítica, sino también por el potencial ambiental, biótico y geológico que ofrecen para el futuro de la Nación.

En la visita de la Misión de Sabios a Manizales en agosto de 2019, la mesa de trabajo sobre océanos instalada por el científico Jorge Reynolds, consciente de que históricamente el país ha vivido de espaldas a este valioso espacio que constituye el 45% de su territorio, propuso crear un instituto intercedes en la Universidad Nacional, para ocuparse de la formación e investigación en ciencias básicas y aplicadas sobre la materia, propiciando una mirada desde una perspectiva integral al patrimonio que albergan nuestros mares, no solo para aprovechar su importancia estratégica y geopolítica, sino también por el potencial ambiental, biótico y geológico que ofrecen para el futuro de la Nación.

Recuérdese que el país, además del robo de Panamá en 1903 por Roosevelt, quien resolvió tomarse el istmo después de que el Senado colombiano negara el tratado Herrán-Hay que le cedía a EE UU la franja del canal, también en 2012 perdió mar en San Andrés, cuando la Corte Internacional de Justicia de la Haya emitió su sentencia sobre el litigio con Nicaragua por varios islotes y una plataforma continental, concediéndole una franja de 531 km al país centroamericano desde su costa y de solo 65 km para al archipiélago.

A nivel del planeta los mares que cubren alrededor del 72 % de la superficie, producen la mitad del oxígeno y absorben el 30 % de las emisiones de dióxido de carbono, pese a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar adoptada en 1982, por no contar con medidas globales de protección al menos para las aguas internacionales que son el 46% de los océanos, la hidrósfera está al borde del colapso como consecuencia del cambio climático, de la contaminación con derrames de petróleo, del vertimiento de residuos químicos y metales pesados, y de la acumulación de plásticos.

A los anteriores factores de naturaleza antropogénica, habrá que sumar la captura ilegal y sobreexplotación pesquera, y la acidificación oceánica e intervención indebida de litorales, además de los graves impactos del cambio climático dada la influencia directa de los océanos en la máquina atmosférica, y por lo tanto en los fenómenos meteorológicos y en la regulación del clima. Todo lo anterior configura la grave amenaza que está afectando directamente la vida silvestre de los hábitats oceánicos e indirectamente la salud humana, ya que gracias a la sobreexplotación y contaminación, desde 1950 se ha devastado un 40 % de la vida en los océanos.

Es que además la acidificación de los océanos consecuencia de la captura de dióxido de carbono por el agua marina, que al disolver el gas favorece la reacción con el carbonato cálcico y el cambio de su PH, se induce en los medios marinos la migración y cambio de hábitos de especies, la pérdida de fitoplancton, el blanqueamiento de corales y la desaparición de ecosistemas; igualmente, la mayor concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, por el efecto de invernadero provoca el calentamiento de los mares, lo que favorece la ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes fuertes por el Caribe, como detonantes de desastres climáticos.

Aunque la riqueza de la hidrósfera terrestre es enorme, ya que los mares contienen cerca de 200 mil especies identificadas entre millones que albergan, sin una intervención de orden mayor así exista la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos responsable de regular la extracción y explotación de nódulos metálicos de manganeso, níquel, cobre o cobalto, pero no de la protección del ecosistema, la amenaza resulta aún mayor: a pesar de conocerse únicamente el 2% de los fondos marinos aunque el 20% de su superficie son áreas marinas protegidas, al igual que el espacio exterior y en particular la órbita geoestacionaria, los ambientes abisales como nuevos espacios son vulnerables.

En Colombia, donde existen 500 mil hectáreas de nuevas áreas marinas protegidas, contamos con manejo efectivo en 10 de las 18 áreas marinas protegidas: allí, nuestra riqueza biótica está representada en 33 especies de mamíferos acuáticos oceánicos, 6 de las 7 especies de tortugas marinas del mundo y 123 especies de peces evaluadas; a ello se añaden los arrecifes coralinos donde sobresale el del archipiélago de San Andrés equivalente al 34% del territorio caribeño colombiano, y los pastos marinos con notable extensión en la Guajira.

[La Patria. Manizales, 2019.08.26]

...

Lecturas complementarias

Esfuerzo cortante en suelos.

La resistencia al corte de un suelo, determina factores como la estabilidad de un talud, la capacidad de carga admisible para una cimentación y el empuje de un suelo contra un muro de contención. Ecuación de falla de Coulomb, Envolvente de Mohr – Coulomb, Diagrama pq: Línea Kf.

Trayectoria de esfuerzos y condiciones de carga, Fricción residual y fricción máxima, Compresión simple, Cohesión última. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/esfuerzosenmasasdesuelo.pdf>

Teoría del círculo de Mohr.

El Círculo de Mohr es una herramienta de la ingeniería utilizada para la representar gráfica de un tensor simétrico, mediante la cual se pueden calcular y calcular momentos de inercia, esfuerzos y deformaciones adaptando estos elementos a las propiedades de la circunferencia. Análisis bidimensional de esfuerzos, Estados especiales de esfuerzos, y Diagrama p – q para la trayectoria de esfuerzos. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/circulodemohr.pdf>

Amenazas naturales en los Andes de Colombia.

Sí bien los desastres suelen clasificarse por su origen en naturales y antrópicos, sus consecuencias reflejan la combinación de factores que evidencian la interacción del ser humano con la naturaleza, modificándola en sus ciclos y sistemas. Cuando la especie humana incorpora el medio natural a su medio ambiente, lo adapta, con un mayor o menor grado de transformación. Para el efecto incorpora en este nuevo medio elementos de la cultura que modifican la estabilidad del ecosistema o la frecuencia, cantidad, intensidad o extensión de sus factores constitutivos, y que hacen del medio ambiente un medio relativamente para natural, cuyas transformaciones pueden ser factor contribuyente o detonante de amenazas relativamente naturales. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3152/amn-and-colombia.pdf>

Oro de Marmato: miseria o desarrollo.

¿Acaso puede más un derecho comprado que el de cientos de familias de etnias mayoritariamente negras, mulatas e indígenas, forjado en una minería artesanal que cruza páginas enteras de la historia del oro en Colombia? Qué tal una minería artesanal ambientalmente limpia y socialmente organizada; y dado que su tecnología no puede penetrar filones profundos, que una minería más tecnificada se asocie a la artesanal en una cooperativa responsable de la fundición y beneficio del oro.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7100/gonzaloduqueescobar201120.pdf> **Subregiones**

Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles

A continuación, los perfiles para cada una de las seis subregiones del departamento de Caldas. Este trabajo se ha desarrollado a solicitud de la Secretaría de Planeación como Miembro de la CROT y a nombre de la Universidad Nacional de Colombia y de la Sociedad de Mejoras Públicas de Manizales, para ser incluido en el documento del Plan de Desarrollo de Caldas 2016-2019, se soporta en las visiones municipales obtenidas los líderes locales, luego de un proceso de planificación participativa adelantado por dicha dependencia con el acompañamiento de varios actores sociales convocados.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56384/subregionesdecaldas.pdf>

...

ENLACES SOCIO-AMBIENTALES

<p>América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento.</p> <p>Anotaciones para un crecimiento previsivo y con desarrollo.</p> <p>Árboles, poblaciones y ecosistemas.</p> <p>Bioturismo y ruralidad en la Ecorregión Cafetera.</p> <p>Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.</p> <p>Bosques para la Estabilidad del Medio Ambiente.</p> <p>Cambio climático y pasivos ambientales del modelo urbano.</p> <p>Caldas en la Biorregión Cafetera.</p> <p>Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas.</p> <p>Clima extremo, desastres y refugiados.</p> <p>Clima: las heladas en Colombia</p> <p>Colombia: ¿muere el país rural?</p> <p>Colombia pos covid... ¿qué hacer?</p> <p>Colombia, trópico andino y agua</p> <p>Corrupción y clientelismo: incultura cívica.</p> <p>Crecimiento con deuda social.</p> <p>¿Crecimiento volátil con Empleo vulnerable?</p> <p>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</p> <p>CTS. Cultura y Ruralidad en Caldas.</p> <p>CTS. Economía y Territorio.</p> <p>Cultura del agua en los ríos urbanos..</p> <p>¿De la polarización a la democracia?</p>	<p>Deuda histórica con el Pacífico Colombiano.</p> <p>Día Internacional de La Tierra – Colombia.</p> <p>Dinámicas del clima andino colombiano.</p> <p>Dinámicas territoriales y Paisaje Cultural Cafetero</p> <p>Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano.</p> <p>Economía colombiana: crisis y retos.</p> <p>El cuidado de la casa común: agua y clima en la ecorregión cafetera.</p> <p>El porqué de los aguaceros en Colombia.</p> <p>El territorio de los Ansermas de la cultura Umbra.</p> <p>El territorio caldense. ¿un constructo cultural?</p> <p>Empleo temprano en la nueva sociedad.</p> <p>Gestión y política pública ambiental, para el patrimonio natural en Colombia.</p> <p>Gobernanza Forestal en la Ecorregión Andina.</p> <p>Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia.</p> <p>Ingeniería, incertidumbre y ética.</p> <p>Innovación y gobernanza para la crisis cafetera.</p> <p>Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero.</p> <p>La dimensión cultural como catalizadora del desarrollo.</p> <p>La economía a pique. ¿qué hacer?</p> <p>La identidad del territorio caldense.</p> <p>La JEP. ¿un blanco contra la Paz.</p> <p>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.</p>	<p>La vivienda social y sus determinantes.</p> <p>Los frágiles cimientos de la democracia.</p> <p>Los quetos urbanos o la ciudad amable.</p> <p>Manizales un dialogo con su territorio</p> <p>Más espacio y oportunidades para el ciudadano.</p> <p>Nuestros bosques de niebla: Colombia.</p> <p>Rieles para el empleo cafetero.</p> <p>Río Blanco, cuna de vida...</p> <p>Pensamiento crítico para la Paz.</p> <p>Perfil ambiental de Manizales y su territorio.</p> <p>Plusvalía, desarrollo urbano y mercado.</p> <p>Pobreza y ruralidad cafetera</p> <p>Por falta de bosques con el agua al cuello.</p> <p>Prospectiva alimentaria y desarrollo.</p> <p>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</p> <p>Rieles para el empleo cafetero.</p> <p>Ríos urbanos para Manizales.</p> <p>Temas rurales para la ecorregión cafetera.</p> <p>Tierra y ruralidad en Colombia.</p> <p>Un diálogo con la dinámica urbana.</p> <p>Un nuevo modelo educativo.</p> <p>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</p> <p>Un país con grandes retos ambientales.</p> <p>Un Plan de Acción para encausar el Megaproyecto San José.</p>
--	---	--

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Amero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos "verdes"*

Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Falla San Andrés. California, USA. Corbis.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 15

SISMOS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Para entender la importancia de los sismos, como materia en la formación del ingeniero, pueden compararse los efectos de varios tipos de desastres naturales, tanto históricos como proyectados.

Tabla 17. Comparación entre varios tipos desastres naturales.

Tipo de desastre	Principal pérdida conocida de vidas humanas	Máxima pérdida de vidas proyectada
Inundación por causa de lluvias	Junio 1931, Honan China, el Yangtse y el río Amarillo matan entre 1 y 2 millones de personas	2 - 3 millones de personas
Terremoto	Enero 24 de 1556, Shensi China, un terremoto causa 830 mil muertes	1 - 1.5 millones de personas
Tsunami de origen sísmico	1876, Bahía de Bengala, grandes olas de marea matan 215 mil personas	250 – 500 mil personas
Tsunami de origen volcánico	Agosto 27 de 1883, Krakatoa, olas de marea matan 36.400 personas	100 a 200 mil personas
Erupción volcánica	1669, Italia. La erupción del Etna destruye Catania, matando 100 mil personas	1 - 2 millones de personas
Tifón o huracán	Octubre 8 de 1881, Haiphong Vietnam, un tifón causa 300 mil víctimas	0.5 a 1 millón de personas
Tormenta	Noviembre 26 de 1703, Inglaterra, una tormenta causó 8 mil muertes en el Canal	10 - 20 mil personas
Corrimiento de tierras	Diciembre 16 de 1920, Kansin China, un corrimiento de tierras mató 200 mil personas	250 – 500 mil personas
Alud	Diciembre 13 de 1941, Huarás Perú. Un alud mata 5 mil personas	10 20 mil personas

Booth-Fitch. La Inestable Tierra, Salvat, 1986

15.1. TEORIA DEL REBOTE ELASTICO

En la corteza de la Tierra se acumula energía, gracias a procesos de deformación elástica. La figura 89 que ilustra el proceso de liberación de esa energía, muestra como se produce la ruptura de una capa de rocas, después de superar el límite elástico. Allí resulta un conjunto de bloques desplazados a lo largo de las líneas de ruptura.

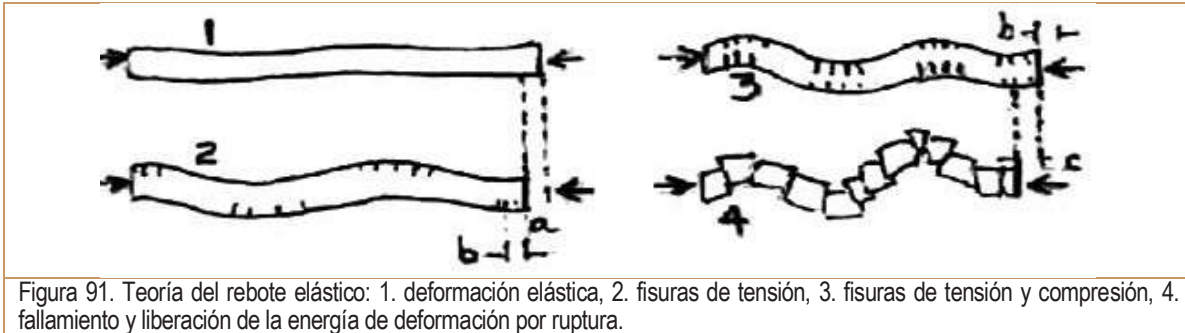


Figura 91. Teoría del rebote elástico: 1. deformación elástica, 2. fisuras de tensión, 3. fisuras de tensión y compresión, 4. fallamiento y liberación de la energía de deformación por ruptura.

La corteza terrestre está prácticamente, siempre y en todas partes, sometida a algún tipo de tensión. Las mayores **concentraciones de tensiones** se producen a lo largo de los límites entre las placas corticales, e incluso en su interior donde pueden producirse acumulaciones de tensiones que superen la competencia elástica de las rocas. La ruptura de las rocas debajo de los volcanes se produce debida a los movimientos de ascenso de magma y a la liberación explosiva de gases volcánicos. Siendo esto así, en todo momento existen en el mundo diversos sectores, grandes o pequeños, en que los esfuerzos elásticos acumulados en la corteza terrestre hacen que las rocas que allí se encuentran estén muy próximas a su punto de rotura probable.

En estas circunstancias, **basta un pequeño esfuerzo** adicional para desencadenar un terremoto, comprendiéndose, por tanto, que los cambios causados por la tensión consecuente de un gran terremoto pueden provocar una reacción en cadena que se traducirá en una serie de sacudidas grandes o pequeñas. También es factible que las pequeñas alteraciones en el campo de esfuerzos de la corteza, generadas por el paso de depresiones ciclónicas profundas o por los ciclos de mareas terrestres, puedan desencadenar auténticas sacudidas.

15.2. DOS LECCIONES: SAN FRANCISCO Y KOBE

La falla de San Andrés en California, comprende cinco trazos principales. Ubicados allí en el continente y mirando al pacífico, las rocas del fondo oceánico se desplazan hacia el norte. Es una falla de rumbo derecho. Por ese desplazamiento **se acumulan esfuerzos** en la corteza cuya zona de debilidad, por la cual han de liberarse, es la falla de San Andrés. Tres de los trazos señalados liberan energía de manera casi continua, mientras dos de ellos acumulan energía que ha de ser liberada violentamente cada veinte o treinta años. Ante la pregunta ¿pueden producirse en el futuro nuevos terremotos en San Francisco tan violentos como el del año de 1906?: la respuesta inequívoca debe ser si, pues el terremoto de 1906 fue causado por la falla y no al revés.

El epicentro del terremoto de Hanshin-Awaji fue localizado en el centro del sistema de fallas Arima-Takatsuki, en el extremo norte de la isla Awaji. Aunque históricamente han ocurrido sismos destructivos en esta región, como el terremoto de 1596 con magnitud 7,5 la poca actividad sísmica reciente hacia que la **población la considerara segura**. Han pasado 400 años para que ocurra otro terremoto destructivo en el área, probablemente producido por el mismo sistema de fallas cuando se estimaba que el intervalo activo de la falla era cercano a los mil años. La ocurrencia de réplicas y la extensión de la línea de ruptura sobre la falla Nojima, sugieren que éste terremoto fue causado por una ruptura de 40 Km. en el sistema de fallas que forma parte de la microplaca Osaka.

15.3. PARAMETROS DE UN SISMO

Pueden ser estáticos o dinámicos:

15.3.1 Estáticos. La profundidad del sismo, el foco o hipocentro que es lugar del evento, el epicentro que es el lugar en la superficie y sobre el anterior, la distancia focal y la epicentral que son la distancia entre la estación en la superficie, y el hipocentro y epicentro, respectivamente.



Figura 92. Parámetros de un sismo. Son el Foco, el epicentro, la profundidad, la Distancia epicentral, la distancia hipocentral, la Amplitud del movimiento y su duración (coda). Además de sus coordenadas de espacio y de tiempo según el lugar y hora de ocurrencia del evento.

15.3.2 Dinámicos. El tiempo u hora del evento, la coda o duración de la excitación, la amplitud que es el desplazamiento de las partículas del suelo, la intensidad que alude a los daños ocasionados, la magnitud que alude a la energía liberada y que se calcula por la amplitud del movimiento y en otros casos por la coda. La frecuencia o el período varían según la energía de la onda en la estación de registro.

15.4. LA SISMOLOGIA

En la Tierra el agua juega un papel fundamental en la explicación de los sismos. La construcción de embalses sobre fallas geológicas, induciendo sismos someros de relativa importancia, y la presencia de sismos en la Luna sin hidrosfera así lo señala.

En nuestro planeta se denominan terremotos y en la Luna lunamotos. Los sismos que se producen en el fondo oceánico son terremotos. Si la falla de San Andrés no fuera de rumbo, y sus desplazamientos se dieran de manera súbita, bajo mecanismos de fallamientos normales o inversos, se darían levantamientos o hundimientos del fondo oceánico provocando disturbios en el agua del mar. Semejantes disturbios se denominan **maremotos** (tsunami). Cuando los movimientos sísmicos interesan las aguas de lagos y represas reciben el nombre de seiches.

15.4.1 Clases de sismos. Las clases de sismos en el planeta son:

- **Los plutónicos.** Son el 3% del total de sismos, con profundidad entre 300 km. y 900 km. con un máximo de 900; son los de más energía por la profundidad, aunque el efecto en superficie es tenue pero extenso; se sienten en una zona tan extensa como la comprendida entre Venezuela y Perú. Estos sismos se explican por cambios de fase de las rocas del manto (implosión) o por rupturas en el flujo plástico del manto (explosión). Para diferenciar ambos mecanismos focales nos basamos en la primera onda sísmica que llega a la estación de registro.

- **Los interplaca.** Son el 5% del total de los sismos y aparecen a una profundidad entre 70 y 300 km. Son típicos de zonas de subducción, los focos de ellos van delimitando el plano de Benioff. Son los segundos en energía, ya que a esta profundidad la Tierra no almacena tanta como en el caso anterior, pero dado su carácter más somero son destructivos; ejemplo Manizales 1979. El registro de estos sismos, en la superficie, muestra pocas frecuencias altas. Ello se explica por un filtraje de las capas recorridas, ejercido sobre el frente ondulatorio, que podríamos interpretar como un consumo de energía en el transporte de las ondas sísmicas.

- **Los intraplaca.** Son sismos de fallas, y representan el 85% de los sismos. Se dan en el interior de las placas tectónicas, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles (fallas). Son los más destructivos aunque acumulan menos energía que los anteriores dado que se dan a menos de 70 Km. de profundidad, ejemplo Popayán 1983 y Quindío 1999. Se distinguen porque tienen múltiples premonitores y réplicas, ya que a esta profundidad las rocas, antes que plásticas son rígidas. Los premonitores son las rupturas que anteceden al paroxismo y las réplicas son las que lo suceden. Aunque tengan una magnitud inferior en un grado, su magnitud suele tener una intensidad de un grado más. Para estos sismos por fallas, el mecanismo focal sugiere el tipo de movimiento de la falla. Ver fig 97.

- **Los volcánicos.** Son el 7% de los sismos y se presentan a menos de 20 Km. de profundidad. A diferencia de los otros la aureola de daños es de pocos Km. porque el foco es muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera. Cuando las burbujas del magma alcanzan la zona rígida de la corteza y los volátiles disueltos cambian a la fase gaseosa, si la presión del fundido es suficiente, se provoca el emplazamiento del magma en regiones superiores y el escape de gases que deforman y fracturan la corteza.

- La velocidad de ascenso del magma, como su volumen, suelen inferirse por la magnitud de los sismos y desplazamiento temporal de los focos sísmicos. La interpretación de éstos fenómenos puede corroborarse a veces por la dinámica que muestre la extensión del campo o de deformaciones (disminuyendo) y la intensidad de las deformaciones (aumentando) en superficie.

- **Los sismos artificiales.** Son producidos por detonaciones de bombas nucleares, etc. Tienen una profundidad de menos de 2 Km. y foco muy puntual; así gran parte de la energía se libera en la atmósfera.

- **Ruido sísmico.** Puede ser natural como el producido por mareas terrestres, olas, viento; o artificial como el producido por vehículos en movimiento, etc.

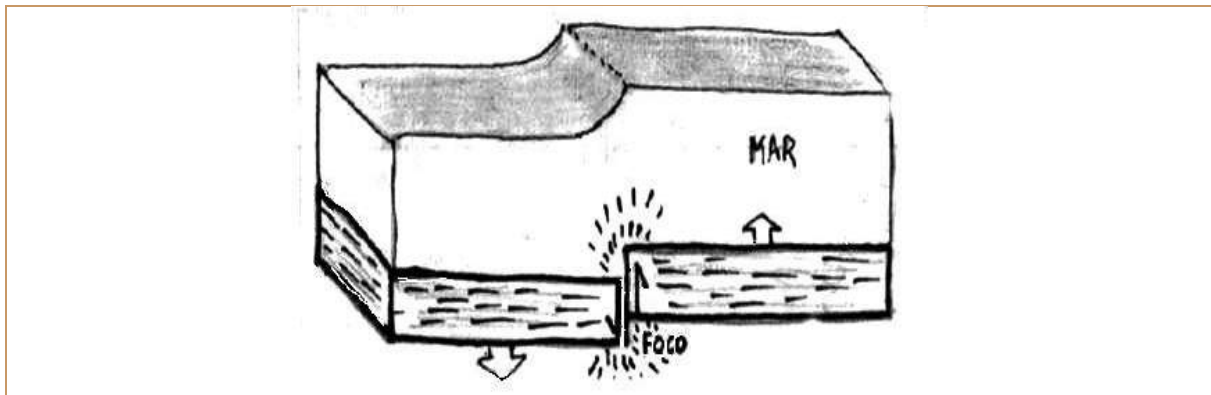


Figura 93. Esquema ilustrativo del mecanismo de generación de un maremoto o tsunami. La perturbación en el agua del mar es más eficiente en fallas inversas o normales (desplazamiento vertical con hundimiento y levantamiento del suelo) pero no en fallas de rumbo (desplazamiento horizontal del suelo a lo largo de la falla). En mar abierto la perturbación es rápida, pero en aguas poco profundas las olas pierden velocidad y distancia, pero ganan amplitud. Si el desplazamiento de la corteza a lo largo de la línea de falla es significativo, cuando la magnitud sísmica es elevada y la ruptura presenta fuerte expresión topográfica, se dan profundas modificaciones en la topografía costera, por corrimientos insulares y variaciones del nivel de aguas, generando desastres significativos. Adaptado de La Tierra, Salvat.

15.4.2 Ondas sísmicas. Pueden ser de cuerpo (interiores) como las P y las S, y superficiales como las de R y L.

- **Ondas de cuerpo.** Las ondas P son compresionales, las partículas se desplazan en la dirección del movimiento, son las primeras en aparecer en el registro por ser las más rápidas. Las S o de cortante, más lentas, llegan de segundas; las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento, hacen más daños por tener mayor amplitud, por ser ondas de cortante no cruzan líquidos.

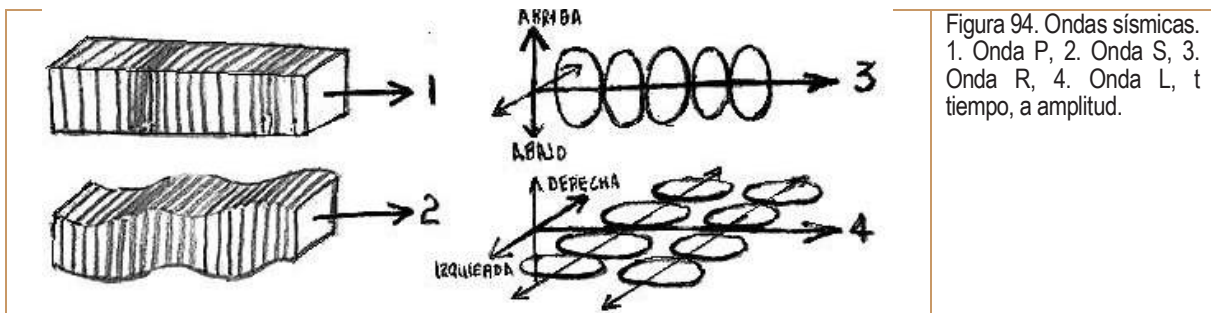


Figura 94. Ondas sísmicas. 1. Onda P, 2. Onda S, 3. Onda R, 4. Onda L, t tiempo, a amplitud.

Las ondas sísmicas son la transformación de la energía potencial en energía cinética. Las ondas P son debidas a la elasticidad de volumen del material, mientras las ondas S, son debidas a la elasticidad de la forma del medio de transmisión.

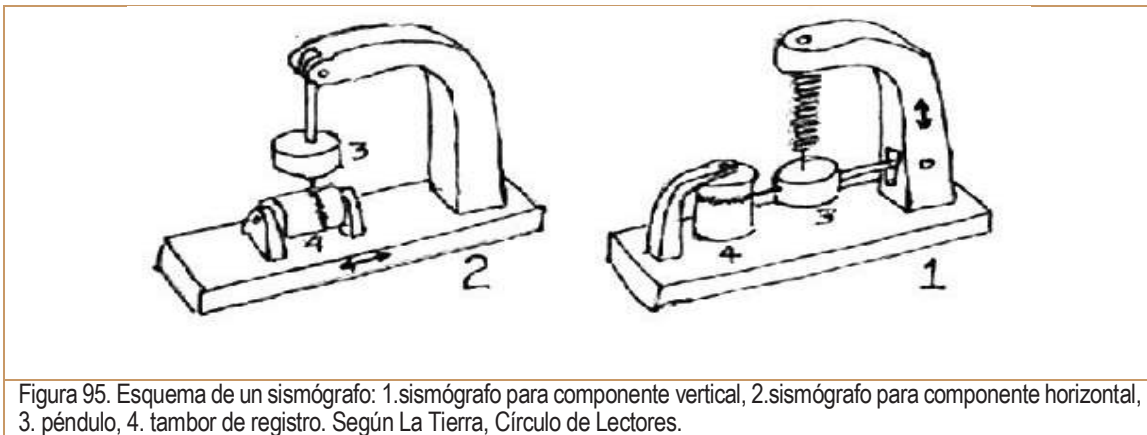
La velocidad media aparente de propagación de las ondas P oscila entre 8 y 13 Km./seg y para las ondas S entre 4.5 y 8.5 Km./seg.

- **Ondas superficiales.** Después de las anteriores llegan las ondas R y las L (Rayleigh y Love), en las ondas R las partículas se mueven describiendo elipses sobre un plano vertical en la dirección del movimiento. Si el medio es sólido la partícula retrógrada arriba y avanza abajo; si es líquido lo contrario. En las ondas L la elipse está en un plano horizontal transversal a la dirección del movimiento.

Las ondas superficiales se forman a partir de las interiores; son ondas largas porque tienen mayor amplitud y su propagación es lenta (3 a 4 Km./seg). Por los efectos desastrosos que producen se llaman sacudidas del "terremoto". Cualquiera que sea su intensidad, las sacudidas pueden ser bruscas u ondulatorias; las primeras se caracterizan por empujes casi verticales y las segundas por empujes que se comunican oblicuamente.

15.4.3 Instrumentos de registro. Los instrumentos son los sismógrafos y los acelerógrafos. Pueden ser equipos analógicos (mecánicos) y analógicos (electrónicos).

- **Sismógrafo.** Consiste en un péndulo equipado con un freno neumático o magnético para que al ocurrir una sola sacudida no trace varios movimientos. De esta manera, cuando hay un sismo, el graficador, después de la primera sacudida quedará quieto para trazar el segundo movimiento, después trazará el tercero sin recibir los efectos de los anteriores, y así sucesivamente, podrá registrar el sismo, movimiento por movimiento.



En el registro se identificarán los intervalos de tiempo y la amplitud de las sacudidas individuales, y la duración total del sismo. Se requieren tres sismógrafos para el registro completo del evento, según sus componentes X, Y, Z, con el propósito de observar un movimiento que de por sí es tridimensional.

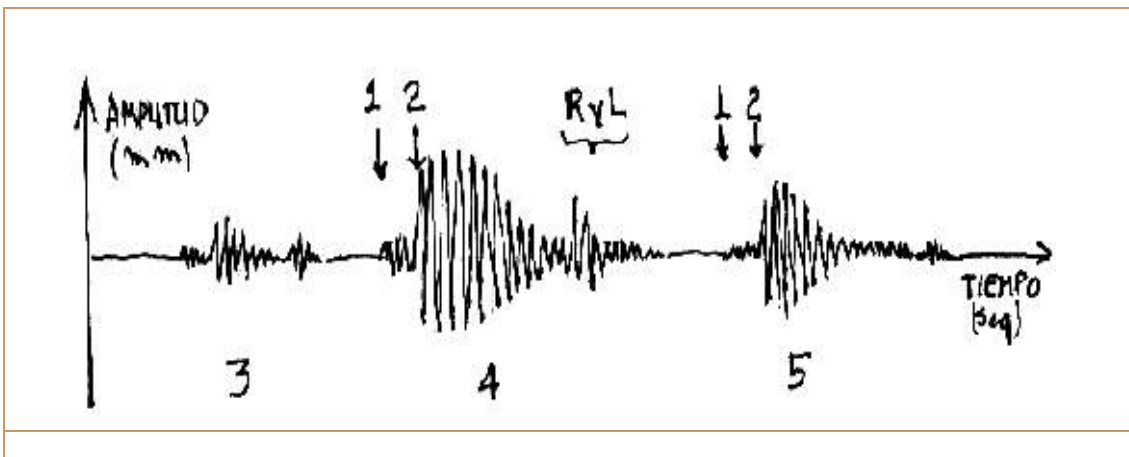


Figura 96. Sismograma. 1. Onda P, 2. Onda S, 3. Premonitor, 4. Paroxismo, 5. Réplica. La diferencia de tiempo de arribo entre las ondas P y S, se mantiene en las tres sacudidas (3, 4 y 5), pues depende solo de la distancia Estación-Foco.

- **Acelerógrafo.** A diferencia del sismógrafo, el péndulo se suspende de un resorte; el acelerograma registra la aceleración del suelo, obteniéndose de él además (indirectamente) la velocidad y el desplazamiento de las partículas; con este registro se puede conocer la respuesta del suelo colocando el instrumento en el piso y la del conjunto suelo-estructura, colocando el instrumento sobre la estructura. Indirectamente se puede entonces conocer el comportamiento de la estructura.

La ingeniería sismorresistente busca, entre otras cosas, evaluar la influencia de las condiciones locales de las formaciones naturales en el riesgo sísmico, que no se presente resonancia, es decir, que la frecuencia natural de oscilación de la estructura quede desfasada de las frecuencias dominantes de los diferentes sismos, que se generen desde las fuentes sísmicas locales.

15.4.4 Mecanismos focales. Pueden ser implosión, explosión y cortante: implosión, cuando la primera onda P asciende, ($P_1\uparrow$); explosión, cuando la primera onda P desciende ($P_1\downarrow$); cortante cuando se advierten zonas de compresión y distensión conjugadas, a lados opuestos de una falla (\pm).

- **Implosión.** El terreno baja en el primer movimiento y el sismógrafo vertical dará su primer trazo de la onda P hacia arriba.

- **Explosión.** Caso contrario al anterior, la primera onda P será hacia abajo, porque el terreno ha subido.

- **Desgarre.** Si hay falla de rumbo necesitamos cuatro sismógrafos dispuestos como en la fig. 97, dos de ellos mostrarán compresión (+) en el registro, los otros dos, rarefacción o distensión (-). Ello se explica por el efecto de acordeón.

Para conocer el epicentro de un sismo se toman registros de tres estaciones lejanas, en cada uno se establece la diferencia de tiempo de arribo entre las ondas P y S. Así, en función de sus velocidades, las distancias epicentrales con centro de compás en las estaciones y con radios a escala, según las distancias epicentrales obtenemos en el plano el epicentro del sismo. Aquí la profundidad del foco tiene que ser despreciable.

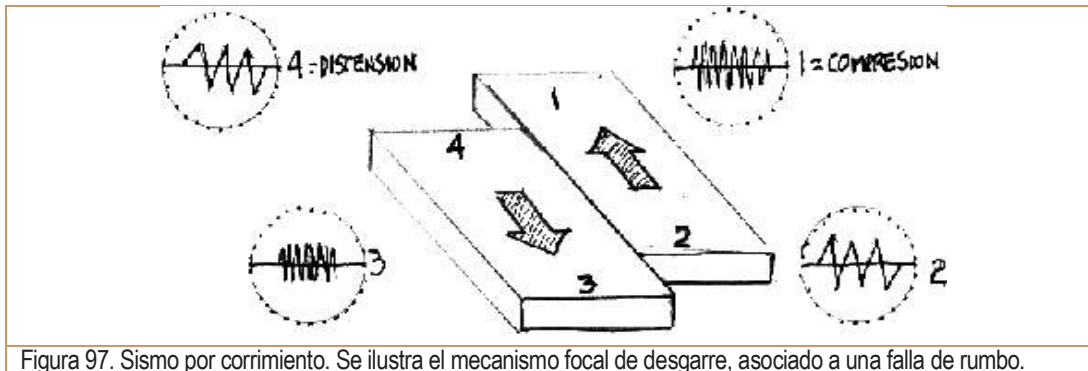


Figura 97. Sismo por corrimiento. Se ilustra el mecanismo focal de desgarre, asociado a una falla de rumbo.

15.4.5 Amplificación sísmica. Un frente de ondas en la roca suele tener altas frecuencias y en consecuencia alta energía. Cuando las ondas pasan a los depósitos sobre yacientes se amplifican: bajando la frecuencia aumenta la amplitud, pues la energía trata de conservarse.

En depósitos mal consolidados, la intensidad puede incrementarse en un grado, y en medio grado más cuando el nivel freático está a menos de 10 metros de profundidad. Igualmente las estructuras menos rígidas, como las de bahareque, suelen sufrir mayor daño cuando se construyen sobre sitios de suelos deformables para los cuales se recomienda la construcción de estructuras rígidas.

La rigidez de los suelos depende de la potencia de los depósitos como de las características de compacidad para los suelos gruesos, o de consistencia para los suelos finos. Posiblemente la topografía y geometría de los depósitos se constituyan en factores relevantes.

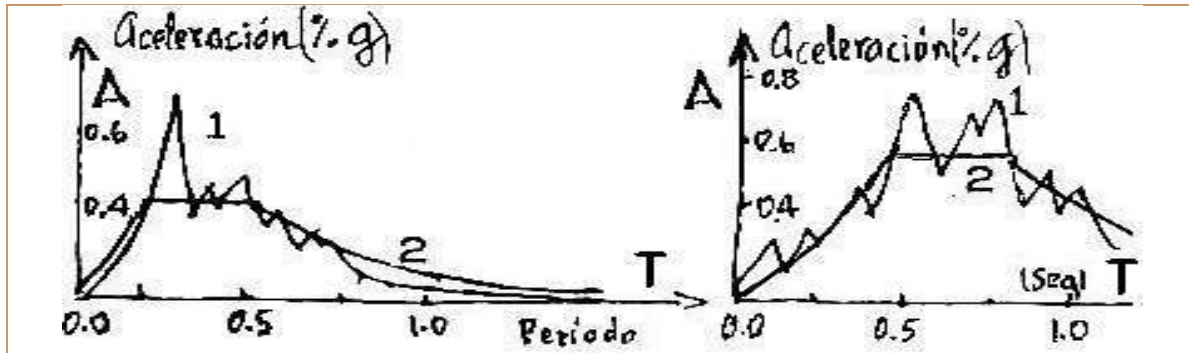


Figura 98A. Espectro de respuesta de un sismo: Izquierda, suelo firme, Derecha, suelo blando, 1. espectro modelado, 2. espectro propuesto, A. aceleración, T. Período. Obsérvense la diferencia de altura en las mesetas y de las frecuencias a las cuales se dan las máximas amplitudes.

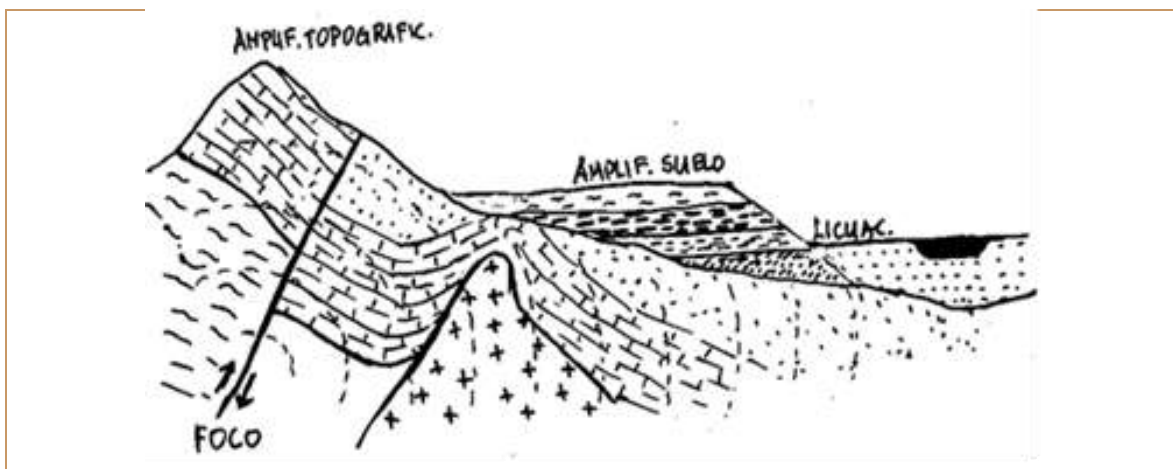


Figura 98B Zonas susceptibles de amplificación sísmica y licuación de suelos. En suelos blandos con espesores de decenas de metros, la intensidad sísmica que describe los daños en la Escala de 12 puntos de Mercalli, se puede incrementar en un grado, y subir medio grado más cuando presenten niveles freáticos elevados. Adicionalmente, las edificaciones altas pueden presentar el fenómeno de resonancia.

La rigidez de los suelos depende de la potencia de los depósitos como de las características de compacidad para los suelos gruesos, o de consistencia para los suelos finos. Al reducirse la velocidad de las ondas sísmicas transitando suelos blandos, por el principio de conservación de la energía estas se amplifican. Posiblemente la topografía y geometría de los depósitos se constituyan en factores relevantes.

Si las estructuras como casas y construcciones bajas suelen tener frecuencias naturales de oscilación de 10 Hz, y edificaciones esbeltas frecuencias menores que 1 Hz, resulta conveniente construir casas en suelos blandos y edificios en suelos duros, evitando el fenómeno de resonancia, dado que el período natural de una edificación suele ser cercano al número de pisos dividido por 10.

Colombia tiene un Código colombiano de construcciones sismo resistentes, elaborado por la asociación colombiana de ingeniería sísmica y aprobado por decreto 1400 de 1984. Tiene una Red Sísmica Nacional administrada por el Ingeominas y Redes Regionales en el Valle (OSSO) y en el Eje Cafetero-Tolima. También un Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, creado en 1990.

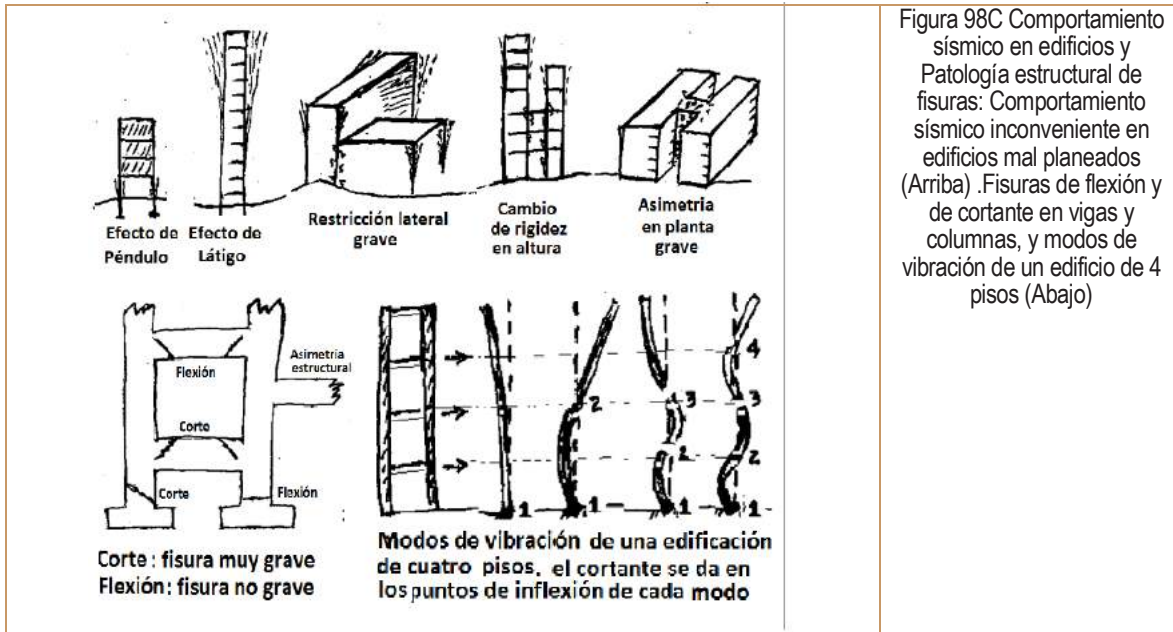


Figura 98C Comportamiento sísmico en edificios y Patología estructural de fisuras: Comportamiento sísmico inconveniente en edificios mal planeados (Arriba). Fisuras de flexión y de cortante en vigas y columnas, y modos de vibración de un edificio de 4 pisos (Abajo)

15.4.6 Escalas de intensidad y magnitud

- **Intensidad.** La intensidad que alude a los **daños** es subjetiva y depende de la calidad de construcción y el tipo de suelo; un sismo puede mostrar intensidades diferentes, en lugares diferentes. Se califica con la escala **Mercalli-Cancani** (Mercalli modificada) que tiene 12 grados, algunos son:

- I. Se observa comportamiento anómalo en algunos animales, difícilmente la gente los siente.
- III. Si sólo se siente en edificios, en la casa las lámparas se balancean.
- VI. Sentido por toda la gente. En la casa, caen los objetos de la estantería.
- IX. Produce pánico y daños. Cae la mampostería, revientan tuberías, etc..
- XII. Destrucción total. Es el límite superior de la escala.

- **Magnitud.** La magnitud depende de la **energía en el foco**, se mide en una escala continua y no en grados. La magnitud se mide en la escala de **Richter**; cada sismo tiene una sola magnitud. Magnitud cero se da si la amplitud instrumental en un sismógrafo patrón, ubicado a 100 Km. del foco, es 10^0 micras, es decir, de una micra. Magnitud 3 si es de 10^3 micras o sea de 1 milímetro; magnitud -2 si esa magnitud es de 10^{-2} micras.

Entre una y otra magnitud con diferencia de 1 unidad, la energía varía 31.5 veces; entre $m = 0$ y $m = +9$ esta se incrementa 31.5 a la 9 veces.

En un año hay 154 sismos $m = 6$ y 17 $m = 7$; cada tres años y medio hay uno $m = 8.6$; cada 90 años solo uno $m = 9$; Tumaco en 1906, Japón en 1923 y Lisboa en 1755 son los máximos terremotos registrados, todos con una magnitud $m = 8.9$ y un número de víctimas estimadas de 700, 143 mil y 30 mil a 60 mil respectivamente.

Según la teoría de la brecha se pueden hacer pronósticos buscando sombras sísmicas, es decir, lugares sísmicos con un período transcurrido sin la ocurrencia de un terremoto probable. Para el 2000 se esperaba otro sismo de magnitud 6 o 7 en Caldas porque los de esta magnitud, asociados a una misma fuente sismotectónica (zona de subducción), tienen períodos entre 20 y 30 años en esta región. En efecto, en 1994 y 1995 se dieron dos sismos asociados a esa fuente, uno al occidente de Tuluá y otro al occidente de Manizales.

15.4. RIESGO SISMICO

15.5.1 Principales peligros en un terremoto

- **Primer grupo.** Temblor del suelo, asentamientos diferenciales de la estructura, hundimientos del suelo, deslizamientos y avalanchas.
- **Segundo grupo.** Desplazamiento del suelo a lo largo de una falla.
- **Tercer grupo.** Maremotos (Tsunamis) y seiches (oscilaciones en lagos y embalses), inundaciones por daños en embalses y ruptura de diques y conducciones hidráulicas.
- **Cuarto grupo.** Incendios, colapso de estructuras y acabados.

15.5.2 Estudio de riesgo sísmico para un punto particular

- **Estudios geológicos.** Tectónica regional y régimen de deformación, cartografía de fallas capaces importantes en un área de 100 Km. de radio. Determinación del tipo de fallas. Pruebas en pro y en contra de la actividad reciente de las fallas. Evidencias en el terreno de asentamientos, inundaciones y deslizamientos conexos.
- **Estudios de ingeniería de suelos.** Informes de campo sobre los terrenos de cimentación (capacidad portante, etc.) y estudios de estabilidad. Tratamiento especial de la inestabilidad por hundimiento o por falla de pendiente, modificación de los parámetros de diseño para movimientos fuertes cuando sea necesario.
- **Estudios sismológicos.** Determinación de terremotos históricos locales, cartografía de epicentros sísmicos. Estudio temporal de la relación recurrencia de intensidad-recurrencia de magnitud, para la zona. Evaluación de las intensidades históricas en la vecindad. Correlación entre focos sísmicos y fuentes sísmicas sobre la cartografía, estimación de futuras intensidades (aceleración, velocidad y desplazamiento) cerca del lugar y con la probabilidad de recurrencia. Selección de registros de movimientos fuertes de terremotos pasados que mejor representen las intensidades probables.

15.5.3 El aporte del geotecnista a la ingeniería sísmica.

- **Fuentes y trayectorias.** Entre los parámetros sismológicos asociados a estudios de riesgo sísmico, tenemos los que definen y cuantifican las ondas sísmicas que inciden en los suelos que soportan nuestras ciudades. Deben caracterizarse los **focos de actividad sísmica** describiendo los mecanismos focales, naturaleza de las dislocaciones y esquemas sismotectónicos del orden regional, además, conocerse las trayectorias de las ondas caracterizando el movimiento ondulatorio, describiendo las estructuras del subsuelo, su topografía superficial y profunda, y características de los materiales rocosos. Aquí la evaluación de la trayectoria de las ondas sísmicas supone el empleo de algunas **ecuaciones de atenuación**. Ya a distancia del foco, se debe evaluar el potencial sísmico a nivel de la roca que sirve de basamento a cada ciudad, cuantificando la magnitud, aceleración máxima y período de retorno de los eventos sísmicos. Finalmente se entra a estudiar las condiciones locales de los depósitos de suelo que cubren el basamento (geometría de depósitos y propiedades dinámicas de sus materiales) con el fin de identificar la respuesta sísmica.
- **Interacción suelo- estructura.** Con este itinerario se cae a un problema típico de **dinámica de suelos**, en el que se deben conocer las propiedades dinámicas de cada estrato de suelo y del conjunto, así como la respuesta sísmica de un lugar específico y el efecto de las vibraciones en el suelo considerado como estructura, y también en el conjunto suelo-estructura (aludiendo aquí a las construcciones). Siendo el sismo un movimiento ondulatorio asociado a la liberación de energía en un medio elástico, puede darse el fenómeno de **resonancia** por semejanza entre los períodos de vibración (o frecuencias) del sismo, del suelo y de la estructura (cualquier construcción o depósito de suelo tiene un período natural de oscilación que lo caracteriza).

- **Tipos de suelos.** En estos estudios se pueden considerar dos tipos de suelos para efectos prácticos; los **depósitos blandos mal consolidados** en los que los esfuerzos cortantes crecen sin que necesariamente lo hagan los movimientos del suelo, suelos que después de la excitación quedan intactos, y los **depósitos granulares sueltos y saturados** que desarrollan grandes deformaciones, dando lugar a deslizamientos de tierra o a su licuación. Debe advertirse que las cargas dinámicas asociadas a sismos son complejas, pues difieren en magnitud, dirección y frecuencias. La idealización del sismo permite considerar un tren de esfuerzos cortantes (como también de ondas de compresión) que se desplaza desde el foco y hasta las ciudades, a través de las diferentes unidades de rocas, cruza los estratos de los depósitos que las cubren, y alcanza en su viaje las estructuras de las construcciones que habitamos. En ese viaje cambian su trayectoria, magnitud y frecuencia. Las oscilaciones del terreno también se caracterizan por ser cíclicas y rápidas resultando por ello sometidos los suelos a condiciones de cargas dinámicas bajo condiciones no drenadas (si el suelo está saturado el agua no tiene tiempo de salir).

El comportamiento del suelo ante sismos y en **condiciones saturadas** es preocupante porque, para grandes deformaciones por esfuerzos de corte, se puede producir una acumulación gradual de la presión de poros dentro del depósito de suelo, en detrimento de los esfuerzos efectivos, tal que si el número de aplicaciones de carga resulta suficiente, los esfuerzos efectivos se anulan, quedando el suelo licuado si su resistencia al corte es de tipo friccional; el suelo así se ha transformado en un pantano. Después del proceso y cuando las presiones de poros se han disipado el suelo volverá a su condición hidrostática sufriendo densificación por reacomodo de su estructura (el pantano se vuelve tierra firme y se asienta).

- **Algunas lecciones.** Para resaltar la importancia de una evaluación de las características de los depósitos blandos ante solicitudes dinámicas y la necesidad de ubicar acelerógrafos sobre depósitos blandos y rocas del basamento, como fase fundamental para los estudios de microzonificación sísmica, se muestran los siguientes **ejemplos**: en los terremotos de Chile y Alaska (1991) hubo fallas de laderas, asociadas a efectos combinados del incremento de los esfuerzos cortantes en el suelo y las amplificaciones locales por topografía, en estratos arcillosos. En el terremoto de Méjico (1985) y en el de Loma Prieta (1989) en los depósitos de suelos finos blandos, con espesores de hasta 100 y 200 metros respectivamente, las amplificaciones de las aceleraciones horizontales máximas fueron de 2 a 4 veces, mientras las de las aceleraciones espectrales máximas fueron de 8 a 15 veces y de 3 a 6 veces respectivamente. Estos terremotos cambiaron completamente los conceptos sobre la respuesta de las arcillas blandas ante cargas sísmicas. Experiencias teóricas en el Valle de Ashigara Japón (1992) muestran que en la práctica es difícil evaluar la respuesta dinámica de depósitos aluviales o coluviales que incluyan diferentes tipos de suelos y cambios topográficos simultáneamente.

- **El resultado.** El producto importante derivado del conocimiento de las características de la respuesta sísmica de los depósitos de suelos, en las zonas habitadas, es la mitigación o reducción del riesgo sísmico. Gracias a la instalación de una red sísmica y de acelerógrafos, se le permite a la ingeniería sísmica aplicar sus metodologías, técnicas y estrategias, no sólo para evaluar la vulnerabilidad de las construcciones y obras ya ejecutadas y construir las nuevas de manera segura, sino también para modificar el nivel de seguridad o de servicio de las estructuras que lo ameriten, de acuerdo a su resistencia, a su funcionalidad y a su vulnerabilidad.

15.5.4 Mapa de microzonificación sísmica. Para la preparación del mapa de microzonificación se requiere adoptar un método interdisciplinario, teniendo en consideración la sismología, la geología, ingeniería y el medio ambiente edificado. A continuación se proponen tres etapas operacionales, presentadas por el Laboratorio de Sismología y Vulcanología de la Universidad de Costa Rica.

- **1ª Etapa.** Elaboración de mapas adecuados a los requisitos de las zonas urbanizadas interesadas, delineación de los aspectos concretos del método. Recopilación y tratamiento de datos multidisciplinarios requeridos, incluyendo los obtenidos de experiencias internacionales.

A los mapas temáticos se les asigna una serie de parámetros, su calificativo y un valor que se determina con base en:

Tabla 18. Valoración de parámetros para la microzonificación.

Parámetro	Calificativo	Valor
Tipo de suelo, de acuerdo a su consolidación		S
Roca (S1)	bajo	1
Suelo firme (S2)	medio	2
Suelo blando (S3)	alto	3
Muy blando (S4)	muy alto	4
Períodos naturales del suelo (segundos)		P

Parámetro	Calificativo	Valor
0,1 - 0,4	muy bajo	1
0,1 - 0,5	medio	2
0,1 - 0,6	alto	3
>0,6	muy alto	4
Topografía (pendiente en grados)		T
0 - 10	muy bajo	1
10 - 20	bajo	2
20 - 30	medio	3
30 - 40	muy alto	4
Aceleraciones máximas (porcentaje de la gravedad)		M
0 - 0,15	muy bajo	1
0,15 - 0,30	bajo	2
0,30 - 0,40	alto	3
>0,40	muy alto	4

R. Ramírez. Metodología para la microzonificación sísmica, Universidad de Costa Rica, 1995.

- **2ª Etapa.** Se adopta una metodología para la combinación de los factores anteriores, considerando que la amplificación sísmica ocurre cuando en determinado tipo de suelo y con un cierto período de duración se alcanza un grado de susceptibilidad, y que bajo estas condiciones la sismicidad actúa como elemento detonante.

Se considera que el grado de amenaza es el producto de la energía del sistema por la susceptibilidad y la acción de los elementos detonantes o de disparo. Aquí se asumirá que el primer factor es unitario.

$$\text{Amenaza (A)} = 1 \times \text{susceptibilidad (Z)} \text{ por detonante (D)}$$

El valor de la susceptibilidad se compone a su vez de tres parámetros (valor del tipo de suelo (S), período natural del suelo (P) y topografía (T)). A su vez el factor detonante se compone del parámetro aceleración máxima (M). Haciendo la compilación de factores se tiene la ecuación:

$$A = 1 \times Z \times D$$

$$A = 1 \times (S \times P \times T) \times (M)$$

El grado de amenaza y los intervalos preliminares, de conformidad con el resultado que se obtiene de aplicar los valores de atrás en la anterior ecuación son:

Bajo	1 - 16
Medio	16 - 36
Intermedio	36 - 54
Alto	54 - 72
Muy alto	>72

- **3ª Etapa.** Se lleva esta información de una forma adecuada a los usuarios para que se establezcan planes de manejo del uso de la tierra, ordenación física del territorio y planes de prevención de desastre sísmico. Este plan se puede llevar a cabo por medio de conferencias, foros y un pequeño folleto que explique en forma concisa el uso del mapa de microzonificación sísmica.

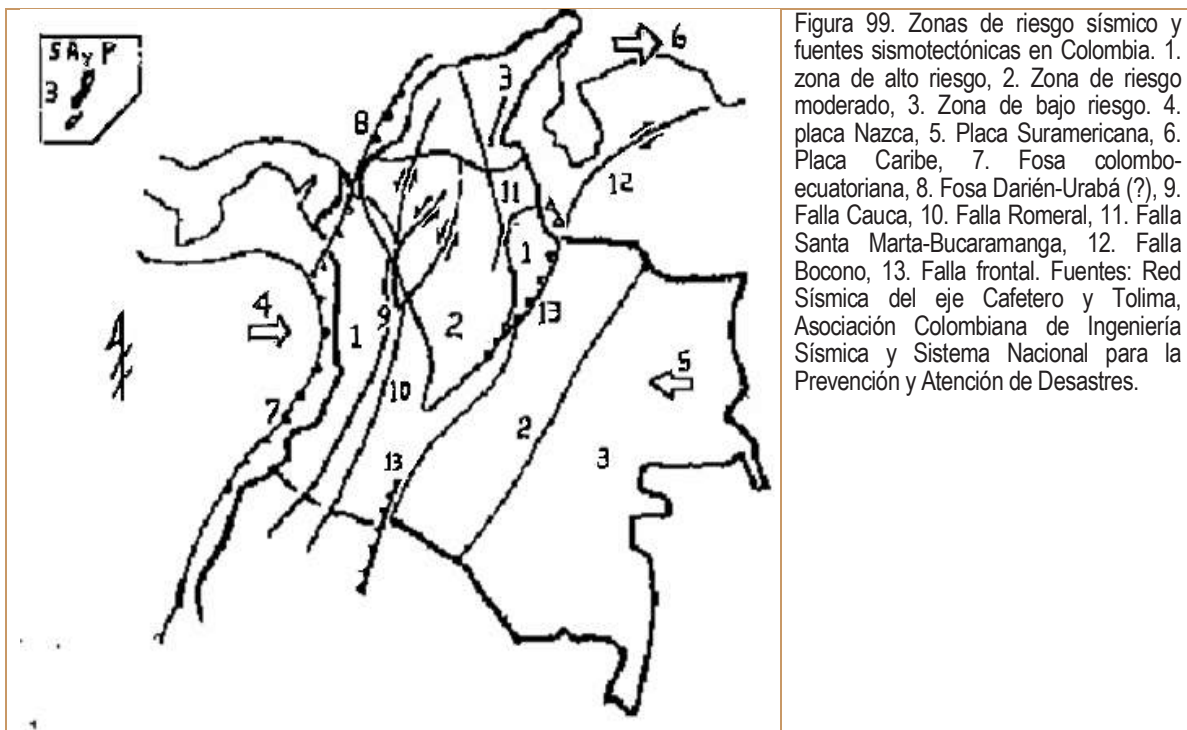
- **Limitaciones.** La metodología permite una aproximación de las áreas con amenaza de amplificación sísmica. El método identifica áreas donde se debe tomar en consideración las características de las condiciones geológicas superficiales (suelos) y ayuda a definir los factores de amplificación dinámica para perfiles de suelo firme, blando y muy blando, también permite orientar recursos a estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos para el desarrollo de la infraestructura urbana.

15.6. RIESGO SISMICO EN COLOMBIA Y EL EJE CAFETERO

Existen sobre la Tierra regiones prácticamente asísmicas. Son los cratones o núcleos estables de los continentes, como el Escudo Guyanés, el Escudo Brasileiro y el Escudo Canadiense, para el caso de América. Contrariamente, las regiones sísmicas son el Cinturón Circumpacífico y la línea Alpes-Caucaso-Himalaya.

15.6.1 Fuentes sísmicas de Colombia. En Colombia los sismos son frecuentes en la región del pacífico y andina, eventuales en la caribe y escasos en la orinoquía y la amazonía. Casi toda la población del país habita zonas del alto y moderado riesgo sísmico. En Colombia los sismos intraplaca son someros e intensos en la región del pacífico y profundos y menos leves sobre la región andina. Hay singularidades en Riosucio (Chocó) y en la región de Bucaramanga, como también fallas de gran actividad en la joven cordillera Oriental y en otras regiones del país, según lo visto atrás.

La falla Atrato afecta a los departamentos del Valle del Cauca, Chocó y Antioquia. La falla de Romeral atraviesa los departamentos de Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.



La falla del Cauca recorre los departamentos de Nariño y Cauca. La falla de Palestina cruza los departamentos de Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar. La falla de Santa Marta-Bucaramanga afecta a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Cesar y Magdalena.

La falla Guaicaramo cruza los departamentos del Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca. También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.

15.6.2 Amenaza sísmica en el Eje Cafetero.

El Eje Cafetero está localizado en una de las **zonas de alto riesgo** sísmico de Colombia. Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1985 ponen en evidencia una fuente sísmica de importancia, generadora de sismos de magnitud cercana a 7 grados e intensidades de VII, la que por la profundidad (70 a 100km.) y posición de los focos (basamento de la Cordillera Occidental) se ha relacionado con la zona de subducción de la Placa de Nazca (Pacífico). Las aceleraciones registradas, han alcanzado valores del 11% de la gravedad.

Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son dos fuentes sísmicas que merecen consideración en esta poblada región. Los terremotos superficiales de Popayán 1983 y Quindío 1999, con magnitud 6 e intensidad VIII,

anuncian una segunda fuente sísmica de implicaciones diferentes. Las aceleraciones en los depósitos mal consolidados, han alcanzado aceleraciones hasta 5 veces superiores a las registradas en los sismos profundos, aunque en intervalos de tiempo muy pequeños.

Esta temática ha sido uno de los principales objetivos de técnicos y científicos que laboran en el Programa de la Red Sísmica del Eje Cafetero y el Tolima, para poder llegar a lo que se conoce como respuesta sísmica. Es importante señalar que las tres ciudades capitales de la conurbación cafetera, están sobre potentes abanicos asociados a depósitos fluviotorrenciales de origen volcánico, asociados a los ríos Chinchiná, Otún y Quindío. El de Manizales anuncia levantamiento desde el terciario tardío hasta el holoceno. La formación Manizales con sus depósitos fluviotorrenciales a la altura de Chipre y Villa Kempis, anuncia el levantamiento respecto a Villamaría y Morrogacho.

Las **características sismotectónicas** de la región apenas empiezan a conocerse y el catálogo de información sísmica se remonta apenas a algunas décadas, manteniendo lagunas, imprecisiones e inconsistencias. No se sabe aún como se atenúa la intensidad en función de la magnitud y distancia focal del sismo y a lo sumo podríamos suponer que la actividad sísmica del futuro tendrá alguna semejanza con la del pasado. Aún deberá caracterizarse mejor las fuentes sismotectónicas identificadas y conocer otras que puedan provocar sismos destructores aunque locales.

Como no es posible aún, predecir los fenómenos sísmicos de un modo determinista se ha recurrido a modelos probabilísticos cuya eficacia depende de la validez, cantidad, calidad y extensión de los datos que alimentan el modelo. Pero dada la **limitación** en nuestras bases de datos, se ha buscado representar la historia sísmica con la recurrencia de las magnitudes generadas por las diferentes sismofuentes, asumiendo su localización y unas determinadas leyes de atenuación de intensidad, donde las variables se modelan con características aleatorias dada la incertidumbre de los registros y del fenómeno en sí (modelo estadístico bayesiano).

Se parte del presupuesto de que la intensidad es la variable más determinante en los daños sísmicos y que la **calibración** de los resultados finales y consistencia entre tasas de excedencia de magnitudes e historia sísmica se obtiene con el catálogo sísmico del lugar.

Ciertamente la incertidumbre e imprecisión inherentes a un tratamiento estadístico, no resultan aceptables al evaluar el impacto sobre el total de pérdidas que pueden tener las obras de infraestructura comunitaria, razón por la cual cada caso (cada línea vital o cada centro de servicio) debe ser tratado particularmente. La **vulnerabilidad física** de una estructura se describe en términos de la aceleración basal, el período fundamental de vibración de la estructura y la función de daños.

15.7- MANIZALES: POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL RIESGO

Tras una historia urbana signada por desastres como la erupción del Ruiz en 1985, los terremotos profundos de 1961/62, 1979 y 1995 o el sismo superficial de 1999 de importancia para el Eje Cafetero, y ahora las Niñas 2007/8 y 2010/11 con su enorme impacto para nuestra conectividad vial y frágiles laderas y para el suministro del agua de esta ciudad del trópico andino, si en algo pareciera existir consenso entre los manizaleños es que, entre los asuntos públicos después de la corrupción, nuestro principal problema se relaciona con la ausencia de una política pública ambiental que abrigue, entre otros aspectos socioambientales, la problemática del riesgo asociado a los fenómenos naturales, y que empiece por reconocerle al agua y la tierra el carácter de patrimonio por ser fundamento de la vida, y no de un recurso objeto del mercado.

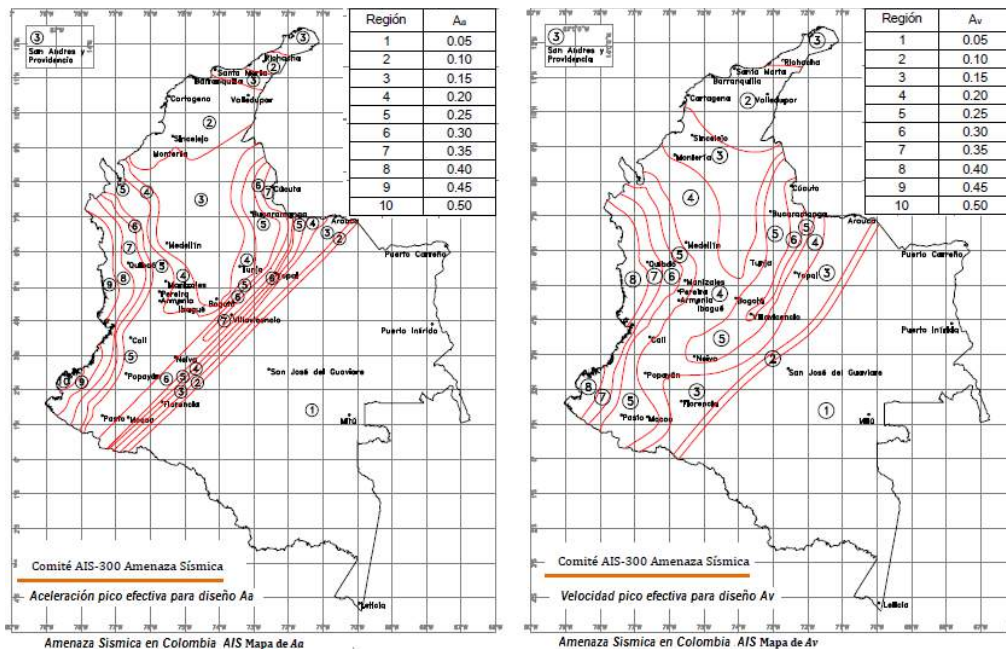


Imagen 86: Amenaza sísmica en Colombia: valores pico de aceleración y velocidad sísmicas de diseño Aa y Av para un evento con un período de retorno de 750 años. Comité AIS-300, en Estudio General de la Amenaza sísmica de Colombia 2009..

Pero hacer viable y eficaz la formulación, implementación, seguimiento y evaluación de una política pública coherente, obliga a apostarle a objetivos estratégicos viables desde la perspectiva social, económica y ambiental para alcanzar su sostenibilidad, a materializar decisiones democráticas sobre derechos civiles en el plan de desarrollo, a expresar unos usos no conflictivos del suelo espacializados al detalle en el plan de ordenamiento territorial, y finalmente a implementar una pedagógica en torno a ese proceso para ayudar a su comprensión y apropiación social, como cualificación de un desarrollo ambiental soportado en el empoderamiento del territorio. Si nuestra problemática contempla la amenaza del cambio climático con sus consecuencias hidrogeológicas en cuencas deforestadas y frágiles montañas, de las fuentes sísmicas y en especial Romeral por la incidencia de terremotos de intensidad severa como detonantes de incendios y sacudidas que pueden hacer de edificaciones vulnerables desechos de concreto a la espera, y de los eventos volcánicos del Ruiz y en especial de Cerro Bravo ahora en calma, también dicha política deberá encarar otros aspectos relevantes, como:

- 1- deterioros ambientales urbanos donde el espacio público brilla por su compleja problemática;
- 2- degradación de ecosistemas y áreas de interés ambiental por efectos de una expansión urbana;
- 3- contaminación hídrica y de suelos por altos niveles de concentración de vertimientos industriales y agroindustriales; y
- 4- guetificación de la ciudad consecuencia de un modelo urbano inequitativo concebido más para el transporte motorizado que para las personas.

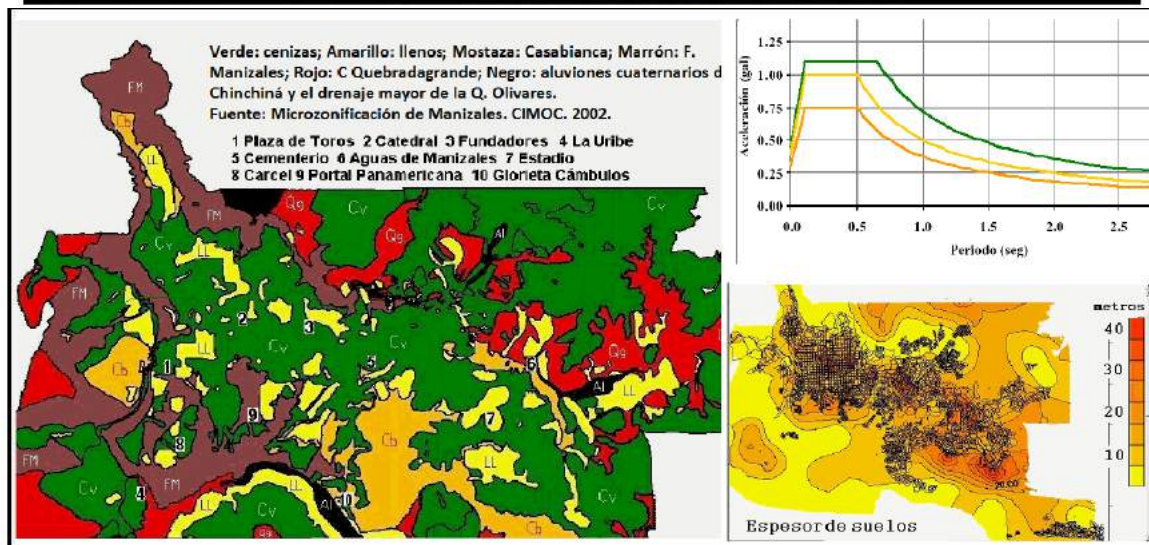
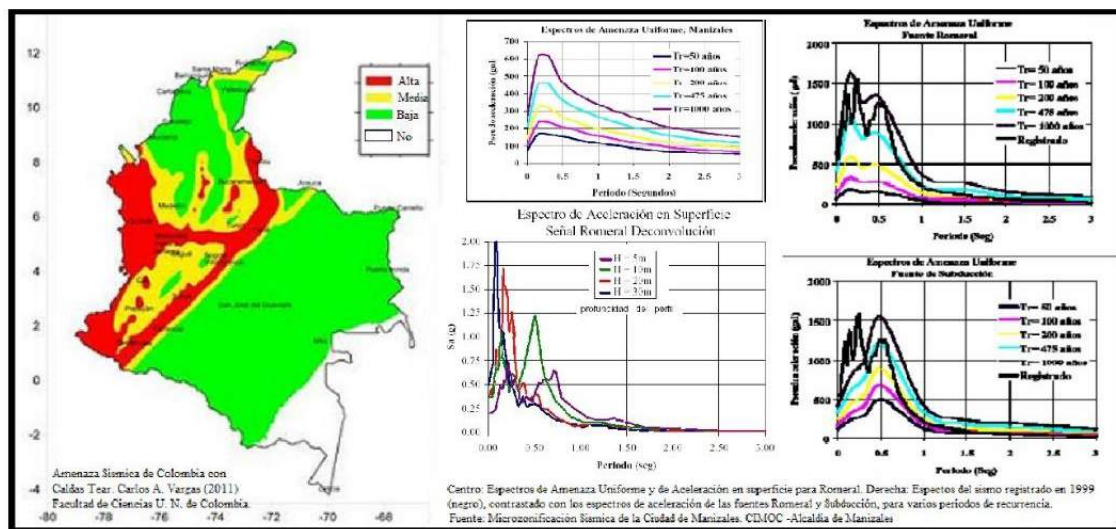


Imagen 87. Arriba: Zonificación de Manizales según Cimoc (Der); y Espectros de diseño y espesores de suelos en Manizales (Der). Abajo: Mapa no oficial de Amenaza Sísmica para Colombia según Carlos A. Vargas, en UN Periódico (2011), y Espectros de amenaza y de aceleración en la Microzonificación Sísmica para Manizales, del SIMOC (2002).

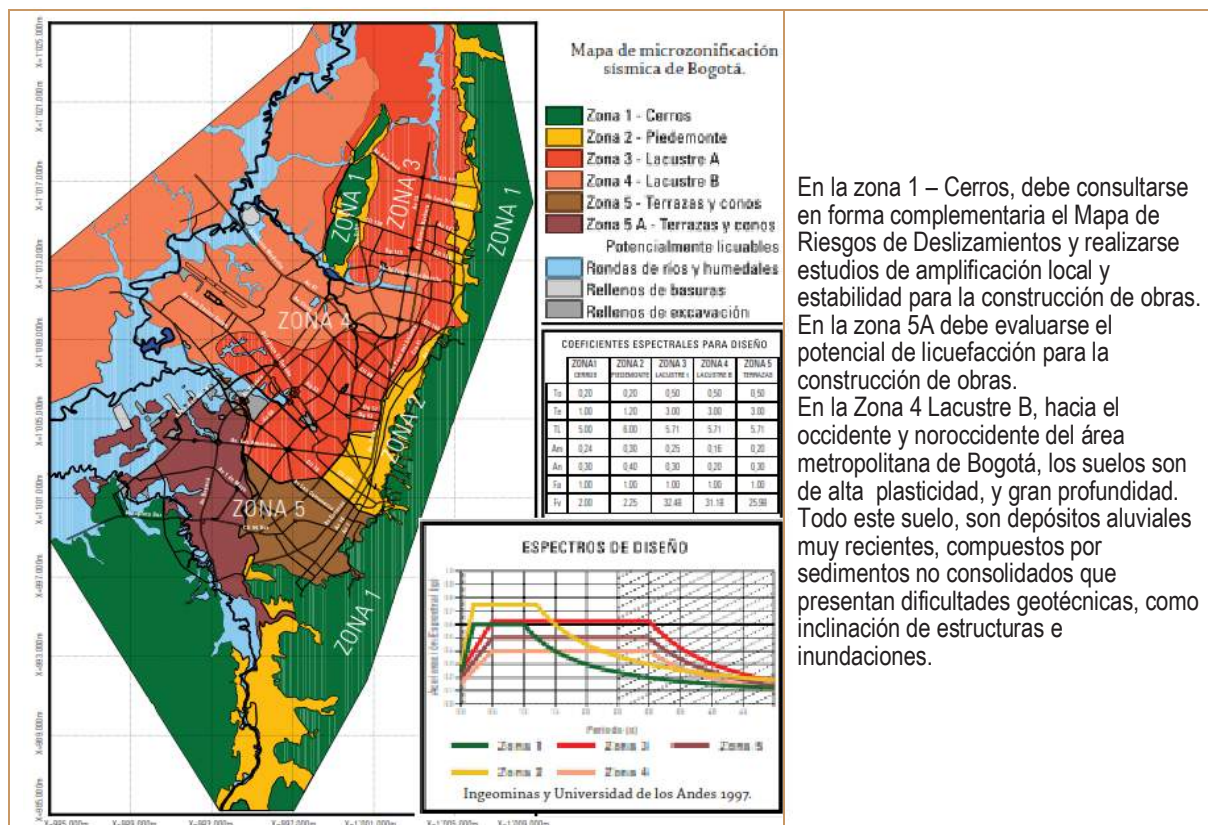
Nuestras políticas públicas ambientales, deberán incorporar varios objetivos clave para la gestión integral del riesgo, como son el desarrollo de las capacidades relacionadas con: a) la previsión a corto plazo que atañe a la instrumentación de los fenómenos geodinámicos, alertas tempranas y modelación de los eventos probables, y la previsión general de los desastres donde resultan vitales los mapas de amenaza para resolver la ocupación conflictiva del suelo e implementar modelos de exposición al riesgo; b) con la atenuación de los efectos adversos de los eventos mediante medidas de prevención tanto con mejoras físicas o estructurales como de gestión eficiente de los sistemas estratégicos y líneas vitales, y medidas de preparación asociadas a la planificación de acciones rápidas y eficaces para restaurar los servicios y controlar o mitigar los daños al sistema construido y los efectos al ambiente; y c) con los diferentes niveles de las emergencias, donde el plan general debe diseñarse en función del riesgo de cúmulo y los planes operativos en función del riesgo específico, coordinados con el anterior.

En el tema de sismos y volcanes, para subrayar el desafío y naturaleza de la tarea que se demanda, me permito estas ideas sumarias: aunque la amenaza del Ruiz no resulte significativa para la ciudad frente a una erupción pliniana comparable a los eventos históricos de 1595 y 1845, y a pesar de conocer los daños ocasionados en Manzales por los sismos profundos ya señalados, habrá que empezar a tomar acciones de largo plazo y extremada urgencia frente a la amenaza volcánica de Cerro Bravo y paralelamente mejorar las condiciones de sismo-resistencia y seguridad ignífuga dado lo ocurrido en Popayán y Armenia y el advenimiento del gas, para sortear tarde que temprano un sismo superficial del entorno vecino de la falla Romeral.

Y para finalizar, el tema de las laderas en el que habrá que avanzar buscando la adaptación al cambio climático y en la investigación científica resolviendo en detalle las zonas urbanas potencialmente inestables y ordenando nuestras cuencas y microcuencas, puesto que al observar las dos últimas Niñas citadas, pese a su condición intrínseca similar, los graves efectos dejan ver una dinámica creciente del calentamiento global que anuncia consecuencias cada vez mayores, tal cual lo advertimos al observar la Sabana de Bogotá convertida en una "Venecia" y 30 municipios colombianos como Gramalote que requieren reasentamiento, cuando no por los múltiples estragos sobre la vía al Magdalena, en las quebradas La Mula, Manzales y El Perro.

[Ref. La Patria, Manzales, 2012-04-30]

15.8. RIESGO SÍSMICO EN BOGOTÁ



En la zona 1 – Cerros, debe consultarse en forma complementaria el Mapa de Riesgos de Deslizamientos y realizarse estudios de amplificación local y estabilidad para la construcción de obras. En la zona 5A debe evaluarse el potencial de licuefacción para la construcción de obras. En la Zona 4 Lacustre B, hacia el occidente y noroccidente del área metropolitana de Bogotá, los suelos son de alta plasticidad, y gran profundidad. Todo este suelo, son depósitos aluviales muy recientes, compuestos por sedimentos no consolidados que presentan dificultades geotécnicas, como inclinación de estructuras e inundaciones.

Imagen 88: Microzonificación Sísmica de Bogotá. Las zonas críticas son las azules asociadas al río Bogotá y las de color naranja y rojo de origen lacustre. Mapa de Ingeominas. Universidad de Los Andes 1997.

Bogotá ha sufrido el impacto de tres terremotos con intensidad VIII como los de Popayán 1983 y Armenia 1999: En agosto de 1917, fue sacudida por un sismo de 6.9 grados en la escala de Richter, localizado a unos 60 Kilómetros en la Cordillera Oriental, con epicentro cerca al Páramo de Sumapaz: las consecuencias del evento, 16 muertes y múltiples heridos, 400 casas derrumbadas y 50 severamente dañadas. El 9 de febrero de 1967 a las 10:24 a.m. otro evento 7.2 grados de magnitud, en los Cauchos (Huila-Caquetá) con un saldo

de 13 muertos. A lo anterior se suman 4 eventos ocurridos en 1743, 4826, 1923 y 1967 con intensidad VII, como lo fueron los sismos de Manizales y Perira de 1962, 1979 y 1985.

Considerando que la capital ha registrado cerca de siete eventos en los últimos 300 años, y que a pesar de que el Altiplano se encuentre ubicado en la zona de amenaza sísmica moderada de Colombia, el riesgo es alto dada la naturaleza lacustre de sus suelos, en especial sobre el entorno del río Bogotá, y la vulnerabilidad estructural de las viviendas donde el medio ciudadano construido sin normas sismo-resistentes podría superar el 60%, ha llevado a que los diferentes actores sociales capitalinos aborden el estudio de la amenaza sísmica y emprendan las acciones del caso para mitigar el riesgo correspondiente.

Según los estudios de la Universidad de Los Andes e INGEOMINAS, se estima que para un período de retorno de 475 años, la aceleración máxima en roca para la ciudad de Bogotá es de 0.2g. A esto se añade que más de la mitad de las construcciones de la ciudad es de fecha anterior a 1985, y que el 60% de las personas de la capital colombiana vive en zonas de alta pendiente, con un gran potencial a deslizamientos. Aunque en general, los eventos sísmicos de Intensidad VIII en la escala de Mercalli, son aquellos que ocasionan daños ligeros en construcciones buenas, medianas en las regulares y grandes en las malas, además de la tipología constructiva, cuando se trata de suelos blandos que amplifican las ondas sísmicas y de laderas en fuerte pendiente que resultan inestables, estas y otras características del suelo que pueden conocerse de antemano, permiten anticipar la problemática para mitigar el riesgo de un probable desastre.

Para reducir la vulnerabilidad social en caso de terremoto, el Fundapris de Venezuela 1994) recomienda implementar simulacros de evacuación para instituciones, en tres fases así:

1- La planeación: motivación (Convocar informar, discutir, notificar y solicitar apoyo), coordinación (Comité ejecutivo y brigadas con tareas simples y cronograma), revisión (mapa zonificado con amenazas, refugios rutas, etc.) e implementación (señalizar y adecuar el escenario y dotarlo de elementos).

2- La ejecución: simulacros (cantidad y fecha, notificar a las autoridades), desalojo (sistema de alarma, protocolos y normas) y respuesta (Atender las emergencias, inventario de daños, zonas de refugio y de atención pos – desastre).

3- La evaluación: análisis (Organizar, evaluar, corregir e identificar nuevas necesidades), redacción (elaborar informe escrito, actualizar) y difusión (Discutir internamente, remitir copia del informe, contrastar el Programa).

De conformidad con la imagen adjunta, tenemos:

Zona 1A: Cerros Orientales y Suroccidentales. 1B: Cerros de Suba.

Zona 2A: Piedemonte Orientales. 2B: Piedemonte del Sur. 2C: Piedemonte de los cerros de Suba.

Zona 3A: Lacustre A (Oriental). 3B: Lacustre A (Occidental).

Zona 4: Lacustre B.

Zona 5A: Terrazas y Conos Orientales Potencialmente licuables.

Zona 5B: Terrazas y Conos Occidentales potencialmente licuables. Rondas de Ríos y Humedales Rellenos de Basuras Rellenos de Excavación. Entre las fuentes sísmicas que amenazan a Bogotá, preocupan las fallas Frontal de la Cordillera Oriental, Ibagué, Salinas y Magdalena. Según los expertos, un gran sismo originado en el Sistema Regional de Fallas, o cualquiera de las descritas, con epicentro a unos 60 km de distancia y Magnitud superior a siete -lo que puede ser racionalmente probable-, causaría una destrucción del orden del 20% en la ciudad.

Aún más, si se diera un evento superficial asociado a una falla local (La Cajita, La Mesa, Río Tunjuelito, Río Bogotá, Santa Bárbara... algunas incluso inactivas) con magnitud superior a seis, y epicentro a menos de 15 km, sismo cuya frecuencia y probabilidad puede ser menor que la del caso anterior, aunque la energía resultaría 30 veces inferior los daños ascenderían al 30% de la ciudad, y por lo tanto mayor sería la pérdida de vidas, impacto que en su mayoría afectaría lugares con suelos blandos donde se amplifican las sacudidas, en sitios ya identificados gracias a la microzonificación de la ciudad.

Y finalmente, el riesgo frente a grandes fuentes sísmicas lejanas, a más de 250 km, como la zona de subducción o la Falla Romeral, generando eventos importantes con una magnitud del orden de 8 grados o más, y por lo tanto con una energía 900 veces mayor que la de un sismo local de magnitud 6, es menor que el riesgo de los dos casos anteriores, ya que los daños sólo afectarían cerca del 10% de la capital.

...

15.9- SISMO, BAHAREQUE Y LADERAS.



Barrio Marmato, en Manizales. La Patria.

Barrio La Avanzada, en Manizales. A.C. Chardon

Barrio Sierramorena, en Manizales. CER Revista Aleph

Imagen 89: Viviendas de bahareque en las laderas de Manizales. La Patria, A. C. Chardon y C.E. Ruiz. UN Sede Manizales.

RESUMEN: Anotaciones sobre los impactos sobre el hábitat por el sismo del Eje Cafetero del 25 de enero de 1999 con epicentro en el Sur del Quindío, evento superficial de Magnitud 6,4 asociado a un trazo del Sistema de Fallas de Romeral. Aparte de las asimetrías relacionadas con los conflictos socio-ambientales entre los medios urbanos y rurales, quedan las lecciones positivas del bahareque dado su comportamiento "temblorero" consecuencia del carácter vernáculo de dicha arquitectura, y la estabilidad de las laderas no intervenidas por procesos de modelado.

Del examen del pasado sismo del 25 de enero se deduce que la intensidad en la escala modificada de Mercalli alcanzó grado VIII, siendo los mayores efectos los ocasionados sobre la conurbación Armenia-Calarcá y en los poblados cerca del epicentro, dada la superficialidad del evento y su magnitud cercana a seis, como la fragilidad de las transformaciones agrarias y urbanas sobre el medio ambiente.

Recuérdense las vías a Pijao y a sus veredas cerradas por derrumbes varios días y semanas, y las casonas de bahareque en el marco de su plaza, o en el de Barcelona, en pie y en medio de ruinas de construcciones de mampostería derrumbada. También, que el efecto del desastre pudo más sobre la economía terciaria de Calarcá y Armenia absolutamente colapsada, que sobre la de Pereira, e incluso, que sobre la economía cafetera de los pueblos del Quindío, donde aparte de la infraestructura afectada, los cafetales quedaron en pie.

En la subregión sur del Quindío, sobre la zona cordillerana epicentro del sismo, las laderas de las montañas no colapsaron, pero sí los taludes de las vías todas. Es que las laderas son las cuevas naturales de montañas con suelos que durante miles de años vienen ajustándose a los eventos telúricos de la zona, mientras los taludes son el fruto de las recientes transformaciones sobre un frágil equilibrio alcanzado por la montaña. Cuando cortamos las laderas para construir lotes y caminos afectamos el equilibrio.

Pero lo más sorprendente es el caso del bahareque, no sólo porque ha sobrevivido con absoluto éxito a las sacudidas del suelo, sino porque se le ha desconocido su calidad de bien cultural autóctono que potencia el turismo del Quindío. Como arquitectura vernácula el bahareque de la colonización antioqueña es hermoso, sismo-resistente y de bajo costo, y no tiene que arbitrarse exclusivamente por normas externas como las del actual código de construcciones, en el que la palabra bahareque no aparece, ni prohibirse como tecnología constructiva capaz de dar una respuesta eficaz a nuestra comunidad y en especial a los más pobres.

La cultura se entiende como el resultado de una relación dialéctica de simbiosis y parasitismo entre las colectividades humanas y el medio ecosistémico que ocupan, por lo que el medio ambiente evoluciona desde el estado natural al paranatural. El bahareque lleva con nosotros más de un siglo y surge de la tapia cuando se incorporan la guadua y el arboloco como materiales de construcción con propiedades "tembloreras" para casas de ambiente sísmico construidas donde no se debe modelar la topografía, porque se hiere el terreno para el lote y se reduce el factor de seguridad de la ladera que es cercano a uno.

Si un medio natural se transforma con bienes culturales exógenos inapropiados, el medio resulta vulnerable a las amenazas que encuentran frágil ese bien traído de otro escenario y no adaptado a las nuevas circunstancias. El bahareque de la colonización, con sus cuatro versiones de bahareque: con tierra y cagajón, entablillado, metálico y encementado- como lo clasifica el arquitecto baharecólogo Jorge E. Robledo C.- adquiere su mejor expresión en el último, donde las formas variadas admiten los estilos coloniales, republicanos y victorianos que han adornado los centros históricos y residenciales de muchas de nuestras poblaciones del Eje Cafetero.

La lección que nos deja este sismo en materia de sismo-resistencia, es que debemos desarrollar una tecnología de viviendas y caminos, apropiada para el hábitat del medio tropical andino, donde la mecánica de suelos de nuestras universidades se ha quedado corta al diseñar los taludes para el corte de las laderas sin diferenciar las dificultades inherentes de los suelos tropicales, y donde el bahareque de la zona cafetera debe ser reconocido como arquitectura vernácula, con la propiedad inherente de la sismo-resistencia que tiene ya una carga histórica centenaria ajustándose a las exigencias del medio natural nuestro.

Finalmente, dos conclusiones. La primera, que el código colombiano debe reconocer al bahareque, y que para el bahareque se expidan oportunamente las normas de buena calidad y las que previenen el precoz deterioro por la acción de la humedad, los hongos y las termitas, para dar paso a la reconstrucción del Quindío. Y segunda, que los taludes admisibles en zona montañosa sean los que no aumenten la pendiente a las laderas de montaña, y que de nuestras frágiles laderas con los planes de ordenamiento territorial limitemos y normemos los usos y manejos del suelo a fin de garantizar su estabilidad y con ella la vida.

Manizales 30 de mayo de 1999. Artículo publicado en Crónica del Quindío.

15.10. HURACANES Y TERREMOTOS: ¿Y CÓMO ESTÁ COLOMBIA?



Rutas de Huracanes y Zonas Sísmicas del planeta, en <https://co.pinterest.com>

Imagen 90A: Rutas de huracanes mostrando el efecto de coriolis y Zonas sísmicas del planeta, concidiendo con los cinturones volcánicos, en <http://econintersect.com> y <https://pinterest.com>

RESUMEN: Esta nota se ocupa de dos amenazas naturales de gran impacto que acechan en la región: los Huracanes y los Sismos. Primero, porque los fenómenos ciclónicos del Atlántico que dejan destrucción a su paso por el Caribe, también puede impactar sobre el Archipiélago de San Andrés y Providencia, y generar lluvias intensas y fenómenos colaterales en el norte de Colombia. Y segundo, porque además de la amenaza por maremotos asociados a sismos originados en el fondo oceánico del entorno vecino, también nuestras fuentes sísmicas continentales pueden afectar los centros urbanos del país ubicados en zonas de riesgo sísmico alto y moderado.

Tras los desastres recientes en México, en el Caribe y en Estados Unidos es imperioso volver sobre las amenazas que afectan a Colombia y sobre las medidas que debemos adoptar para hacer frente a estos riesgos.

Dos graves amenazas ambientales

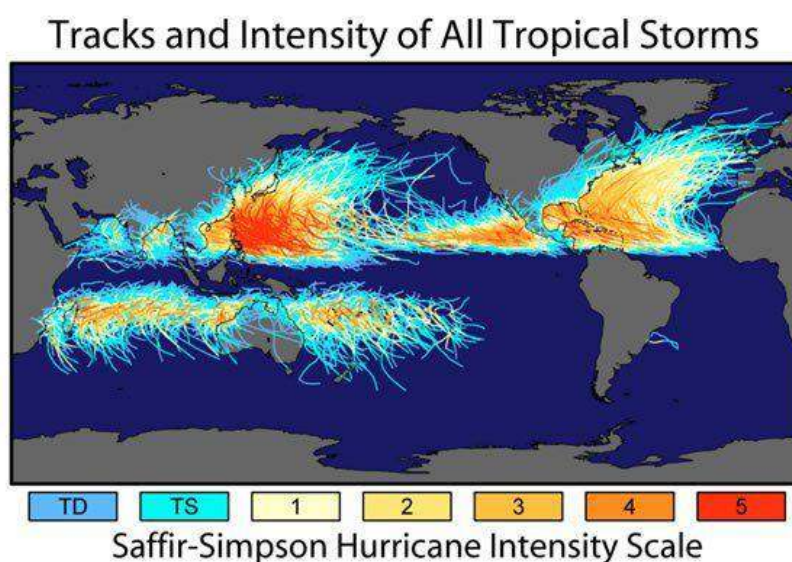


Imagen 90B: Trayectorias e intensidad de todas las tormentas tropicales del globo de los últimos 150 años hasta septiembre de 2006, según la escala Zafiro-Simpson. Fuente y créditos Global Warming Art.

Tanto los planificadores urbanos como las autoridades colombianas deben reflexionar con urgencia sobre las dos amenazas ambientales que –también para nosotros- representan los huracanes y los grandes terremotos.

La primera de estas amenazas, dado lo ocurrido con *Irma*, un huracán de categoría 5 que azotó el norte del Caribe y el sur de Estados Unidos entre el 30 de agosto y el 12 de septiembre pasados, con brazos de hasta 300 kilómetros de diámetro, y vientos máximos de 302 km/h, calificado como el más poderoso que ha sido registrado en el Atlántico. *Irma* cobró 37 vidas en el Caribe y 14 en Estados Unidos.

La segunda amenaza, dado el sismo de magnitud 8,2 en la escala de Richter que sacudió México el viernes 8 de septiembre y al cual se sumaron cientos de réplicas debido al carácter superficial de este fenómeno telúrico, el cual cobró 98 vidas y afectó principalmente los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco.

El estudio de los terremotos en áreas sísmo-tectónicamente activas, que son vecinas a grandes urbes, y de las tormentas ciclónicas que surgen en los mares para llevar caos y destrucción a las ciudades costeras, es tan antiguo como la humanidad misma, aunque en principio contaron con una explicación mítica relacionada con la ira de los dioses.

Según la mitología griega, Tifón hijo de Gea, quien intentó destruir a Zeus en venganza por haber derrotado a los Titanes, además de erupcionar lava, creó los huracanes y los terremotos con el batir de sus enormes alas. Para los griegos -quienes fueron los primeros en dar una explicación natural a los terremotos-, dichos estremecimientos ocurrían cuando Poseidón, el dios de los mares, hacía tambalear a Atlas, quien recibió como castigo de Zeus sostener al mundo en sus hombros.

Vientos enfurecidos y sacudidas de la tierra

La ocurrencia de eventos climáticos extremos como los que ya se advierten a nivel global, es resultado del calentamiento del planeta, calentamiento que en los próximos cincuenta años aumentará la temperatura entre 1,5°C y 2,5°C según las características de las distintas regiones de la Tierra.

Este calentamiento traerá desastres mayores: tormentas ciclónicas de mayor intensidad, lluvias inusuales, sequías severas, inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, y degradación ambiental: pérdida de ecosistemas terrestres, elevación del nivel del mar y desaparición de los glaciares.

La intensidad de una tormenta ciclónica depende de la velocidad de sus vientos. Sus daños pueden variar de conformidad con la escala Saffir-Simpson -que califica el poder destructivo de los huracanes desde 1 a 5 cuando éste toca tierra-

- Cuando la categoría es 1, hay inundaciones en zonas costeras y daños menores en zonas urbanas por vientos entre 119 y 153 kilómetros por hora y olas que pueden llegar a 1,5 metros de altura.

- Cuando la categoría es 5, hay destrucción masiva de viviendas e infraestructuras con vientos sostenidos por encima de 250 kilómetros por hora, o por olas que pueden superar los 6 metros de altura.

Adicionalmente, durante las últimas décadas hemos presenciado desastres sísmicos mayores que han afectado a países en desarrollo. Esto no se debe a que en el mundo se estén presentando más terremotos, sino al acelerado crecimiento de la población residente en zonas sísmicas, de manera que la magnitud de los daños ha venido en aumento.

Ejemplo de lo anterior son las urbes latinoamericanas de los Andes, Centro América y en el Caribe, aquellas de la línea Alpes-Himalaya, y algunas ubicadas en el Pacífico asiático; este margen oceánico y las costas occidentales de las Américas conforman el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, caracterizado por su intensa actividad sísmica y volcánica.

Países tan lejanos entre sí como Irán, Chile, Japón y Nueva Zelanda son particularmente vulnerables a esta actividad sísmica. Asimismo, la lista de grandes ciudades azotadas por la pobreza incluye a Estambul en Turquía, Karachi en Pakistán, Teherán en Irán, Katmandú en Nepal y Lima en Perú.

No obstante, no podemos descartar a Bogotá como posible escenario a pesar de encontrarse en una zona de amenaza sísmica intermedia, ya que podría sufrir el embate de movimientos tectónicos superficiales de mediana magnitud, partiendo de fuentes sísmicas vecinas relacionadas con pequeñas fallas locales, e incluso de grandes eventos no muy lejanos provenientes de mega-fallas activas como las del frente llanero o la Falla Salinas.

Refugiados y víctimas

Entre 2003 y 2013, se registró una media de 388 desastres naturales al año que afectaron a 216 millones de personas y cobraron 106.654 vidas. Según el Consejo Noruego para los Refugiados, mientras las pérdidas económicas por los desastres naturales de los últimos 30 años tuvieron un valor medio anual de 130 mil millones de dólares, la posibilidad de tener desplazados ha aumentado en un 60 por ciento en cuarenta años.

Según el informe “Estado de la población mundial 2015, un refugio en la tormenta”, en los últimos 20 años los damnificados por desastres naturales sumaron en promedio cerca de 200 millones por año, cifra que triplica los 65 millones anuales de víctimas de epidemias, adversidades tecnológicas y conflictos armados a nivel global.

A pesar de que la mayoría de los desplazamientos por desastres de origen sísmico y climático son internos y en ocasiones pueden cruzar fronteras, no existen instituciones que puedan mitigar su sufrimiento.

El cambio climático ha ocasionado más de 4.000 millones de heridos o damnificados en el mundo durante los últimos veinte años, ya que ha contribuido al desplazamiento humano acelerando sequías y la desertificación, al igual que la erosión costera y la salinización de aguas subterráneas y tierras de cultivo. Mientras las catástrofes de origen sísmico han cobrado la vida a más de un millón de personas desde principios del presente siglo.

La amenaza climática y sísmica en Colombia

Tras la erupción del Ruiz y la desaparición de Armero en 1985, el Gobierno instauró el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD) que institucionaliza la gestión del riesgo, ya que esa falencia gravitó como causa fundamental del desastre.

Inicialmente se diseñó una dependencia del Ministerio de Gobierno para atender las fases de emergencias, luego a raíz del terremoto del Eje Cafetero de 1999 se implementó la fase de reconstrucción, y finalmente tras las Niñas 2007/8 y 2010/11, el SNPAD pasó a un plano de mayor desarrollo organizacional al ocuparse también de la prevención y mitigación de los desastres, al tiempo que se creó el Fondo Nacional de Calamidades.

La gestión del riesgo para enfrentar los huracanes tiene un manejo distinto del de los terremotos, puesto que estos eventos tectónicos se presentan de forma súbita. Los huracanes son fenómenos climáticos donde intervienen gran número de variables de comportamiento aleatorio como vientos, temperatura y humedad, y que igualmente se aborda con pronósticos.

En Colombia el desafío está en estudiar de forma integral la amenaza climática, a pesar de que dicha tarea está a cargo del IDEAM y de que las sequías son poco frecuentes y los ciclones tienen incidencia marginal. La Oficina de Pronósticos y Alertas suele elaborar los avisos y boletines ambientales sobre huracanes para advertir sobre la posibilidad de lluvias intensas y marejadas con sus peligros colaterales.

Si bien lo anterior procede para el archipiélago de San Andrés y Providencia por ser nuestro lugar más comprometido en virtud de su latitud, para el caso de la Guajira la ocurrencia de las tormentas significa el advenimiento de lluvias esperadas para calmar la sed de la tierra.

Para los terremotos los factores principales del riesgo son: la influencia de las fuentes sísmicas y la caracterización de las provincias sismo-tectónicamente homogéneas. Allí deben considerarse la frecuencia, naturaleza y magnitud de los eventos, además de la vulnerabilidad física de las construcciones, asentamientos humanos expuestos en cada contexto, y variaciones en la respuesta dinámica del terreno, ya que los suelos blandos al igual que el relieve agravan la intensidad local del desastre.

En Colombia, además del mapa de sismicidad elaborado por la Red Sismológica Nacional se ha expedido la norma sísmica NSR-10 sobre diseño y construcción sismo resistente, instrumento que para el efecto aplica un período de retorno de 475 años.

También ha habido esfuerzos específicos en materia de microzonificación sísmica en las grandes ciudades y estudios sobre la tipología constructiva. Sin embargo, en muchas zonas de amenaza sísmica alta, falta abordar dicha labor; tal es el caso de las poblaciones ubicadas en fallas del sistema Cauca-Romeral, el Margen Llanero y de la región del Pacífico.

[Razón Pública, Bogotá, 2017.09.18]

Lecturas complementarias

Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales.

Manizales está ubicada en una zona donde los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995 ponen en evidencia una fuente sísmica profunda con eventos de magnitud cercana a 7 grados desde la zona de subducción; pero las fallas del sistema Cauca-Romeral son otra fuente que merece mayor consideración, dadas las devastadoras consecuencias de estos sismos, como los de Popayán 1983 y Quindío 1999, de magnitud cercana a 6 pero de mayor intensidad. Se deberán contemplar sismos cuyo periodo de retorno no sea inferior a 475 años, aunque al del del Quindío, pudo corresponderle unos 750 años, Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9142/gonzaloduquescoabar.201210.pdf>

Un tinto para la reconstrucción del Eje Cafetero.

Consideraciones sobre las características socioambientales y socioeconómicas del desastre asociado al terremoto del 25 de enero de 1999, y sobre la vulnerabilidad y otras condiciones culturales preexistentes, relacionadas con el un modelo de producción en el que se advierte un deterioro de los términos de intercambio, además de un modelo productivo soportado en prácticas productivas ambientalmente conflictivas.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51802/gonzaloduquescoabar.201452.pdf>

Haití sin resiliencia para el desastre.

En caso de terremotos fuertes, la resiliencia es la capacidad que tienen los sistemas urbanos y comunidades de un territorio afectado y alterado estructural y funcionalmente por un evento sísmico severo, de recuperarse de forma participativa y equitativa restableciendo los sistemas que se han alterado tecnológicamente y socialmente de forma significativa por el paroxismo o de absorber las perturbaciones que este ocasiona, sin modificar significativamente sus características culturales tras una reconstrucción oportuna y eficiente para regresar a un estado de normalidad con aprendizajes y logros materiales con impactos en materia social ambiental y económica, significativos, que se expresen en la reducción de la vulnerabilidad global. Debemos solidarizarnos con los hermanos haitianos y no olvidamos de su desgracia; es que se trata de la reconstrucción ambiental y social de un territorio en sumo grado vulnerable, en una situación calamitosa agravada por las consecuencias y pasivos ambientales de los errores históricos, a las que se suman las del evento de ahora que también las pone en evidencia.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77150/haitisinresilienciaparaeldesastre.pdf>

No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes.

En todas las zonas de peligro por amenaza sísmica de las ciudades del tercer mundo, tenemos, además de líneas vitales construidas con diseños relativamente obsoletos, viviendas y edificios públicos de relativa antigüedad, que no se han reforzado. Como consecuencia de lo anterior, en zonas de amenaza sísmica alta, conforme crecen los centros urbanos, algunos investigadores se refieren a dichas megalópolis como "escombros a la espera". Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52954/nohaymasterremotosimplementedesastresmasgrandes.pdf>

Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón.

Además del compromiso que impone en materia de prevención de desastres los niveles de preparación y respuesta de la nación asiática al enfrentar la amenaza sísmica en su región, queda la enseñanza de las imprevisiones en las centrales nucleares afectadas. Reflexiones sobre este desastre y otros como el de Haití, para mostrar las urgencias de la gestión del riesgo sísmico en Colombia. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7017/gonzaloduquescoabar.201115.pdf>

ENLACES U.N.:

<p><u>Aqua como bien público.</u></p> <p><u>Centro Sur de Caldas: ¿Un Área Metropolitana?</u></p> <p><u>Clima: las heladas.</u></p> <p><u>Colombia pos covid... ¿qué hacer?</u></p> <p><u>Construyendo el territorio UMBRA.</u></p> <p><u>Degradación del hábitat y gestión ambiental.</u></p> <p><u>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.</u></p> <p><u>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</u></p> <p><u>El Cuidado de la Casa Común: Agua y Clima.</u></p> <p><u>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</u></p> <p><u>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</u></p> <p><u>El Río Cauca en el desarrollo de la región.</u></p> <p><u>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</u></p>	<p><u>El territorio del río Grande de la Magdalena.</u></p> <p><u>El territorio de los Ansermas de la cultura Umbra.</u></p> <p><u>El territorio del Gran Caldas. "La Tierra del Café".</u></p> <p><u>El territorio del río Grande de la Magdalena.</u></p> <p><u>Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero.</u></p> <p><u>La economía en la era del conocimiento.</u></p> <p><u>Legalidad y sostenibilidad de la quadua en la ecorregión cafetera.</u></p> <p><u>Magdaleneando hasta el Tolima Grande.</u></p> <p><u>Manizales: El futuro de la ciudad.</u></p> <p><u>Más espacio y oportunidades para el ciudadano.</u></p> <p><u>Muelle de Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible?</u></p> <p><u>Noroccidente de Caldas: un territorio forjado en Oro, Panela y Café.</u></p> <p><u>Paisaje y región en la Tierra del Café.</u></p> <p><u>Planificación estratégica para la movilidad.</u></p> <p><u>Por falta de bosques con el agua al cuello.</u></p>	<p><u>Por La Aurora, invocando el principio precautorio.</u></p> <p><u>Por un territorio verde y funcionalmente integrado.</u></p> <p><u>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</u></p> <p><u>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</u></p> <p><u>Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.</u></p> <p><u>Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.</u></p> <p><u>Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera.</u></p> <p><u>Una visión sistémica del Aeropuerto del Café.</u></p> <p><u>Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.</u></p> <p><u>Vida y desarrollo para el territorio del Atrato.</u></p> <p><u>Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.</u></p>
--	--	--

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Armero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
--	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Flujo de lodo de 1985 en Armero, Tolima. Vulcan.wr.usgs.gov

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 16

MOVIMIENTOS MASALES

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Son los movimientos de la roca y del material no consolidados, en respuesta a la atracción de la gravedad. El agua, el hielo y el viento son agentes geológicos de erosión. Aunque los medios de transporte son variados; entre los principales figuran los ríos.

Los agentes de estos procesos externos están impulsados fundamentalmente por dos fuerzas: la energía del Sol y la gravedad. Estos procesos actúan en sentido inverso a procesos internos que regeneran el relieve.

Son varias las causas que condicionan el modelado de las rocas y las distintas morfologías. Entre éstas podríamos destacar tres: la tectónica, la climatología y el tipo de roca.

Las fuerzas internas son las principales responsables de las formas a gran escala que se observan sobre la superficie del planeta, como cordilleras y depresiones. Aparece aquí la climatología influenciando los agentes geológicos externos que provocan erosión. En las regiones montañosas frías el hielo, en las regiones áridas el viento y por una y otra parte el agua, que es el principal agente modelador de las regiones templadas.

Como el fenómeno de la erosión por corrientes de agua, y por glaciares y desiertos, se verá adelante, sólo se considera en este aparte el de los movimientos de masas por ser estos los más significativos cuando se evalúan las amenazas naturales en zonas de montaña.

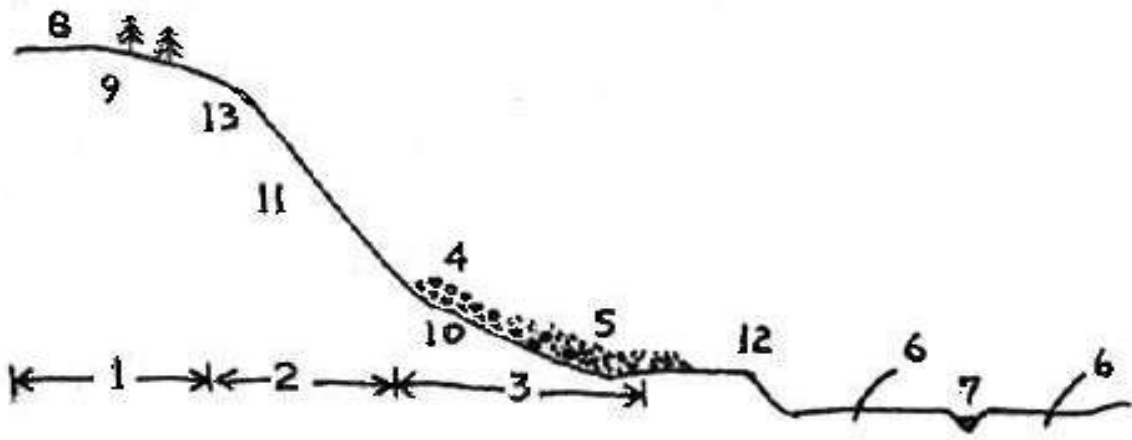


Figura 100. Perfil idealizado de una ladera: 1. zona de infiltración, 2. ladera desnuda, 3. ladera de acumulación, 4. talus, 5. coluviones, 6. aluviones, 7. río, 8. interfluvio, 9. ladera convexa, 10. Ladera cóncava, 11. Ladera recta, 12. Borde de cauce. Adaptado de Manuel García López, curso de estabilidad de taludes, U. Nal.

16.1. PARAMETROS Y PROCESOS DE INESTABILIDAD

El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Esto puede ocurrir al aumentar el esfuerzo cortante (sismos, variaciones morfológicas desfavorables, etc.) o al disminuir la resistencia al corte del suelo (saturación, meteorización, etc.).

16.1.1 Parámetros que influyen en el movimiento masal. Los parámetros que influyen en la inestabilidad de las masas son:

- El tipo de material (clase de rocas, capa alterada y tipo de cobertura).
- Pendiente (gradiente, forma y longitud de las laderas).
- Condiciones hidrológicas (infiltración, permeabilidad, profundidad del agua subterránea y cantidad de agua).
- Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos masales).
- Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad-período, la sismicidad y el vulcanismo).

16.1.2 Procesos que facilitan el movimiento de masas. La gravedad proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo de las masas de suelo. No obstante el movimiento se favorece por la acción del agua, por la geometría de los depósitos y por la naturaleza de los materiales. De ahí que los procesos que influyen en la inestabilidad sean:

- **Resecamiento del suelo.** Si el exceso de agua provoca el deslizamiento, también la falta de agua. Al secarse el suelo, se contrae y se producen disyunciones perpendiculares a la dirección en que los vasos capilares van perdiendo agua. No se deben pavimentar los taludes para facilitarles el agua lluvia.

- **Saturación del material con agua.** No se promueve el movimiento por lubricación. La tensión superficial de la humedad da cierta cohesión al suelo, pero la fuerte lluvia obliga a la salida del aire de los poros destruyendo la tensión superficial y reduciendo la cohesión de la masa. Simultáneamente, con la saturación del suelo, el agua de los poros entra bajo presión y trata de apartar los granos individuales y unidades de roca, disminuyendo la fricción interna del material.

- **Modificaciones por erosión.** Porque altera la geometría del depósito, venciendo la pendiente crítica del talud o provocando la pérdida de su pata. También la deposición o sobrecarga de materiales erosionados interviene en la estabilidad de una masa al modificar la pendiente o al generar esfuerzos adicionales en su interior, que alteren la estabilidad de los materiales.

Cuadro 20. Procesos de erosión hídrica e inestabilidad

Tipo	Acción	Consecuencia	Medidas
Pluvial (lluvia)	Impacto	Deslizamiento	Empradizado, mateado Plantación protectora Captación y recubrimiento
	Escorrentía	Descubrimiento	
	Infiltración		
Escorrentía (arroyamiento)	Difusa	Erosión laminar Surcos o cárcavas	Barreras vivas y colchones Trinchos, gaviones
	Concentrada		
Fluvial (corrientes)	Lineal	Profundiza cauces y erosiona laderas	Obras de disipación y plantación protectora Obras transversales, reforestación
	Areolar	Desgasta el relieve en los interfluvios	
Eólica (viento)	Levantamiento	Descubrimiento	Mateado y plantaciones Barreras cortaviento vivas
	Abrasión	Desgaste	

Adaptado de Heber Soto y Carlos E. Escobar. Control de la erosión, Cramsa, 1984.

- **Variaciones del material y otros.** Como cambios en la naturaleza del suelo (por meteorización o por alteración natural o artificial de los materiales), esfuerzos dinámicos (sismos, tráfico, etc.), sobrecargas artificiales e intervención del hombre (talas, construcciones, etc.)

Cuadro 21. Perfil de un suelo residual.

FABRICA	Nº	HORIZONTE	DESCRIPCION	AFALLAMIENTO
Fábrica Textural Heredada	VI --- V	Suelo residual	Suelo residual ----- roca completamente descompuesta	Erosión ----- Superficie Irregular
Fabrica Textural y Estructural Heredada	IV --- III	Roca meteorizada	Roca altamente descompuesta ----- roca modera/ descompuesta	Fallas planas, volcamientos y curvas ----- inicia el control estructural
Fábrica Estructural Heredada	II --- I	Roca no meteorizada	Roca débil/ descompuesta ----- roca fresca	Falla en cuña o planar, caída ----- Superficie curva en roca triturada

J. Montero. Estabilidad de taludes. Conferencia Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1995.

16.1.3 El efecto de las lluvias torrenciales. Una condición importante de la estabilidad es el fenómeno de la lluvia y su intensidad. La precipitación media anual a lo largo de la zona andina colombiana varía entre 1300 mm y 2500 mm, con localidades de 5000 mm, y en la época lluviosa pueden darse entre 300 mm y 500 mm y en la seca entre 50 mm y 100 mm al mes.

En su mayor parte los deslizamientos se producen durante o inmediatamente después de lluvias de más de 50 mm o 100 mm/día, dependiendo de la zona.

Las temporadas de lluvia, en nuestro clima colombiano son: febrero 22 a marzo 21 y septiembre 21 a diciembre 22. Es que las temporadas húmedas y secas van con los solsticios y equinoccios, épocas en las que varía la posición de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, o ecuador meteorológico, sobre el cual convergen los vientos productores de lluvia a lo largo del año.

Regiones como el Chocó, con precipitaciones diarias e intensas muestran mejor estabilidad que regiones de la zona cafetera con precipitaciones más espaciadas y menos intensas.

En los años más lluviosos, que coinciden con el fenómeno del Niño, terminando los períodos de lluvias, muchas precipitaciones producen deslizamientos. La razón, ya los suelos se encuentran saturados y las lluvias de finales del período lluvioso, que tengan suficiente intensidad, sirven de detonantes.

16.2. CAUSAS Y FACTORES DE LA INESTABILIDAD

Las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.

16.2.1 Causas intrínsecas. Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, etc. En la evaluación de la amenaza estas causas pueden configurar los factores de la susceptibilidad del material al movimiento masal.

En las causas intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes **factores** inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural (como textura mineral, de diques que intruyen la roca).
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural, es decir, con la disposición de los materiales los cuales pueden estar orientados, favorable o desfavorablemente.
- Cambios en el estado inicial de los esfuerzos.

Las causas detonantes pueden ser naturales como la lluvia, el sismo (evaluado en términos de aceleración de la gravedad) y la erosión, o artificiales como cortes, llenos, deforestación, etc. En la evaluación de la amenaza estos se constituyen en factores detonantes.

16.2.2 Causas detonantes. En los detonantes hay que tener en cuenta los órdenes de las amenazas. Las amenazas de primer orden no son causadas por otras amenazas pero pueden ser detonantes de las de segundo orden. Las de tercer orden son causadas por las de primero o segundo orden. Estas son:

- **Primer orden:** sismos, huracanes, erupciones volcánicas y lluvias.
- **Segundo orden:** deslizamientos, maremotos, inundaciones, sequías.
- **Tercer orden:** aludes, avalanchas, flujos.

16.2.3 Causas contribuyentes. Las causas contribuyentes son similares a las causas detonantes o a las intrínsecas, pero su acción se limita simplemente a la anticipación del evento. Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo la remoción del soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones).

En la evaluación de las causas contribuyentes hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Factores relacionados con la composición de la roca.
- Factores relacionados con la degradabilidad de la roca.
- Factores relacionados con la estructura geológica.
- Factores por ambiente sismotectónico o volcánico.
- Factores antrópicos (sobrecargas, pérdida de soporte, manejo y alteración del drenaje, esfuerzos dinámicos, deforestación, mal uso y manejo del suelo).
- Factores climáticos (variaciones de la temperatura, máximas y mínimas, cantidad de lluvia, intensidad y distribución de las precipitaciones).

16.3. EVALUACION DE LA ESTABILIDAD

16.3.1 Resistencia al corte de los suelos. La resistencia a la cizalladura o corte, es el punto de partida para el tratamiento de los problemas de empuje de tierras contra estructuras de contención, de estabilidad de taludes de suelos en terraplenes y cortes, y de capacidad de soporte última de terrenos que han de servir de cimentación.

Los suelos están sometidos a esfuerzos de compresión, tracción y cizalladura como cualquier estructura, pero su resistencia a la falla por ruptura depende fundamentalmente de su resistencia a la cizalladura. Dado que la mayor parte de los suelos pueden soportar sólo pequeños esfuerzos de tracción, y que la resistencia a la falla por compresión pura es tan alta que no tiene importancia práctica, el interés del ingeniero se centra casi por completo a la resistencia al corte.

- **Ecuación de Coulomb.** Coulomb establece que un material falla cuando el esfuerzo cortante en una dirección dada de éste llega a igualar a la resistencia a la cizalladura en esa misma dirección, la cual depende de la cohesión y de la fricción interna entre los granos. La ecuación de Coulomb (1773) es la siguiente:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi'$$

En la cual **s** es la resistencia al corte del suelo en un punto y una dirección dados, **c** es la resistencia efectiva por cohesión entre las partículas de suelo, **$\sigma' \tan \phi'$** es la resistencia por fricción interna entre los granos, **σ'** es el esfuerzo efectivo normal a la dirección considerada, **ϕ'** el ángulo de fricción efectiva del suelo y **$\tan \phi'$** el coeficiente de fricción interna del material.

En aquella fórmula se supone que la cohesión c' y la fricción $\tan\phi'$ son constantes e independientes: no son ni lo uno ni lo otro, pero tal ecuación es tan útil como simple, incluso en nuestros días.

La cohesión c viene a ser la resistencia a la cizalladura τ del suelo bajo presión normal nula. Ella no existe entre granos de arena sin finos y en los limos es relativamente baja y aún nula. El ángulo de fricción interna ϕ resulta de la fricción mecánica directa entre granos y de la trabazón entre ellos.

16.3.2 Falla en taludes de suelo. Para comprender algo acerca del papel de la fricción y la cohesión en una masa de suelos, tomemos un talud que ha de fallar, no por deslizamiento superficial sino por movimiento del cuerpo del talud. Nos interesa el segundo caso donde la falla puede ser traslacional o rotacional según el tipo de suelo.

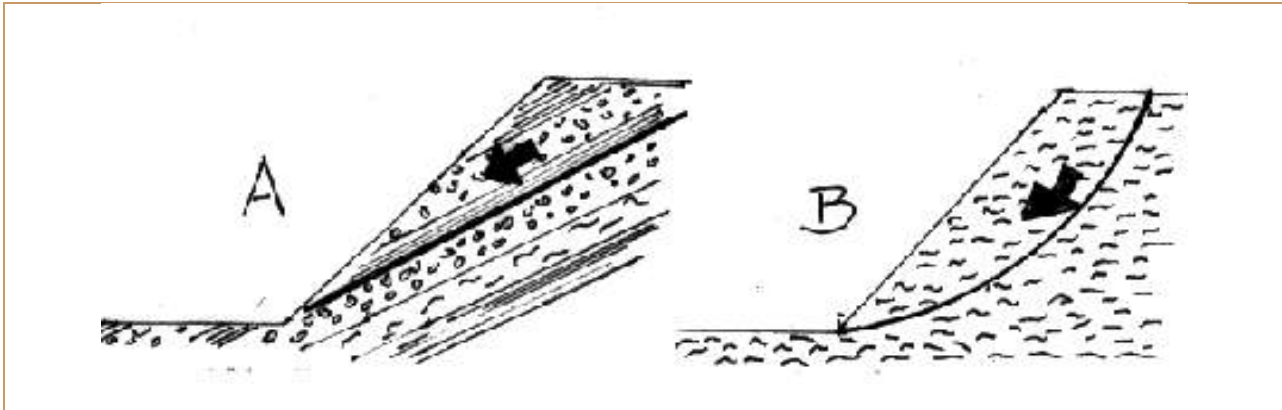


Figura 101. Fallas en suelos: A. Falla traslacional, B. Falla rotacional. Según Manuel García López, curso de estabilidad de taludes, U. Nal.

- **Suelos friccionantes.** Por ejemplo arenas. La falla en este caso es traslacional o plana.

El factor de seguridad FS está dado por el cociente entre las fuerzas resistentes FR y las fuerzas actuantes FA . Así, la estabilidad supone factores de seguridad mayores que uno.

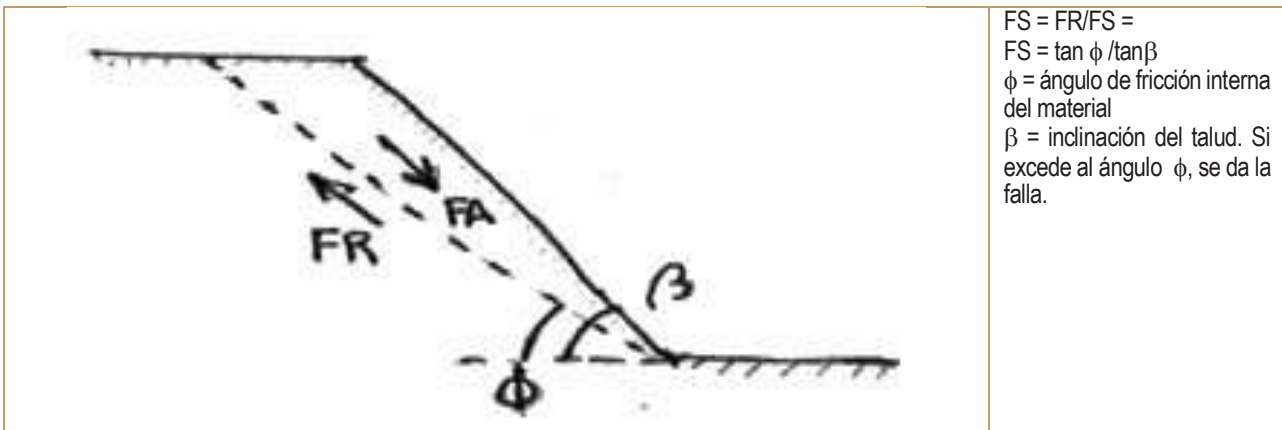
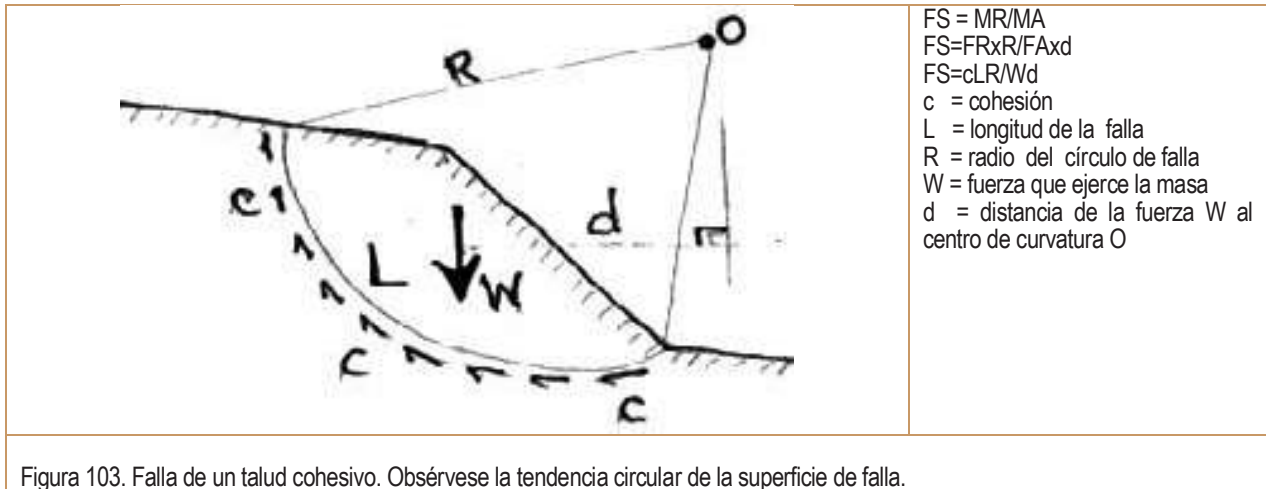


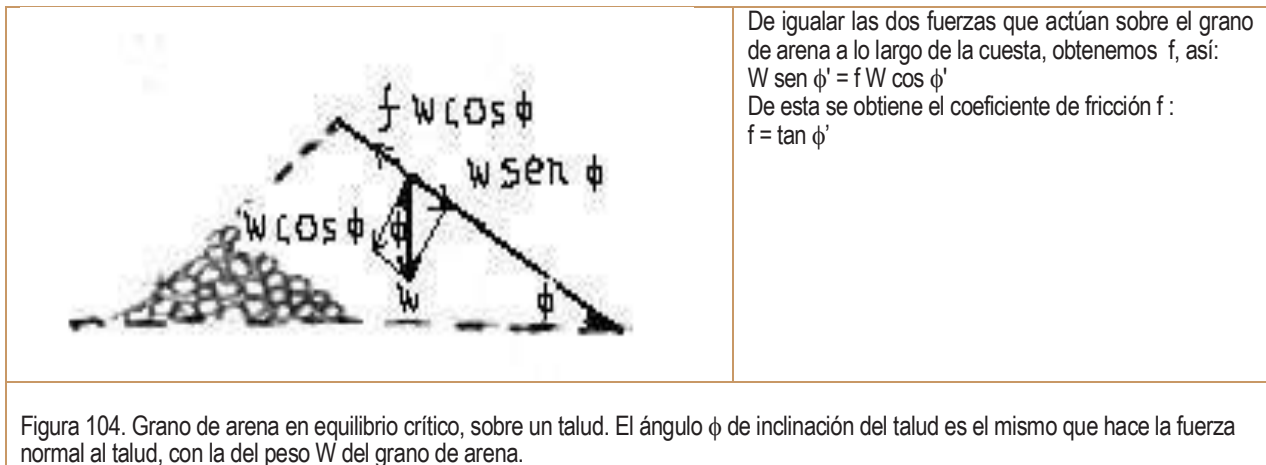
Figura 102. Falla de un talud friccionante. Obsérvese la geometría plana de la superficie de falla.

- **Suelos cohesivos.** Por ejemplo arcillas. La falla es rotacional y su geometría tiende a ser circular. El factor de seguridad FS está dado por el cociente entre el momento resistente MR de las fuerzas resistentes FR y el momento actuante MA de las fuerzas actuantes FA .



- Angulo de fricción y fuerza de fricción. Para encontrar la relación entre el ángulo ϕ de fricción interna y la fuerza unitaria de fricción interna del material f , supongamos un depósito de arena de forma cónica, reposando sobre una superficie horizontal como muestra la figura 104.

Al verter los granos sin impulso la pendiente del talud alcanza un límite de estabilidad crítico bajo el ángulo ϕ' . Cualquier grano de peso W en la superficie del depósito estará sometido a un par de fuerzas en equilibrio: $W \text{ sen } \phi'$, como fuerza que actúa tratando de rodar el grano, en dirección paralela con la superficie del talud, y, $f W \text{ cos } \phi'$ como fuerza que se opone, sosteniendo el grano, y en dirección opuesta a la anterior, siendo $W \text{ cos } \phi'$ la componente del peso W que resulta normal a la superficie.



Se puede interpretar éste valor de f como el porcentaje de fuerza del peso W , que debe ser superado para provocar el volcamiento de cualquier grano sobre la superficie del depósito.

- Conclusión. Para el suelo friccionante donde la falla tiende a ser traslacional, el factor de seguridad es el cociente de fuerzas y lo crítico es la inclinación del talud; en los cohesivos, donde la falla tiende a ser rotacional, el factor de seguridad es el cociente de momentos y el factor crítico suele ser la altura del talud.

Además se puede inferir el papel de los sistemas radicales profundos típicos de los bosques, que incrementan la resistencia al corte del suelo en la superficie de falla y drenan el suelo por el mecanismo de transpiración; además, el del follaje multiestrato que reduce el volumen de agua lluvia que alcanza el sauelo, gracias al papel de retención del follaje. Se considera que no es significativo el efecto del peso de los árboles y que los primeros aspectos suelen superar el efecto negativo de la infiltración a causa de la mayor rugosidad de la cobertura vegetal.

16.4. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS

Es importante una taxonomía que explique los mecanismos de deslizamientos de tierra y roca en el medio tropical andino, pues los fenómenos naturales no se producen siempre de una misma manera regular y uniforme y bajo condiciones simples y homogéneas. Con una clasificación capaz de abarcar todas las especies y géneros del fenómeno se pueden elaborar modelos y teorías útiles en el análisis y cálculo de los fenómenos que han de ser prevenidos o corregidos.

16.4.1 Clasificación de los movimientos masales. Una primera aproximación, puede ser la de discriminar los flujos rápidos y los deslizamientos, es decir los fenómenos de transporte de masas y de desplazamiento de masas.

El **transporte** de masas se da en avalanchas, flujos, fenómenos de escurrimiento y deyección de materiales. Los **desplazamientos** de masas, se dan en fenómenos de reptación, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias (cavernas de erosión y disolución) y propagación lateral de materiales.

Una segunda aproximación es la clasificación de los movimientos por su rapidez. Se consideran **movimientos rápidos** los deslizamientos de tierra, flujos de lodo, flujos de tierra y desarrollo de taludes. Se consideran **movimientos lentos** el resbalamiento, la solifluxión y los glaciares de roca.

Los **deslizamientos** pueden ser profundos (sin control estructural), caídas de detritos (con control estructural) y deslizamientos de rocas (con control estructural). Los deslizamientos pueden ser rotacionales (superficie de falla curva y suelo cohesivo) o traslacionales (superficie de falla plana y suelo friccionante).

La **reptación o reptamiento** (flujo lento) se reconoce por la ondulación del terreno, el desplazamiento de líneas de acueducto, la inclinación de postes y árboles. La velocidad se excita en épocas de invierno aunque en los más profundos ésta es más uniforme. Hay reptación de suelos en zonas interfluviales (material inconsolidado y húmedo), reptación de rocas en capas inclinadas hacia valles y reptación de talus (fragmentos de roca acumulados en cantiles).

Los **escurrimientos** son derrumbes o colapsos de masas irregulares asociados a excavaciones lineales (vías canales). Los **desprendimientos** son volcamientos, caídas, saltamientos y rodamientos de rocas.

Los **flujos rápidos** pueden ser flujos de tierra (baja velocidad), flujos de lodo (velocidad moderada) y avalanchas de detritos (alta velocidad). Un flujo de tierra puede transformarse en un flujo de lodo si hay aportes de agua; los flujos de lodo son más rápidos pero no portan volúmenes significativos de piedra y los sólidos están dominados por finos. Las avalanchas son ya enormes y permiten diferenciar bien un canal o cuello que conecta una zona de alimentación y otra de descarga. También hay flujos de detritos que son rápidos a causa de las altas pendientes, con contenidos de agua y aportes de materiales gruesos, pero que no compiten con las avalanchas

16.4.2. Descripción de los movimientos masales. Se tratará de complementar la descripción de los movimientos, clasificados ellos de acuerdo a su velocidad, y se harán anotaciones relacionadas con el manejo o la prevención de algunos eventos.

Cuadro 22. Clasificación de los movimientos de suelos y rocas en regiones tropicales

	CLASE	COMO OCURRE	CUANDO OCURRE	COMO EVITAR
Movimientos plásticos	Reptación por las capas superficiales	Movi. lentos de rastro, movilizándose sólo una parte de la resistencia al corte	Movimiento constante acelerado durante la época lluviosa	Impermeabilización de la superficie y drenaje superficial
O viscoso	Deslizamiento de "talus"	Movimientos continuos de antiguos depósitos de laderas	Corte hecho al pie de un "talus" durante la época lluviosa	Lo anterior más subdrenaje con drenes horizontales o galerías filtrantes
Deslizamientos a lo largo de superf.	Deslizamientos planos o traslacionales	Asentamientos del manto relativamente delgado sobre la superficie de la roca de fondo	Rotura durante o después de precipitaciones con más de 100 mm/día durante el invierno	Lo mismo con cambio de configuración del talud, canales colect., bermas en el pie y muros de contención.

	CLASE	COMO OCURRE	CUANDO OCURRE	COMO EVITAR
con cohesión y fricción	Deslizamientos rotacionales	Deslizamiento de suelos residuales o masa saprolítica, eventualmente con bloques de roca		
Deslizamientos estructurales de	Deslizamientos de cuñas o placas de roca	Deslizamiento a lo largo de discontinuidades planas	Rotura repentina durante o después de tormentas con más de 100 mm/día, pero no necesariamente	Anclaje de rocas y estructuras ancladas
Masas rocosas	Deslizamiento de masas rocosas muy fracturadas	Similar a los deslizamientos planares y rotacionales	Durante la época lluviosa	
	Caída de rocas	Desmoronamiento de bloques de roca (boulders)		
Flujos rápidos	Flujo de masa barrosa	Erosión o licuación de capas superficiales	Durante tormentas con precipitaciones de más de 50 mm/hora en épocas lluviosas de años secos	Si son moderados se construyen en la vaguada estructuras disipadoras para evitar la incorporación de
	Flujo de bloques de roca y "boulders"	Demolición de masas rocosas muy fracturadas		Material del cauce

Milton Vargas. Clasificación y mecanismos de deslizamiento de tierra y roca en zonas tropicales. Congreso Suramericano de mecánica de rocas, Santafé de Bogotá, 1982.

- **Deslizamientos de tierra.** Los movimientos catastróficos y destructivos de roca y suelo, que son los ejemplos de movimientos de masa más espectaculares, conocidos vulgarmente como "deslizamientos de tierra", deben ser subdivididos en tres así:
- **Desplazamientos o fallas de pendientes.** Son desplomes de masas que se desplazan como una unidad o serie de unidades; estos movimientos dentro del campo elástico a lo largo de planos curvos, son típicos de terrazas.
- **Deslizamiento de roca.** Son de carácter rápido y repentino. Estos movimientos, los más catastróficos de todos, se dan a lo largo de los planos de debilidad de las unidades de roca.
- **Huaycos.** Escurrimientos superficiales asociados a saturación por lluvias torrenciales. La masa que involucra la cobertura de suelo meteorizada, se transforman en flujos de escombros; son frecuentes en laderas desprotegidas de sistemas radiculares profundos o con pastos, sobre abruptas pendientes. La denominación es de origen Quechua.

Para prevenir los deslizamientos de tierra se recomienda el recubrimiento de las laderas con pastos especiales, la siembra de árboles de bajo porte que no provoque rugosidad y que favorezca la infiltración; la transpiración abate el nivel freático estabilizando el terreno. Los drenes horizontales de penetración también abaten el nivel freático y su papel consiste en llevar la presión atmosférica al interior del talud, para recuperar la tensión superficial.

En macizos con diaclasas favorables a la pendiente, se recomienda el anclaje de cuñas y la selección de la ladera adecuada para la fundación de bancas de vías, buscando planos de debilidad contrarios a la pendiente de la ladera.

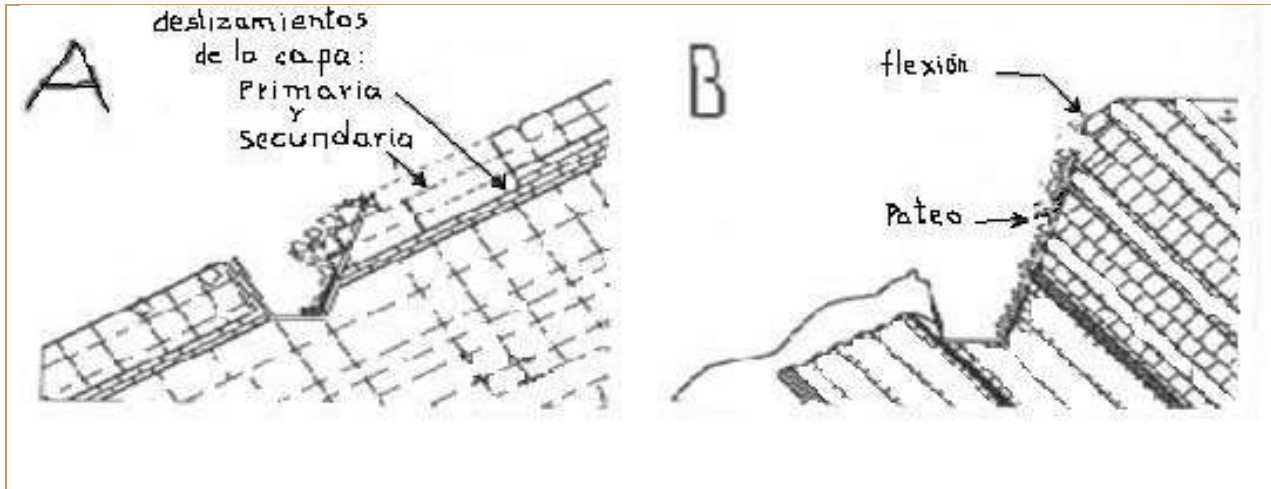


Figura 105. Selección de la ladera adecuada. Izquierda, Ladera en Macizo de Buzamiento conforme, Derecha, ladera en macizo de buzamiento contrario. Tomado y adaptado de Jaime Suárez, Deslizamientos.

La observación del estado de las coronas de los taludes y acantilados, particularmente en las zonas mineras y en regiones históricamente inestables, puede contribuir a la mitigación de los desastres. La construcción de obras de contención y defensa en el pie de las laderas amenazadas por corrientes de agua resulta de suma importancia.

- **Flujos de lodo.** Masas mezcladas de tierra, roca y agua en avalancha, que fluye con la consistencia del concreto. Se ocasionan por procesos de deshielo o por lluvia repentina en paisajes desérticos y no desérticos. Prototipo de este evento es el flujo que destruyó Armero en 1985 y el que destruyó la Planta de Gallinazo en Manizales en 1979. Estos eventos de gran recorrido, inundan finalmente los valles de salida de los ríos.

Hay monitores de flujos que se instalan en las vaguadas de los ríos con el propósito de generar alarmas tempranas para anticipar el aviso de eventos importantes que amenazan zonas pobladas aguas abajo de las corrientes. Consisten aquellos en cables horizontales tendidos transversalmente a una altura conveniente, para que flujos de cierta altura los revienten, interrumpan un circuito eléctrico y se genere una señal telemétrica de alarma.

- **Flujos de tierra.** Movimiento plástico de depósitos de tierra no consolidados, se diferencia de los anteriores porque el movimiento es muy lento pero perceptible. Los bloques conservados en la parte alta emulan a los desplomes, mientras las partes más bajas fluyen manteniendo su carácter plástico.

- **Fallas de taludes.** Son desprendimientos de fragmentos de roca provenientes de acantilados que caen en una serie de saltos libre, rebotes y deslizamientos. La pendiente del talud varía con el tamaño y forma de los fragmentos de roca, pero rara vez supera los 40° de inclinación con el horizonte.

- **Aludes.** Movimientos típicos de zonas estacionales causados en terrenos montañosos, dado que la pendiente crítica de la nieve es 20°. Cuando las laderas superan dicha inclinación, si no hay bosques o sistemas artificiales que generen rugosidad, durante el invierno, en caso de presentarse una mala estratificación de la nieve o de sobrevenir la acción del agua de deshielo por la llegada de la primavera, se provoca un alud de nieve, piedras, etc.

- **Resbalamiento o reptación.** Se da incluso en pendientes suaves y en climas templados y tropicales, cuando el material no consolidado, en estado húmedo, fluye sin dejar marcas superficiales sobre la cubierta vegetal, como fisuras o quiebras en la cubierta. Otras evidencias pueden anunciarlo, por el flujo los árboles y postes se inclinan y los pavimentos, conducciones y estructuras se agrietan y dislocan.

Tabla 19. Diferencia entre reptación y deslizamiento

Reptación	Deslizamiento
Movimiento lento o progresivo que se presenta cuando se supera la resistencia fundamental del material que es la resistencia a fluir	Se inicia repentinamente cuando los esfuerzos de corte superan la resistencia interna al corte del material
Sin superficie de falla. El movimiento es viscoso hacia la superficie y varía a plástico hacia la profundidad	El material se desplaza sobre la superficie de falla. Sin zona de transición (importante) al flujo plástico
Se debe a la gravedad combinada con otros fenómenos	Puede ser continuo o intermitente y se explica sólo por acción de la gravedad

J. Montero. Estabilidad de taludes. Conferencia Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1995.

- **Soliflucción.** En el período de deshielo el agua se derrite de arriba hacia abajo quedando en el fondo una superficie que impide la percolación y por ende la masa de tierra saturada fluye. Otra forma de soliflucción, no periglacial, es la que se da en las zonas tropicales húmedas, cuando en las laderas de los montes embebidas de aguas fluye el suelo por debajo de las raíces.

- **Glaciares de roca.** Son largas lenguas de escombros rocosos. Se mueve la masa de las rocas, sugiriendo un comportamiento viscoso y al pie de los acantilados, cuando recibe por carga los nuevos bloques producto de la acción de las olas, del hielo, etc., según el lugar donde se encuentren.

- **Licuación.** Se da en depósitos no consolidados (sobre todo de material friccionante) saturados sometidos a la acción de un sismo, que destruye la presión efectiva del suelo convirtiéndolo en un fluido a manera de arena movediza. En la licuación o licuefacción la presión neutra de la masa de suelo aumenta hasta igualar la presión total. Ocurrido estos la presión intergranular se hace nula, se pierde el autosoprote del esqueleto sólido del suelo, los edificios cimentados se hundien y el depósito, de estar mal confinado, fluye.

A causa de la excitación del sismo, por la turbulencia en el fluido, se genera una infiltración de los granos de arena que destruye la cohesión entre las partículas del suelo. Al desaparecer la presión intergranular, queda la arena sin ninguna resistencia al corte.

16.5. LA SITUACION EN COLOMBIA

En Colombia predominan **rocas blandas**, es decir, materiales intermedios entre suelos y rocas. Por ejemplo, las rocas de bajo o medio metamorfismo como esquistos, filitas, algunas serpentinitas y anfíbolitas, e incluso algunos gneises y rocas mal consolidadas y mal cementadas, como margas, lodolitas, limolitas y areniscas blandas.

Las rocas blandas son susceptibles a los cambios de humedad típicos del ambiente tropical. Para la zona andina en el oriente de Colombia predominan espesos coluviones y en el occidente suelos residuales y volcánicos. El occidente está afectado por tectonismo y sismos.

Es importante para el ambiente andino tropical considerar los **suelos residuales** con sus estructuras relictas o heredadas, que a diferencia de los suelos transportados, donde las discontinuidades son horizontales (predecibles), estas resultan con orientación aleatoria y buzamiento impredecible.

Los espesores de las alteritas son mayores en las zonas tropicales (vegetación y clima), como la cordillera Oriental de naturaleza sedimentaria. Los saprolitos son típicos de la zona andina (roca cristalina), como las zonas de batolitos a lo largo de la cordillera Central y Antioquia. Los andosoles se desarrollan en lugares con cenizas volcánicas donde se desarrollan haloisitas y alófanos (Cauca, Nariño y zona cafetera). Las lateritas son suelos típicos del Cauca y los Llanos Orientales.

Además de un **clima** con contrastes de temperatura y precipitación, existen **factores tectónicos**.

La precipitación es alta en Chocó y el margen llanero, moderada en la zona cafetera y baja en las zonas desérticas de Colombia (Guajira, Alto Magdalena, Villa de Leiva).

Colombia en su zona andina, tiene fallas, muchas activas, mostrándose en sus laderas inestables zonas con intenso fracturamiento donde los materiales presentan trituración y brechamiento. El occidente está afectado por las fallas de Romeral y Palestina (rumbo) y el oriente por el sistema de las fallas frontales de los Llanos (inversa). Ambas son de alto riesgo sísmico.

La falla geológica condiciona el drenaje interno y tras todo ello se presenta una cronoestratigrafía en repetidas ocasiones desfavorable puesto que en los estratos de diferentes edades se presentan contrastes de permeabilidad, zonas débiles, etc.

16.5.1 Zonificación. Si se integran en una zona cualquiera de Colombia, aunque sea a nivel regional, un mapa geológico, un mapa tectónico y un cuadro de movimientos masales clasificados, se pueden inferir algunos factores de inestabilidad (inherentes, detonantes, etc.). Si superponemos relieve y sobrefracuramiento obtenemos zonas más o menos propensas a deslizamientos. En Colombia las áreas de influencia del sistema Romeral y de las fallas del margen llanero se pondrían en evidencia como zonas altamente inestables.

Montero señala en Colombia varias provincias con amenaza alta a deslizamiento así:

- **Entre la falla Romeral y el Cauca.** Con rocas metamórficas, rocas con cataclasis y arcillas alófanas remodeladas.
- **La cordillera Oriental.** Con suelos espesos (alteritas) sobre lutitas que son químicamente alterables.
- **El margen llanero.** Muy afectado por el ambiente tectónico y la naturaleza sedimentaria de los suelos.
- **Zonas con potentes flujos alterados.** Como la Estampilla (Manizales), donde se encuentran depósitos fluviotorrenciales alterados y en procesos de movimientos masales.
- **Zonas de coluviones.** Como los de Quebrada Blanca en la vía al Llano.
- **Saprolitos.** En zonas de debilidad tectónica.

En resumen la juventud de las cordilleras, el ambiente tectónico intenso y la naturaleza del clima, son factores que se conjugan para explicar la inestabilidad de nuestras laderas.

16.6. EVALUACION DEL RIESGO

Se denomina **amenaza** al evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud o alcance, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La **vulnerabilidad** es la susceptibilidad al daño de un elemento ante la ocurrencia de un fenómeno.

El **riesgo** es la posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino que tiene una probabilidad determinada de ocurrir dentro de un período de tiempo dado. La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

La **amenaza** depende del evento detonante, del grado de susceptibilidad a la falla y de la energía potencial destructiva del evento. La vulnerabilidad es directamente proporcional al grado de exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia al evento.

En consecuencia, sustituyendo los factores de amenaza y vulnerabilidad en la ecuación anterior podemos escribir:

$$\text{Riesgo} = \text{Detonante} \times \text{Susceptibilidad} \times \text{Potencial} \times \text{Exposición/Resistencia}$$

16.6.1 Factores de amenaza y factores de riesgo.

Los factores de **amenaza** de conformidad con lo anterior son:

- La susceptibilidad debida a factores internos.
- Los eventos detonantes como lluvias, sismos, erosión y sobrecargas.
- El potencial de energía destructiva del sistema.

Y los factores de **riesgo** son:

- El nivel de amenaza.
- El grado de exposición de elementos que puedan sufrir daños posibles (ubicados sobre la ladera o al alcance del evento).
- La resistencia al fenómeno que opongan los elementos amenazados, para no sufrir daños estructurales ni funcionales.

Es importante señalar que los elementos considerados pueden ser vidas o bienes y que los eventos que generan la amenaza son el movimiento de masa y los fenómenos que éste desencadene.

16.6.2 Medidas y tipos de riesgo.

Las medidas que se pueden tomar en casos de movimientos de masas pueden ser de tipo preventivo o correctivo.

Los **riesgos** asociados a los movimientos de masas pueden denominarse:

- Riesgos evitables, según su origen sea evitable o sus consecuencias anulables.
- Riesgos controlables, según se trate de un evento predecible o un evento cuyos efectos sean atenuables.
- Riesgo incontrolable cuando no se puede predecir o evaluar completamente el riesgo, ni existen soluciones al alcance de la tecnología.
- Riesgos aceptables, cuando se marca una diferencia entre el mayor nivel de riesgo y la máxima previsión.

Las **medidas** aplicables pueden ser:

- Sistemas de observación y alarmas.
- Reducción de la exposición.
- Reducción de la amenaza.
- Incremento de la resistencia.
- Jerarquización de prioridades.
- Jerarquización de estudios.

16.6.3 Estudio económico del riesgo. La ingeniería es un compromiso entre tres cosas: seguridad, economía e información. Con buena información sin sacrificar la seguridad, se puede obtener economía en los diseños. Para obtener información se deben invertir recursos (muestreos y ensayos), pues sin ésta no se podrán hacer análisis y se caerá en la improvisación, fuente de los altos costos o de la inseguridad.

A continuación se relacionarán algunos elementos para el estudio económico del riesgo.

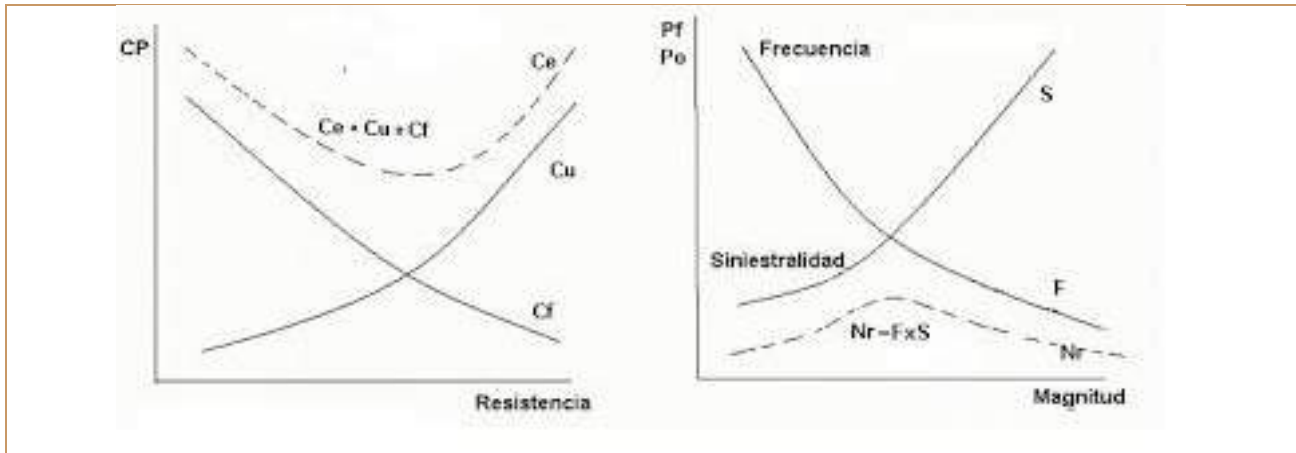


Figura 106, Evaluación del riesgo sísmico. Gráficas de Costo probable (CP) vs. Resistencia (izquierda) y de probabilidad de falla (Pf) vs. Magnitud del evento (derecha): los Costos esperados (Ce) son la suma de las funciones Csto usual (Cu) y Costo de falla (Cf). El nivel de riesgos (Nr) es el producto de las funciones de Siniestralidad y Frecuencia del evento. Según Alvaro J. González, curso de Estabilidad de Taludes, 1997.

- **El costo.** El estudio de costos de una estructura involucra el concepto de resistencia. El costo usual, que aumenta con la resistencia que se le quiere dar a la estructura es una función directamente proporcional, mientras el costo por falla, dado el evento, es inversamente proporcional a la resistencia de la estructura.

El costo finalmente resultará siendo el de construir la estructura con una resistencia dada, más el de repararla después del evento. Se observa en la gráfica que el nivel adecuado de resistencia es el mínimo de la función denominada Costo esperado (Ce), que no coincide con el máximo ni con el mínimo de resistencia factible en la estructura.

- **Nivel de riesgo.** De otro lado, se pueden relacionar la probabilidad de falla de una estructura afectada por un evento de magnitud dada y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento. Los eventos de gran magnitud son poco probables por lo que su probabilidad de ocurrencia es una función inversamente proporcional. De otro lado, la probabilidad de daño por un evento aumenta con su magnitud por lo que la función de probabilidad resulta en éste caso directamente proporcional.

Como la ocurrencia del evento y del daño, son simultáneos, las probabilidades han de multiplicarse entre sí. El nivel de riesgo es máximo para una magnitud intermedia, y ese define la amenaza con la cual se deben diseñar los planes de mitigación del riesgo.

16.7. LAS AMENAZAS NATURALES EN COLOMBIA *

El medio ambiente incorpora dos dimensiones: **la cultura y el medio ecosistémico.**

Por lo tanto: dado que el **medio ambiente relaciona dos sistemas altamente complejos, como lo son el sistema social y el sistema natural, en la relación Sociedad y Naturaleza**, la surge la problemática de los desastres naturales que aparece en la interface de los procesos sociales, económicos y culturales, con la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, la litosfera y la antroposfera.

Desde esta perspectiva, **la información relativa a las amenazas naturales y antrópicas, resulta de vital importancia para la gestión del riesgo**, mediante políticas, programas y acciones de **prevención y mitigación de los desastres.**

En Colombia, donde el 86% de la población se encuentra en zonas de nivel de amenaza sísmica apreciable, posiblemente, **el escenario de mayor riesgo sísmico es Bogotá.**

Además, Colombia posee tres segmentos volcánicos, donde se localizan cerca de 15 volcanes activos que requieren acciones estructurales de Ordenamiento Territorial y Vigilancia Volcánica.

Mientras la mayor amenaza volcánica de Colombia es el **Cerro Machín**, el mayor riesgo volcánico se asocia al **Volcán Galeras.**

Por el Cambio Climático, para **Colombia se prevé un calentamiento** de 2°C en la zona andina montañosa, y de 3°C en las regiones planas costeras, insulares y del oriente, fenómeno que **modificará las zonas de vida** variando su altitud entre 300 y 500 m, con **graves consecuencias** sobre el patrimonio hídrico, la aptitud de los suelos y varios ecosistemas. Adicionalmente, se incrementarán las **tasas de erosión** marina en los medios costeros.

Las **regiones más deforestadas** de Colombia: la Andina, la del Caribe y la Orinoquía, con la mayor frecuencia e intensidad de los **fenómenos hidrogeológicos extremos**, consecuencia del Calentamiento Global, estarán en mayor riesgo por las **inundaciones lentas** y relativamente periódicas de las planicies deprimidas o zonas de ciénaga, y por las **inundaciones súbitas** y de incierta ocurrencia, causadas por avenidas de ríos o por eventos indirectos.

Veamos entonces los determinantes del **Riesgo local y del Riesgo de cúmulo**, y las zonas con Alto nivel de Amenaza, para las diferentes amenazas naturales, en Colombia.

16.7.1 Frecuencia, daño y extensión de algunas amenazas

Fenómenos de las amenazas	Frecuencia por siglo	Siniestralidad esperada	Área afectada
Terremotos Fuertes (>VII)	300	20%-50%	500 km ²
Flujo de Lava Volcánica	10-100 veces	20%-100%	1-10 km ²
Cenizas Volcánicas	1-5 veces	<10%	<1millón km ²
Flujo Piroclástico	1-5 veces	70%-100%	1-10 km ²
Flujo de lodo Volcánico	1-10 veces	50%-100%	10-100 km ²
Erupción Lateral o Blast	1-3 veces	70%-100%	<1500km ²
Gases volcánicos	1-5 veces	1%	<1000km ²
Inundaciones súbitas	50-500	50% a 100%	1-10 km ²
Inundaciones lentas	200-4000	10%-50%	10-100 km ²
Deslizamientos de tierra o roca	500-10000	50%-100%	1 a 5 km ²
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	100-500	20%-50%	<50000km ²
La Niña (T<-1,5°C)	1-8	<20%	<1millón km ²
El Niño (T>+1,5°C)	1-12	<20%	<1millón km ²
Incendios forestales		50%-70%	<500 km ²

Fenómeno	Posible control	Riesgo local o específico	Riesgo total o de cúmulo
Terremotos Fuertes (>VII)	No	Reducido (4)	Moderado (3)
Flujo de Lava Volcánica	Si	Agravado (1)	Bajo (5)
Cenizas Volcánicas	No	Reducido (4)	Bajo (5)
Flujo Piroclástico	No	Reducido (4)	Moderado (3)
Flujo de lodo Volcánico	Duda	Mediano (2)	Reducido (4)
Erupción Lateral o Blast	No	Muy Bajo (6)	Agravado (1)
Gases volcánicos	Duda	Reducido (4)	Bajo (5)
Inundaciones súbitas	Duda	Agravado (1)	Bajo (5)
Inundaciones lentas	Duda	Mediano (2)	Reducido (4)
Deslizamientos de tierra o roca	Si	Mediano (2)	Reducido (4)
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	No	Reducido (4)	Bajo (5)
La Niña (T<-1,5°C)	No	Agravado (1)	Reducido (4)
El Niño (T>+1,5°C)	No	Agravado (1)	Reducido (4)
Incendios forestales	Duda	Mediano (2)	Mediano (2)

Cuadro A: Riesgo específico y de Cúmulo para las amenazas naturales

16.7.2. ¿Dónde y cómo?

Nivel de Amenaza	Nivel Alto	Nivel Medio a Bajo
Terremotos Fuertes (>VII)	Costa Pacífica, Eje Cafetero, Santanderes, Cauca, Valle, Margen Llanero, Atrato	Antioquia, Cundinamarca, Tolima Huila, Boyacá
Flujo de Lava Volcánica		Nariño, Huila, Eje Cafetero, Cauca
Cenizas Volcánicas	Nariño, Huila, Eje Cafetero, Tolima, Cauca	Cundinamarca, Boyacá, Antioquia

Flujo Piroclástico		Nariño, Huila, Eje Cafetero, Cauca, Tolima
Flujo de lodo Volcánico	Huila, Tolima, Caldas.	Risaralda, Nariño, Cauca, Valle, Quindío.
Erupción Lateral o Blast		Huila, Tolima, Cauca, Nariño, Huila, Tolima, Valle, Eje Cafetero
Gases volcánicos	Tolima, Nariño, Cauca, Huila, Eje Cafetero	

Nivel de Amenaza	Nivel Alto	Nivel Medio a Bajo
Inundaciones súbitas	Todos los Departamentos Andinos	
Inundaciones lentas	Chocó, Cundinamarca, Antioquia, Santander, Nariño	Eje Cafetero, Tolima, Valle, Santanderes, Huila, Cauca, Nariño, Boyacá
Deslizamientos de tierra o roca	Todos los Departamentos Andinos	
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Casribe colombiano
La Niña (T<-1,5°C)	Todos los Departamentos Andinos	
El Niño (T>+1,5°C)	Todos los Departamentos Andinos	
Incendios forestales	Santanderes, Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Huila, Nariño, Valle, Tolima, Eje Cafetero	
Heladas	Altiplano Cundiboyacence y de Túquerres e Ipiales	Paramos de Antioquia, Valle del Cauca y el Eje Cafetero, y Sierra Nevada de Santamarta

Cuadro B: Geografía de las amenazas naturales en Colombia

* Ref: [Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia.](#)

16.8. MANIZALES, CIUDAD DE LADERAS

RESUMEN: Con estrategias de adaptación al cambio climático que combinan la apropiación del territorio y la investigación hidrogeológica para el conocimiento de la amenaza, Manizales enfrenta la fragilidad de sus laderas: de un lado, el programa "Guardianas de las laderas" que desde 2003 ha formado en el liderazgo y capacitado en la labor ambiental de mantenimiento de obras de estabilidad a cerca de un centenar de mujeres; y del otro, con una componente temática para evaluar esta amenaza, como parte del Programa de Gestión Integral de Riesgo de Desastres en Manizales GIRD-M ejecutado durante 3 años a un costo cercano a 9000 millones de pesos, cuya financiación se hace con un crédito de Findeter que toma Corpocaldas, utilizando la sobretasa para evaluación y gestión del riesgo del 0,5 por mil que aprobó el Concejo de Manizales en 2009, adicional a la del 1,5 por mil para el tema ambiental.

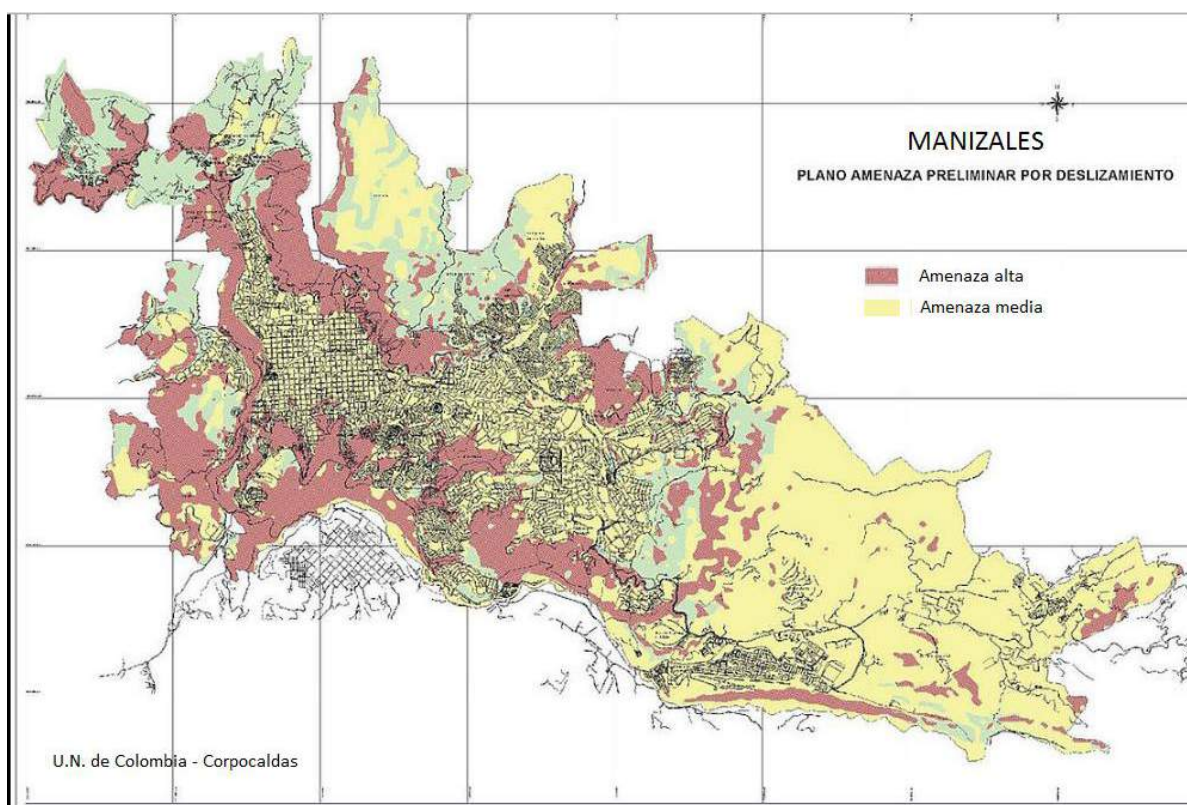


Imagen 91: Mapa de amenaza por deslizamiento, en Manizales. Programa GIRD-M, U.N. de Colombia-Corpocaldas.

Por estar la ciudad emplazada en lo alto de un ramal cordillerano del trópico andino, después de haber contribuido a la creación del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres gracias a las enseñanzas obtenidas del desastre de la erupción del Ruiz (1985), de los sismos de la zona de subducción (1979 y 1995) y del terremoto del Quindío (1999), para enfrentar la creciente amenaza de eventos climáticos extremos asociados al calentamiento global, nuestras instituciones actuando en conjunto han venido avanzando en la cultura del riesgo relacionado con la amenaza climática en el ambiente urbano y periurbano de nuestros frágiles suelos, mediante dos estrategias: la apropiación social del territorio orientada a la mitigación de la vulnerabilidad global, y la generación de conocimiento sobre la amenaza por ser vital para la gestión integral del riesgo.

En cuanto a lo primero, tras los desastres ocurridos en Manizales asociados a la ola invernal del 2003 y derivados de acciones antrópicas, como el uso y manejo conflictivo del hábitat periurbano relacionado con la falta de cultura ambiental, falencias de planeación, y fenómenos de migración y pobreza, la administración municipal crea el programa Guardianas de la Ladera, como una estrategia de empleo con perspectiva de género para grupos vulnerables ubicados en zonas afectadas o expuestas a deslizamientos. Dicho programa dirigido a capacitar a mujeres cabeza de familia en el cuidado y mantenimiento preventivo de laderas, y de las obras de estabilidad de las comunas más afectadas, que se diseñó con tres componentes: vigilancia de laderas, limpieza y mantenimiento de obras, y formación y capacitación, para el año 2006 contaba con 200 mujeres vinculadas al cuidado de medio centenar de zonas críticas, actuando con liderazgo en su entorno local, mejorando la capacidad de respuesta de su propia comunidad.

En 2013 cuando cumplía diez años el citado programa, además de haber extendido el cuidado a más de 700 obras de infraestructura, ya había replicado la exitosa experiencia en otros 10 municipios caldenses: Chinchiná, Neira, Aranzazu, Salamina, Supía, Manzanares, Pensilvania, Marquetalia, Victoria y Norcasia; y para 2014 con una inversión de 1310 millones de pesos aportados por la Secretaría de Obras Públicas, la Unidad de Gestión del Riesgo, Aguas de Manizales y Corpocaldas, vincula durante once meses a 100 madres cabeza de hogar. Actualmente, por su ejemplar labor Guardianas de la Ladera ha sido reconocido por el Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, al sugerirlo como estrategia para enfrentar la amenaza por el cambio climático en otras ciudades de Colombia.

Y en cuanto al estudio y monitoreo de la amenaza asociada a la susceptibilidad de los deslizamientos, en el marco del convenio interinstitucional celebrado entre la Universidad Nacional de Colombia y Corpocaldas, además de expandir a 10 unidades la red de acelerógrafos, de la actualización del sistema de información sísmica de Manizales, y de la evaluación probabilística del riesgo sísmico de su sistema de acueducto, donde se incluye el cálculo y mapa de daños esperados, con este proyecto se ha expandido a casi medio centenar de estaciones el sistema de instrumentación hidrológico e hidrometeorológico, para permitir el monitoreo telemétrico y en “tiempo real” de las cuencas urbanas y algunas zonas rurales críticas.

Para acometer esta tarea y actualizar la microzonificación sísmica de Manizales mediante la aplicación de una metodología que contempla la evaluación de efectos de sitio, cabe destacar la elaboración de un estudio cartográfico y fotográfico de la evolución morfológica del área urbana a partir de 1848, que tras pasar por nueve décadas concluye en 2010 con un mapa de formaciones superficiales, drenajes, modelados, cortes y rellenos antrópicos de la ciudad.

Además de su significativo impacto, lo novedoso del sistema de alerta temprana, que abriga además las cuencas de las quebradas El Guamo, Manizales y Olivares, se asocia a la forma de prevenir desastres o mitigarlos mediante su pronóstico a partir de la relación lluvia-deslizamiento, estimando la probabilidad espacial y temporal de los eventos en función del nivel de lluvias antecedentes acumuladas y del aguacero detonante, herramienta que ahora se pretende ajustar investigando en 10 zonas piloto de la ciudad, el tipo y grado de correlación entre la ocurrencia de dichos fenómenos geodinámicos, con los niveles piezométricos observados en varios pozos de dos cuenca urbanas vecinas.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016.09.12]

16.9- MANIZALES ¿CIUDAD DEL AGUA?



Imagen: 92: Aves emblemáticas de Manizales y de Caldas, el barranquillo o barranquero, y el Loro Multicolor. En: casadrake.com y en Sociedad Caldense de Ornitología.

Tras las tragedias invernales que asolaron nuestro entorno en el último lustro, cerrando el 2012 fuimos sorprendidos con la pregunta que titula mi columna, con la tesis de que ese podría ser el carácter ambiental que mejor define a Manizales, y en la cual se plasma una idea tan cautivadora como desafiante de la que haré eco para desarrollar un somero perfil de la ciudad con las falencias y potencialidades, además de una visión deseable de ella, en tan trascendental materia.

Para empezar, si esta fuera “la ciudad del agua”, ya habríamos adquirido las cuencas abastecedoras de agua, donde los conflictos entre uso y aptitud del suelo abundan, para integrar los corredores de conectividad biológica del margen cordillerano occidental de la ecorregión cafetera; además, proyectos mineros, como el de Toldafría que prospera, no contarían con el silencio cómplice de actores estratégicos de nuestras cuencas; igualmente, tendríamos mayores avances en la solución a la contaminación de los cuerpos de agua con vertimientos residenciales, ya en los distritos sanitarios urbanos de la Quebrada Olivares, el Río Chinchiná y las microcuencas de La Francia y El Arenillo, como en la zona industrial donde por volumen de carga contaminante casi los igualan; y finalmente, el valioso patrimonio institucional de Aguas de Manizales construido a lo largo de tres lustros, no hubiese sido presa de la improvisación en una administración municipal pobre en políticas públicas ambientales.

Sabemos que el “agua pura” identificada únicamente con H₂O, es casi un asunto de tablero, y que el agradable sabor de la nuestra tiene un particular encanto. Esto, dado que las naturales antrópicamente incontaminadas, son soluciones acuosas variables y complejas, donde las sustancias disueltas explican sabores característicos de los ambientes geológicos, edafológicos y bióticos, escenario en el cual se establece el ciclo hidrológico respectivo, y del cual participan los bosques cuya función consiste en condensar y regular el agua, además de servir como medio y contribuyente directo en los procesos de alteración de los minerales, base de las sales y sustancias que arrastran las aguas infiltradas hasta los manantiales que nutren ríos y quebradas.

Pero siendo el fundamental líquido la base misma de la vida en este “planeta azul”, aunque por la escasez del agua potable unos cinco millones de seres humanos mueren año tras año, lamentablemente la Constitución y la ley colombiana la han llevado, con los bosque y la biodiversidad, al terreno de los recursos, y como tal la han condenado al mundo del mercado donde caben el oro y el petróleo, lo que permite que se negocie en mesas de traficantes, olvidando que agua, bosques y biodiversidad no deberían ser objeto de explotación, porque ellos conforman una unidad sistémica insoluble. Al respecto, el término latino explosio -que se asocia con

violencia-, resultaría adecuado para referirlo a la naturaleza de una bomba o al carácter de un modo de producción tan oprobioso como la esclavitud, pero nunca para tratar a nuestra "madre tierra" merecedora de consideraciones superiores.

Se enseña en la cátedra de epistemología ambiental del IDEA de la Universidad Nacional, donde se hace eco del fecundo pensamiento del maestro Augusto Ángel Maya, que mientras café y té al igual que oro y petróleo son recursos, dado que tienen sustitutos en el mercado, el agua por su naturaleza no posee ese carácter propio de una mercancía, sino el de un patrimonio inalienable cuyo uso responsable debe garantizar al tiempo, el bienestar humano y la estabilidad de los ecosistemas.

En consecuencia, si estas ideas resultasen de importancia para construir un territorio ambientalmente sustentable soportado en la cuenca y su patrimonio hídrico, deberá aprovecharse la histórica decisión de dotar a nuestra ciudad de una Secretaría del Medio Ambiente, ahora encomendada al Partido Verde, para implementar entre otras cosas, políticas públicas ambientales que contemplen procesos participativos al enfrentar las problemáticas señaladas, entrando al terreno del ordenamiento territorial con la amenaza asociada al calentamiento global y la gestión integral del suelo en el nuevo modelo urbano, entre otros, con estrategias concertadas y coordinadas a nivel intersectorial e interinstitucional, para generar una base cultural en la que la construcción social del territorio urbano y periurbano, parta del agua como factor de desarrollo.

Sobre la viabilidad de un proceso bien orientado hacia semejante objetivo, no caben dudas ahora ni cabrán excusas mañana: desde 2003 miembros de la sociedad civil, la academia, ONG y organizaciones sociales de base, promovieron un cabildo abierto sobre el agua en Manizales, proceso aún vigente en el que a partir de medio centenar de ponencias iniciales, se siguen tratando temas como: Río Blanco, cuenca del Chinchiná, PNN los Nevados, zonas de interés ambiental, gestión del riesgo, saneamiento ambiental, tasas retributivas, SSPP públicos rurales y urbanos, manejo de residuos sólidos, lixiviados del relleno sanitario, y minería en cuencas abastecedoras, entre otros.

[Ref: Manizales, La Patria, 2013-01-7]

16.10. LA ENCRUCIJADA AMBIENTAL DE MANIZALES

RESUMEN: *La tragedia ocurrida en Manizales tras un fuerte aguacero de 156 mm el pasado 19 de abril, que generó eventos hidrogeológicos similares a los que han afectado la ciudad, invita a reflexionar sobre las causas de su mayor incidencia en los barrios populares. Como hipótesis, se trata de pasivos ambientales relacionados con múltiples factores que han intervenido en la construcción social e histórica de un territorio de laderas vulnerables a los eventos climáticos extremos, lo que obliga a fortalecer la prevención de factores como corregir las deficiencias en una planificación precedente que no contempló la dimensión ambiental y del riesgo, prevenir la separación de costos y beneficios en la explotación del medio ambiente, y controlar las dinámicas de un mercado del suelo que especula con la plusvalía urbana.*

Ahora, dado que el crecimiento demográfico de Manizales solo es del 0,4% anual, al abordar la problemática del cambio climático, con mayor razón habrá que ponerle límites a la presión sobre la estructura ecológica ejercida por el mercado inmobiliario, que especula con la plusvalía urbana.

La preocupación por el hábitat no debería reducirse a las tragedias del momento: existen factores estructurales por resolver. Ciudades como Manizales, donde hace poco se registró una tragedia, tienen estudios e instituciones para evitar estos sucesos. Los sectores más vulnerables se localizan en zonas populares. Hay que fortalecer la prevención.

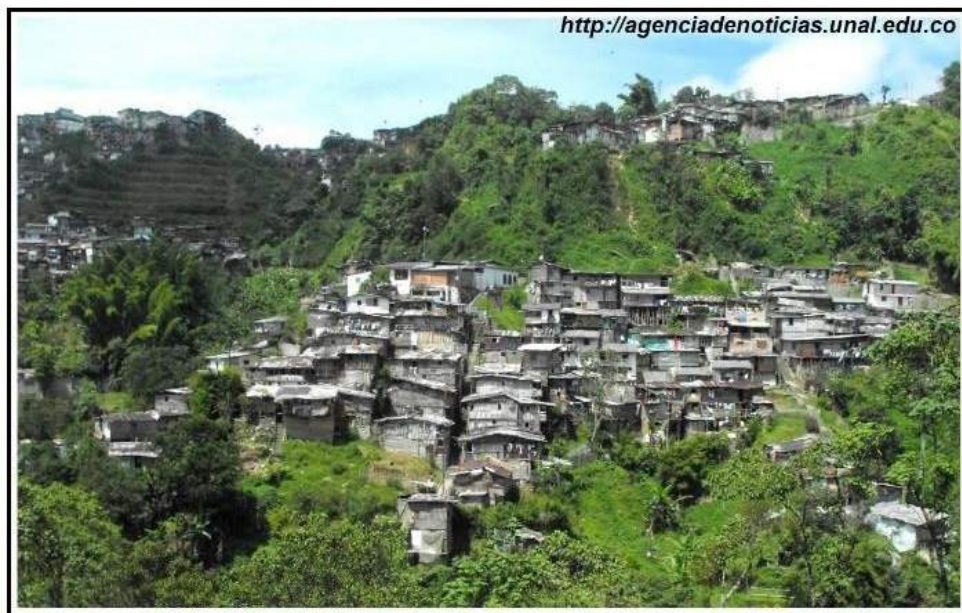


Figura 93: Ladera urbana de la Comuna San José, en la cuenca de la quebrada Olivares. 2015.05.26; Agencia de Noticias U.N. Manizales.

No es la primera vez

La tragedia ocurrida en Manizales tras un fuerte aguacero (156 mm) en la madrugada del pasado 19 de abril en el distrito sur, vecino a la cabecera de Villamaría, se debió a múltiples deslizamientos y deslaves que dejaron un saldo de 17 muertos, 23 heridos, 80 viviendas destruidas, 12 vías afectadas y 500 familias damnificadas.

La situación obligó a declarar el estado de emergencia en la capital caldense, donde cerca de medio millar de personas de los organismos de emergencia (apoyados por personal venido de Pereira y municipios vecinos) emprenden las labores de rescate y salvamento, con esmero y diligencia.

Sería interminable hacer la lista de emergencias por eventos hidrogeológicos similares que han afectado a la ciudad. Pero podrían recordarse los que se han dado en el siglo XXI, todos asociados con las lluvias intensas. En ellos el factor detonante ha sido la ocurrencia de eventos climáticos extremos, propios del calentamiento global:

- En diciembre 2003 un deslizamiento cobró 16 vidas en la Sultana;
- En julio 10 de 2005 se perdieron 8 vidas en el barrio Bosconia;
- En marzo 18 de 2006 una creciente cobró 18 vidas en La Gruta;
- En diciembre 15 de 2006 se afectó el medio periurbano occidental en el Arenillo;
- En 2007 un evento en el norte cobró 1 vida;
- En noviembre de 2008 se afectó la infraestructura de servicios del oriente;
- En octubre 19 de 2011 una avalancha destruyó la planta Luis Prieto Gómez, y la ciudad quedó 17 días sin agua; y
- En noviembre 5 del mismo año sobrevino la tragedia de Cervantes, en la que murieron 48 personas.

Construyendo el territorio

Para comprender la construcción social e histórica del territorio partamos de “la aldea encaramada” de 1848, cuando 400 familias que habitaban este complejo territorio fundaron un poblado sobre un ramal de los Andes al oeste de la Mesa de Herveo y sobre la cuenca media del Chinchiná, a 2.150 metros sobre el nivel del mar en lo alto de una colina.

Los fundadores trazaron una rígida retícula ortogonal. Medio siglo después de haber expandido a más de un centenar de manzanas la retícula, lo que requirió el relleno de cauces para nivelar el abrupto terreno, optaron por cambiar el trazado de la naciente urbe por uno más apropiado. Se ajustaron al terreno y extendieron la cabecera hacia el oriente siguiendo las curvas de nivel, donde se aprovecha la corona de la montaña. Adecuaron el camino de arriería y lo convirtieron en El Carretero, un corredor vial desde el cual se accedía a los nuevos barrios emplazados por las dos vertientes.

Sería interminable hacer la lista de emergencias por eventos hidrogeológicos similares que han afectado a la ciudad.

No obstante, en los años 1970, como consecuencia del advenimiento de la revolución verde que trajo el café caturra a la zona cafetera y produjo el desplazamiento de legiones de campesinos hacia la ciudad, Manizales creció “sin compás ni escuadra”, con barrios localmente planificados o con invasiones que luego se consolidaron. .

El resultado fue una ciudad donde cerca de un tercio del suelo urbano actual (en rojo en la figura 2) corresponde a las áreas con algún nivel de amenaza, donde construyen viviendas en riesgo sobre áreas de alto grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

El desarrollo urbano

Aunque en las décadas siguientes se establecieron planes de desarrollo en Manizales, estos carecieron de la dimensión ambiental y del riesgo, ya que tanto el ordenamiento territorial como las instituciones ambientales son recientes en Colombia. Estas llegaron con la Constitución de 1991, que además de ocuparse de la organización territorial, creó un Sistema Nacional de Planeación conformado por el Consejo Nacional y los Consejos territoriales de planeación.

Aunque se dispuso que las entidades territoriales habrían de elaborar de manera concertada planes de desarrollo, solo a partir de la Ley 1454 de 2011 se establecieron mecanismos para lograr un ordenamiento territorial proclive a la descentralización (aunque no se descentralizó el presupuesto) y a una planeación, gestión y administración del territorio coherente y concertada. Además, según la Ley 1523 de 2012 los municipios de Colombia están obligados a formular un Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

Sin embargo, todavía tenemos en Manizales un gran pasivo ambiental, consecuencia de la separación de costos y beneficios en la explotación del medio ambiente, y de la mala planeación asociada con el crecimiento acelerado y desordenado de la ciudad, que se expresa en la fragmentación espacial urbana y vulnerabilidad del hábitat, y en las prácticas depredadoras del medio rural caracterizadas por la quema y la tala, ya que a nivel de toda la Ecorregión Cafetera en 2000, el área de potreros equivale al 48 por ciento del territorio, una cifra que supera 12 veces el 4 por ciento de superficie apta para dicho uso. Además, el área apta para bosques se ha reducido 2,7 veces, al pasar del 54 por ciento al 19 por ciento.

Mediante la Ley 40 de 1971 se creó la CRAMSA (hoy Corporación Regional Autónoma de Caldas), con el propósito de atender el problema de la erosión y sus consecuencias en Manizales, Salamina y Aranzazu. Con esto la ciudad logró el desarrollo de una tecnología para el control de la erosión, gracias al aporte de la academia, de la ingeniería local y del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

El modelo de ocupación

Según el plan de ordenamiento territorial (POT), el área afectada por la erosión (2 por ciento del área urbana) aumenta cada año en un 11 por ciento. Según este documento, las causas de los deslizamientos son los sismos, la deforestación, el clima, los suelos, la topografía, el deterioro de las condiciones socioeconómicas de la población y la falta de cultura ciudadana.

Todavía tenemos en Manizales un gran pasivo ambiental, consecuencia de la separación de costos y beneficios en la explotación del medio ambiente, y de la mala planeación asociada con el crecimiento acelerado y desordenado de la ciudad.

Se propone en ese documento la restricción para el desarrollo urbanístico de la zona afectada directamente por el deslizamiento, y de otros sitios que puedan ser objeto de esta restricción. Además de señalar los asentamientos creados sin ningún proceso de

planificación, se establece para ellos que la Secretaría de Planeación adelantará la realización de los planes zonales, la rehabilitación, estabilización de laderas, arborización y demás acciones que propendan por el desarrollo y mejoramiento del hábitat de los ciudadanos del sector.

Ante el reclamo de la sociedad civil y de la academia, preocupada al observar la privatización de los beneficios y socialización de los costos de la actividad urbanizadora que continúa destruyendo ecosistemas (caso Monteleón) y presionando zonas de reserva estratégicas (caso Río Blanco), el POT de la ciudad incluyó la plusvalía urbana, una moderna herramienta de gestión que no se podía encontrar en administraciones anteriores.

Con ella se espera controlar las fuerzas que especulan con el suelo urbano y captar recursos para hacer viable la intervención de zonas de riesgo con población vulnerable en las frágiles laderas de la ciudad (Alto Persia) y sobre cauces de cuerpos de agua como la quebrada Manizales (Verdum).

Los desafíos

Manizales es una ciudad que ha desarrollado una tecnología para el control de la erosión, tiene un sistema de alertas tempranas, así como el programa de guardianas de las laderas, y ha hecho obras notables para la estabilización en cerca de 300 sitios. Sin embargo, a pesar de autodenominarse “ciudad del agua”, continúa vertiendo unas 20 toneladas por día de material de carga orgánica proveniente de las aguas residenciales, y una carga contaminante comparable proveniente del sector industrial.

Además, tiene indicadores verdes de un árbol por cada 27 habitantes y de 2,7 metros cuadrados de áreas verdes por habitante en espacio público (nueve y tres veces menores que los estándares internacionales respectivamente). Y su cerro tutelar, Sancancio, cobra pasivos ambientales en Aranjuez por permitir la deforestación de su ladera de protección.

En conclusión, no es que este desastre hubiera podido ser mayor ni que la ciudad esté en el lugar equivocado, sino que estas tragedias se pueden prevenir si en lugar de presionar la estructura ecológica principal para corregir el descontrol hídrico y pluviométrico en las áreas rurales, reforestamos nuestras cuencas donde la potrerización y la pérdida de bosques han sido constantes.

Podemos optar por recuperar la función ecológica de las laderas de protección y cauces del medio periurbano, además de gestionar la vulnerabilidad que subyace en las zonas de riesgo urbano, para tratar el hábitat con una mirada biocéntrica que reoriente el modelo urbano.

[Razón Pública, Bogotá. Domingo, 30 Abril 2017]

16.11- AGUA, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESASTRES

La lección que queda del segundo evento que deja a Manizales sin agua en dos meses, obliga a romper paradigmas: uno de ellos, que el área de influencia de una línea vital, además del modelado o medio transformado, comprende el medio natural que le sirve de soporte; y otro, que si bien las obras de ingeniería se diseñan del lado de la falla, con el incremento de la amenaza climática, habrá que emprender acciones en materia de diseños y de usos del suelo, dados los umbrales del riesgo más cercanos a la certeza de falla.



Imagen 94: Sector de La Marmolera aguas arriba de Gallinazo. Fotografía de Felipe Mejía.

Repite el evento de la Planta Luis Prieto Gómez que suministra la mayor proporción de agua potable para Manizales, con una avalancha de medio millón de metros cúbicos, muy superior a la del pasado 19 de octubre, que vuelve y destruye a su paso sobre el río Chinchiná, las dos tuberías de conducción de agua potable para la ciudad, recién reparadas a pesar de su sobre elevación que no resultó suficiente. Igualmente, colapsaron por el movimiento en masa procedente del hato La Marmolera, y del cual se hacía el monitoreo necesario por el riesgo cuyas consecuencias superaron los niveles esperados, el gasoducto que pasa al otro lado del río y dos puentes vehiculares, entre ellos el de la vía a los hoteles termales.

Ahora la diferencia es, primero que contamos con la Planta Niza recién puesta en servicio para proveer la mitad del consumo de agua que podría bombearse al tanque más alto vecino a Niza donde se recibe el agua potable de la planta de Gallinazo, para redistribuirla en toda la ciudad dado que un circuito ha quedado fuera de servicio, y segundo que además se tienen repuestos y mayor capacidad para reparar de forma expedita las conducciones de agua dañadas, reinstalar un puente metálico para pasar el Chinchiná en el lugar de los hechos y de reponer sin mayores tropiezos la citada línea de gas.

No obstante, la lección que queda de estos daños que afectan las líneas vitales y otros ocurridos sobre la vía al Magdalena y la carretera al norte por Neira, exige nuevas consideraciones ambientales para romper paradigmas.

Uno de ellos con la propuesta de Corpocaldas de meses atrás, útil para enfrentar el grave deterioro de la vía Maltería-La Esperanza, y que consiste en implementar una figura ambiental que vea más allá de las cunetas, muros, transversales y pavimentos de la carretera, entendiendo que una vía como cualquier línea vital comprende todo el corredor ecológico del sistema, y las relaciones socioambientales y económicas que se dan en ella, y donde la extensión del área de influencia del modelado comprende, además del medio transformado, el medio natural que le sirve de soporte y que lo conforman las microcuencas interferidas.

Y a pesar de que el Cambio Climático es realmente la amenaza, y la Niña solamente el fenómeno natural que exacerba el clima, estos desastres son antrópicos: existen normas para aplicar los instrumentos de planificación existentes, pero en los suelos no están bien aplicadas o se violan, lo que finalmente conduce a permitir, a través del Plan de Ordenamiento Territorial, el uso conflictivo del suelo en lugares sin aptitud para el destino que tienen, lo que potencia las amenazas, cuando no el mayor riesgo para las personas y las líneas vitales. De ahí que se construya sobre deslizamientos y ocupen humedales y vaguadas a lo largo y ancho de nuestra geografía.

Igualmente, tampoco se ha valorado con suficiente resolución el alcance espacial y temporal, y probabilidad de ocurrencia de las amenazas, en muchos casos; de ahí que se deban sumar esfuerzos para proveer a Corpocaldas y a las dependencias responsables de la gestión del riesgo, de una cartografía con mapas temáticos donde se incluya la espacialización del conjunto de variables que esto demanda, sino también para los mapas ambientales que requiere el ordenamiento de las cuencas y otros necesarios para el ordenamiento ambiental del territorio a lo largo y ancho del departamento, dado que se inicia un nuevo ciclo del ordenamiento territorial en Colombia.

Otro asunto, es que prevalece la creencia de que la ingeniería es garantía absoluta por no decir invencible, cuando por regla general sus diseños están del lado de la falla: una obra construida para una vida útil de 25 años, sometida a eventos con un período de retorno de 25 años, tiene un riesgo del 64%, similar al que presentan obras cuya vida útil es de 100 años, frente a eventos con 100 años de período de retorno. Ahora, las obras con una vida útil de 25 años que deban enfrentar amenazas cuyo período de retorno sea de 100 años, tienen un riesgo de falla del 98%, casi cercano a la certeza de falla. * [Ref: La Patria, Manizales, 12/12/2011]

Lecturas complementarias

Geotecnia y medioambiente

La primera parte de este módulo partirá de la taxonomía de las ciencias para entrar al problema de la tecnología, al del medio ambiente y luego al del desarrollo. La parte segunda del módulo tiene como finalidad introducir al geotecnista en la problemática que debe enfrentar en el medio tropical andino, como profesional de las ciencias de la tierra. En él se examinarán los problemas propios de nuestros suelos y los desafíos para el geotecnista. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3255/geotecniayma.pdf>

Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo.

Reflexiones para aportar a la construcción democrática de una respuesta estructural a uno de los conflictos más emblemáticos que ha vivido Manizales en el ocaso de la ola invernal de las dos Niñas de los últimos años, cuando la crisis del agua puso en evidencia la ausencia de una política pública ambiental que abrigue, entre otros aspectos socioambientales del territorio, la problemática del riesgo asociado a los fenómenos.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21412/gonzaloduqueescobar.201411.pdf>

Geomecánica de las laderas de Manizales.

Este documento evalúa la susceptibilidad espacial de las laderas de Manizales, una ciudad intermedia relativamente compacta, ubicada en una zona de alto riesgo sísmico y geotécnico, sobre las laderas del trópico andino. La fragilidad de los suelos residuales, la fuerte topografía, la actividad neotectónica y el clima severo, son factores naturales de inestabilidad que explican un frágil equilibrio de las laderas de la ciudad, que se rompe a causa de factores antrópicos relacionados con el urbanismo descontrolado, las actividades productivas inconvenientes y la falta en la planificación relacionado con un ordenamiento territorial conflictivo.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3174/gonzaloduqueescobar.200916.pdf>

Inestabilidad de laderas en el trópico andino - Caso Manizales.

Anotaciones sobre riesgo, amenaza y vulnerabilidad, probabilidad de falla de obras civiles expuestas a una amenaza, y anotaciones sobre las consecuencias del cambio climático en el panorama de Colombia y el riesgo sísmico para Manizales, como insumos de importancia para comprender mejor los desafíos para atender la dinámica de los desastres asociados a los movimientos en masa en las temporadas invernales. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9692/gonzaloduqueescobar.201223.pdf>

Otra vez El Niño: ¿cómo adaptarnos?

Colombia debe enfrentar su vulnerabilidad a los impactos del calentamiento global, emprendiendo acciones de adaptación al cambio climático, relacionadas no sólo con una mayor capacidad de respuesta en los medios rurales y urbanos para enfrentar fuertes inviernos y sequías prolongadas e intensas. El fenómeno ENSO, además de facilitar la ocurrencia de incendios forestales, compromete la seguridad alimentaria y del suministro del agua en El Niño, también con La Niña trae temporadas invernales con fenómenos extremos asociadas a su fase húmeda, razón por la cual además de combatir la deforestación, proteger las fuentes de agua, resolver los conflictos de uso del suelo, mitigar la vulnerabilidad a los desastres hidrogeológicos y reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero, deberíamos revisar a fondo los Planes de Manejo de las Áreas de Interés Ambiental, para verificar si existen instrumentos de alerta temprana y acción oportuna en áreas críticas Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/68776/otravezelni%3fc3%b1o-comoadaptamos.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: *Geomecánica.*

Anexo 2: *Geotecnia para el trópico andino.*

Anexo 3: *Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.*

Anexo 4: *Riesgo sísmico: los terremotos*

Anexo 5: *Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial*

Anexo 6: *El desastre de Amero por la erupción del Ruiz*

Anexo 7: *Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.*

Anexo 8: *Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia*

Anexo 9: *Túnel Manizales*

Anexo 10: *El futuro de la ciudad*

Anexo 11: *Newton: de Grecia al Renacimiento.*

Anexo 12: *Albert Einstein en los cien años de la TGR.*

Anexo 13: *La Cosmología de Stephen Hawking.*

Anexo 14: *Cultura y Astronomía (CyA)*

Anexo 15: *Astrofísica y Estrellas*

Anexo 16: *El camino a las estrellas.*

Anexo 17: *Mecánica planetaria.*

Anexo 18: *Tiempo y Calendarios.*

Anexo 19: *La Luna*

Anexo 20 *Guía astronómica*

Anexo 21: *Pacífico biogeográfico y geoestratégico*

Anexo 22: *Navegando el Río Grande de la Magdalena*

Anexo 23: *Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.*

Anexo 24: *El Río Cauca en el desarrollo de la región*

Anexo 25: *Introducción a la teoría económica*

Anexo 26: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 27: *Colombia tropical, ¿y el agua qué?*

Anexo 28: *Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio*

Anexo 29: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 30: *Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.*

Anexo 31: *Plusvalía urbana para viabilizar el POT*

Anexo 32: *Economía colombiana: crisis y retos.*

Anexo 33: *La economía en la era del conocimiento.*

Anexo 34: *El territorio caldense: ¿un constructo cultural?*

Anexo 35: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 36: *Fundamentos de economía y transportes.*

Anexo 37: *Colombia intermodal: hidro vías y trenes*

Anexo 38: *UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga*

Anexo 39: *Textos “verdes”*

Anexo 40: *Videos del autor.*

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Salto del Tequendama, Bogotá, Colombia. B.D. Uniandes Planetaria

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 17

AGUAS SUPERFICIALES

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

La hidrosfera alude a toda el agua en, sobre o por encima de la superficie de la Tierra; en los océanos, ríos o lagos, bajo la Tierra o en el aire.

17.1. EL MAR

Geológicamente, el mar es importante como espacio de sedimentación, así como por las fluctuaciones que en él tienen lugar, motivadas por procesos epirogenéticos, por la eustasia y la isostasia (trasgresión y regresión).

Tabla 20. Componentes disueltos en el agua de mar.

Elemento o compuesto	Concentración Partes/millón
Cloruro, Cl^{-1}	19000
Sodio, Na^{+1}	10550
Sulfato, SO_4^{-2}	2460
Magnesio, Mg^{+2}	1290
Calcio, Ca^{+2}	400
Potasio, K^{+1}	380
Bicarbonato, HCO_3^{+1}	140
Bromuro, Br^{-1}	65
Ácido bórico, H_3BO_3	25

La Tierra. Círculo de lectores, 1985.

17.1.1. Cambios de nivel. Los cambios de nivel del mar, se miden en relación con la tierra emergida, los cambios diarios causados por las mareas son bastante conocidos. Pero hay otros cambios como los eustáticos y tectónicos, que son movimientos lentos y extendidos continentalmente, o tan locales y raros como inadvertidos. Si la variación del nivel del mar se explica por el océano, se denomina cambios eustático. Cuando aquella se explica por movimientos del suelo, se denomina tectónico. Los primeros, por regla general, son movimientos regionales y persistentes en el largo plazo, mientras los segundos tienden a ser locales y espasmódicos

Las variaciones en el nivel del mar se pueden explicar por variaciones del clima que modifiquen la superficie de los glaciares, y también por los cambios radicales e importantes de tamaño y forma de las cuencas oceánicas, a causa de procesos de deposición, erosión, y reconstrucción magmática del fondo oceánico.

17.1.2. Corrientes marinas. Las corrientes del mar, son otra forma de movimientos del agua de los océanos. Hay corrientes horizontales y verticales, cuya velocidad varía de un punto a otro, pero que cada 1800 años mezclan las aguas oceánicas. El origen de tales corrientes es complejo, pues se causan por contrastes de densidad, por la rotación de la Tierra, por el viento y por las mareas. Entre ellas tenemos las corrientes de marea, las corrientes de densidad y las corrientes marinas propiamente dichas.

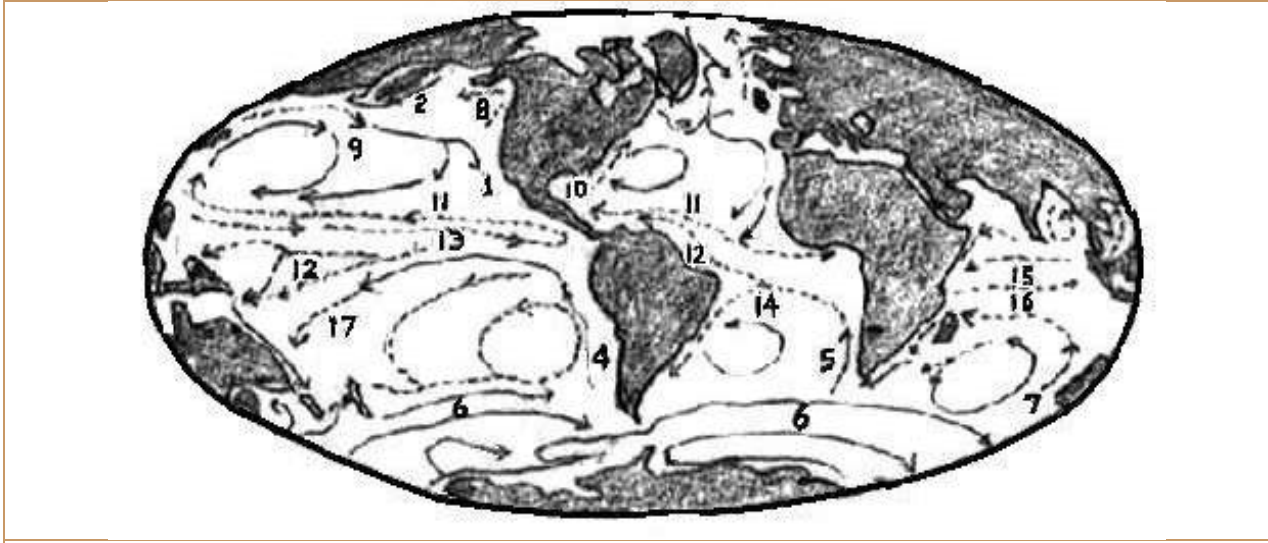


Figura 107. Corrientes oceánicas. Corrientes frías (—): 1. de California, 2 Oya Shivo, 3. de Canarias, 4 de Perú, 5. de Benguela, 6. deriva de los vientos del W, 7. de Australia W. Corrientes cálidas (- -): 8. de Alaska, 9. Kuro Shivo, 10. Del Golfo, 11. Ecuatorial del N, 12. Ecuatorial del S, 13. Contracorriente ecuatorial, 14. De Brasil, 15. Contracorriente ecuatorial Indica, 16. Ecuatorial, 17. De Australia E. Adaptado de La Tierra, Salvat.

- **Corrientes de marea.** Las corrientes de marea, son locales, horizontales pero a menudo rápidas (hasta algunos Km./h). Se deben a la acción del sistema Tierra-Sol-Luna.

- **Corrientes de densidad.** Se explican por cambios de temperatura, salinidad y carga en suspensión. Incluye los movimientos convectivos, entre los fríos polos y el ecuador, que irrigan oxígeno a los fondos oceánicos.

- **Corrientes marinas.** Son las corrientes superficiales que aprovechan los marinos de veleros. Son enormes ríos marinos de varios cientos de km. de ancho, que como grandes flujos se trasladan, verticalmente a causa de contrastes de temperatura y salinidad, y horizontalmente por el impulso transmitido por la rotación terrestre. Aquí el viento ocasiona movimientos horizontales que van sufriendo desviaciones introducidas por la fuerza de Coriolis. El conocimiento de las corrientes fue fundamental para transitar mares y océanos en embarcaciones sin motor.

Las corrientes cálidas proceden del ecuador y los trópicos, y las frías de los polos. Unas y otras se contorsionan dextrógiramente en el hemisferio norte y levógiramente en el hemisferio sur.

17.1.3 Las mareas. Son variaciones regulares y cíclicas del mar producidas por la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol. Entre la subida (flujo y marea alta) y el descenso (reflujo y marea baja) del nivel del mar transcurren 12 horas y 25 minutos.

La marea alta coincide con la culminación superior de la Luna, y la baja con su culminación inferior. La diferencia entre ambas se denomina amplitud de marea. Para explicar la existencia de las mareas son de importancia la fuerza de atracción gravitatoria y la fuerza centrífuga. La Tierra y la Luna se atraen mutuamente para girar alrededor de un centro de gravedad. De esta forma se genera una fuerza centrífuga opuesta a la de atracción. En los lugares de la superficie terrestre, para los que la Luna está en el cenit o en el nadir, se origina una cima de marea.

A consecuencia a rotación de la Tierra las cimas de marea se mueven diariamente alrededor de la Tierra y producen dos mareas, que cada día se suceden 50 minutos más tarde, interviniendo también en ello variaciones locales. La atracción secundaria del Sol -que teniendo más masa ejerce menor influencia por estar demasiado lejos- origina las mareas vivas (en oposición y conjunción o con Luna llena o nueva); las mareas muertas, con un flujo especialmente bajo (cuando estamos en cuadraturas o creciente y menguante).

La actividad de las mareas en su conjunto depende de la geometría de las cuencas oceánicas, y la amplitud, de la forma de la costa. También los continentes responden, plásticamente, a la atracción conjunta del sistema Sol - Tierra - Luna, con mareas continentales.

17.1.4 Perfil hipsográfico. Según la distancia a la que se encuentren de tierra firme y su profundidad, se distinguen en el mar la zona costera o litoral situados en la cercanía inmediata de la costa; la nerítica en la zona del zócalo hasta los 200 m de profundidad y la batial (200 a 800 m), dentro del sector de profundidad media; y dentro del sector profundo las zonas hemipelágicas (talud continental: 800 a 2400 m) y eupelágica (a partir de los 2400 m), con las plataformas pelágicas (2400 a 5500 m) y las fosas pelágicas o abisales (más de 5500 m).

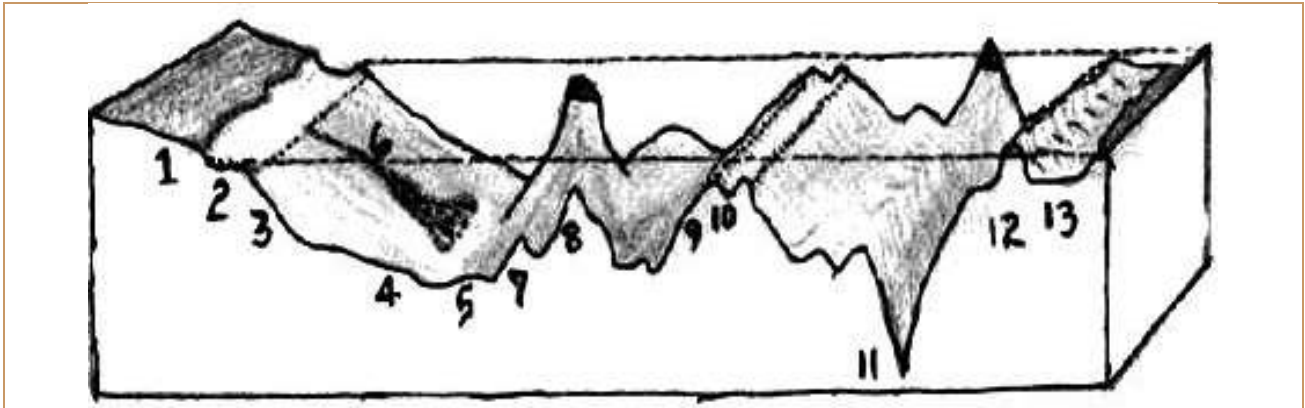


Figura 108. Fondo del mar: 1. continente, 2. plataforma continental, 3. talud continental, 4. umbral continental, 5. cuenca abisal, 6. cañón submarino, 7. colinas abisales, 8. monte submarino, 9. dorsal mesoocéánica, 10. Valle central, 11. Fosa oceánica, 12. Arco de islas, 13. Mar continental. Adaptado de La Tierra, Salvat.

Se denominan, isobata a la línea que une puntos del fondo marino con igual profundidad; línea base de las olas, a la profundidad en el mar por debajo de la cual no existe erosión o acarreo de material por acción de las olas; corriente de turbidez a la masa de agua que viajando con movimiento violento, pendiente abajo, transporta sedimentos en el mar; litoral, a la región entre las líneas que marcan la marea alta y la marea baja; monte submarino, a la montaña que se eleva del fondo sin alcanzar la superficie del mar; guyot, al monte marino con la parte superior llana, al parecer por la acción erosiva de las olas; y atolón a la cadena de islas, formadas de arrecifes coralinos, que a la manera de anillo encierran dentro del arco una laguna marina.

17.2. ATMOSFERA E HIDRÓSFERA

La presión del aire sobre la superficie de la Tierra es $p_0 = 1,013 \times 10^5$ Pascales. Esto significa que sobre toda la superficie terrestre, cuya área es $4\pi R^2$, actúa una fuerza total de $4\pi R^2 p_0$. El origen de esta fuerza es, naturalmente, la atracción. De acuerdo con la segunda ley de Newton, dicha fuerza es igual a la masa de la atmósfera terrestre multiplicada por la aceleración de la gravedad g . De aquí no es difícil calcular la masa de la atmósfera de la Tierra m_A :

$$m_A = 4\pi R^2 \rho_0 / g = 5,3 \times 10^{18} \text{ Kg}$$

Como se ve, la misma constituye casi una millonésima parte de la masa total de la Tierra. Es aún más interesante comparar la masa de la atmósfera con la del agua en nuestro planeta: el 98% del agua se encuentra en los océanos, el 2% corresponde a los glaciares, principalmente de la Antártica y de Groenlandia, mientras que la masa de los depósitos de agua dulce y del vapor de agua es relativamente pequeña. A su vez la cantidad total de agua en la Tierra constituye $1,4 \times 10^{21}$ Kg, es decir, su masa supera 266 veces la de la atmósfera.

17.2.1 Las aguas de precipitación. El origen de las aguas de precipitación debidas al ciclo del agua es principalmente la superficie de los mares. Se evalúa esta superficie en 365 millones de Km.², los que representa el 73% de la superficie total terrestre. Por otra parte, la aportación calorífica de la radiación solar permite convertir en vapor de 2 a 3 litros de agua por m² y por día. Según esto el agua evaporada sobre el globo cada día suma 10^{12} metros cúbicos.

Bajo la acción de la radiación solar, el agua de los mares y de los continentes se transforma parcialmente en vapor que se eleva en la atmósfera. Cada metro cúbico de aire podría así cargarse, como máximo con cierto número de gramos de agua, el que podría llegar a las primeras decenas de gramos de agua cuando la temperatura supere los 20 °C.

El aire descendente se descomprime progresivamente y, por el mismo hecho de esta distensión, se enfría aproximadamente 1 °C por cada 150 metros de ascenso. Resulta de ello que, por esta simple descompresión, la temperatura disminuya con un valor suficiente para que la cantidad de agua contenida en el aire sea excesiva y deba precipitarse. También a veces las variaciones de presión atmosférica, como la presencia de corrientes de aire frío, afectando masas de aire caliente cargado de vapor de agua, son procesos que provocan la precipitación del agua en forma de lluvia o de nieve.

17.2.2 Ecuación del ciclo hidrológico. Pero resulta interesante saber en que se convierten el agua o la nieve así precipitadas sobre el suelo, y cuál puede ser su papel en la formación en las aguas superficiales y subterráneas.

La ecuación del ciclo hidrológico sin considerar aguas juveniles (origen magmático), ni connatas (origen sedimentario), es la siguiente:

$$\text{Pre} + \text{con} = \text{esc} + \text{inf} + \text{eva} + \text{tra}$$

En la ecuación que se señala que el volumen de agua de la precipitación (Pre) más la el de la condensación (con), es igual a la suma de las aguas de la escorrentía (esc), la infiltración (inf), la evaporación (eva) y la transpiración (tra).

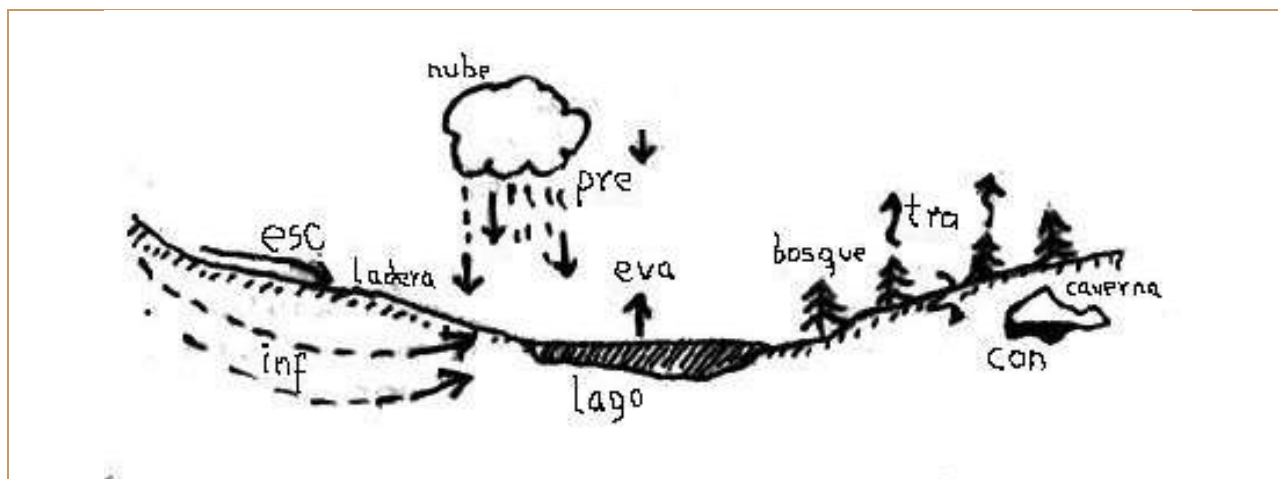


Figura 109. Ciclo hidrológico: las aguas de precipitación (Pre), como también la condensación (con), generan escorrentías (esc), infiltración (inf), y evapotranspiración (eva + tra). Adaptado de Lisandro Beltrán, curso de flujo en medios porosos, U. Nal.

La condensación, que suele ser excluida de esta ecuación, en los bosques de niebla del medio tropical andino y en las cavernas calcáreas de las zonas semidesérticas, es tan importante como lo es la precipitación en otros escenarios. La formación de las aguas subterráneas y en el papel regulador de los bosques de niebla, se comenta en el capítulo de las aguas subterráneas. Los bosques son necesarios para reducir la escorrentía y favorecer la condensación: sin ellos, surgen el descontrol hídrico y pluviométrico, además de la erosión intensa y extensa, y de la pérdida de las aguas subterráneas que alimentan los manantiales. .

La nieve puede acumularse, si la temperatura es suficientemente baja, para formar los glaciares. Estas aguas acaban por volver al estado líquido cuando la presión de los hielos sobre el suelo subyacente aumenta o cuando en verano la temperatura se eleva. En invierno como en verano una parte de estas masas de nieve o hielo se evapora sin pasar por el estado líquido.

Cuando el agua se precipita sobre el suelo en forma de lluvia, lo que es el caso más frecuente, se reparte en tres fracciones. Una parte se evapora y repite nuevamente otro ciclo del agua. Esta evaporación puede ser inmediata o diferida por la intervención de los seres vivos animales o vegetales. Una segunda parte se infiltra para servir a la alimentación de las aguas subterráneas. Una tercera parte, finalmente, fluye y se reúne con los cursos de agua que regresan al mar.

- **La evaluación del ciclo.** Es difícil definir la fracción de agua de lluvia evaporada, particularmente cuando se trata de suelos cubiertos de vegetación. Es igualmente difícil evaluar la fracción de infiltración, que depende considerablemente de la permeabilidad de los terrenos encontrados. La sola medida segura es la de la fracción de arroyamiento, o agua de escorrentía, que se establece por la estimación de los caudales, durante un período bastante largo, de los cursos de agua cuya cuenca vertiente pueda ser definida con suficiente precisión.

La parte respectiva de las tres fracciones, evaporación, infiltración y escorrentía, cuyo total representa la masa de agua realmente precipitada es así muy variable. La infiltración depende de las condiciones de precipitación, por ejemplo, las lluvias finas y prolongadas se infiltran más que las lluvias de tempestad.

La naturaleza del terreno desempeñará también un papel importante. La infiltración será total en una red cárstica, pero la circulación interna muy localizada, permitirá la restitución a menudo rápida de las aguas subterráneas a los valles. El agua de fusión de las nieves y de los hielos se infiltrará más cuando la fusión sea lenta (invierno) que, por ejemplo, en primavera o verano cuando los caudales aumentan bajo la acción de la radiación solar intensa.

La cobertura vegetal del suelo, que favorece la evaporación, facilita de pronto la infiltración a expensas de la circulación. Pero lo que queda por discutir es la fracción de las aguas de condensación interna y externa dentro de la ecuación del ciclo hidrológico. Se alude aquí a la pérdida de agua que sufren las masas de aire cargadas de vapor, al contacto con la superficie del suelo (nieblas de regiones húmedas y rocíos de regiones secas) o de masas de aire que circulan cavernas profundas aportando agua por condensación y no por adsorción (redes cársticas y macizos fisurados). Los bosques de páramo condensan grandes volúmenes de agua, cuya cuantía compite con la de la precipitación, en los caudales del arroyamiento.

17.2.3 La erosión del suelo. Todo suelo que no está protegido por un manto vegetal, natural o artificial, es presa de la erosión por los agentes atmosféricos y está amenazado de desaparición si nada detiene el agua que cae sobre el suelo, ésta discurre por las pendientes, las erosiona, provoca una crecida de los arroyos y los ríos se desbordan. En estas circunstancias los mantos de aguas subterráneas no estarán alimentados porque no se absorbió parte del agua que cayó sobre el suelo, razón por la cual el nivel de los pozos baja y las fuentes se secan. Si queremos mantos de agua subterránea hay que mantener en el suelo una cubierta vegetal que impida la erosión.

Hay otra forma de erosión diferente a la que producen en los suelos los agentes atmosféricos, la lluvia y el arroyamiento. Se trata de la tendencia que tienen las corrientes de aguas pequeñas o grandes a profundizar su lecho, a llevar más lejos su nacimiento, y, por lo tanto, a modificar el relieve, a esculpirlo. Esta destrucción del material litológico puede tener consecuencias perjudiciales si el río, en período de crecida en lugar de depositar limos finos, viene a recubrir los campos de materiales gruesos, como arenas, guijarros e incluso pedruscos.

Si el mismo fenómeno se produce aguas arriba de los grandes embalses, no tarda en cegarse el depósito de retención. Las curvas de distribución o concentración de aguas en el tiempo, de lluvias y caudales, sirven para el diagnóstico del estado de una cuenca, puesto que el descontrol hídrico y pluviométrico, van de la mano entre sí, y con el nivel y tipo de cobertura del suelo.

17.2.4 La erosión en zonas de ambiente tropical andino.

Los Andes son cordilleras jóvenes con suelos inestables, ambiente tectónico y volcánico. En el trópico predominan los suelos residuales y el clima húmedo con dos temporadas de lluvia al año. De acuerdo a las experiencias de la región, algunos de los factores de la erosión y prácticas de prevención son:

- **Factores físicos de la erosión.** La topografía abrupta, la roca blanda o con intensa alteración tectónica, los altos contenidos de humedad en el suelo por intensa precipitación o elevada humedad relativa, las pendientes fuertes de los cauces, la acción de las aguas de escorrentía en suelos sin protección y la infiltración en temporada de invierno, el vulcanismo, el tectonismo y los terremotos.

- **Factores antrópicos de la erosión.** La tala y quema de la vegetación natural en zonas de ladera, la construcción de carreteras y caminos sin obras de drenaje, los taludes de lleno dispuestos sobre laderas no tratadas y empinadas, la concentración e infiltración de aguas lluvias sobre las laderas, la pérdida de vegetación y en especial la de sistemas radiculares profundos para laderas de fuerte pendiente, las aguas servidas y sin control sobre las laderas habitadas, los botaderos en zonas urbanas y suburbanas afectando drenajes artificiales y cauces, los cortes para adecuación de lotes sin manejo geotécnico, las explotaciones agropecuarias sin prácticas de conservación del suelo, la falta de programas de educación, capacitación y concientización para que las comunidades se apropien debidamente el territorio.

- **Estabilización de taludes.** Conformación de taludes por banqueo en módulos de tres a seis metros de altura con inclinación 1v:1h a 1v:4h. Entre talud y talud van terrazas con bermas con obras de drenaje que conducen las aguas a sistemas colectores. Obras complementarias como muros en concreto armados, en gaviones, en mampostería con malla eslabonada o en tierra armada. Drenaje subterráneo para disminuir la presión de poros del subsuelo y abatir el nivel freático; entre estas obras se destacan: el drenaje con zanjas filtrantes, los drenes horizontales de penetración, construidos con equipo especial o con palabarreno, el sellamiento de grietas utilizando suelos arcillosos e incluso cal, la impermeabilización de bermas, los empradizados. Pero estas obras son costosas y suponen la erradicación de árboles y arbustos,

con lo cual se pierde la resistencia al corte del suelo en las potenciales superficies de falla, y se facilita el agrietamiento por secamiento del suelo ya desprovisto de vegetación multiestrato.

- Control y manejo de aguas. Canales en la corona de los taludes para captar escorrentías, conductos cerrados y alcantarillas para disipar y disponer las aguas en cauces y quebradas. Canales construidos en cauces y quebradas y a través de las laderas; pueden ser en concreto, en gaviones o en mampostería. Presas correctoras construidas en gaviones para amortiguar la torrencialidad y proteger márgenes de cauces. Trinchos para corrección de cauces, construidos en guadua y tierra acomodada, acompañados de estacas vivas de sauce, caucho o quiebrabarrigo. Pero las obras de concreto son perecedoras, pesadas y costosas, por lo que debe evaluarse la posibilidad de recurrir a la construcción de trinchos vivos y al restablecimiento de los bosques de galería.

Estructuras de disipación a lo largo de alcantarillados de gran pendiente y en entregas de canales y colectores (resaltos, impacto, vórtice, de caída, rejillas, etc.), construidas en concreto o gaviones. Sumideros de varios tipos a saber: de rejillas de fondo en forma de L, transversales o simples, de captación lateral con o sin rejilla, combinados de rejillas de fondo y captación lateral. Pavimentos en placa de concreto o asfalto impermeable, en zonas peatonales las escalas son al tiempo canales de conducción.

17.3. CORRIENTES SUPERFICIALES

Los ríos van al mar y éste nuevamente los provee de agua. Un río es una corriente de agua continua o perenne, intermitente o no, que desemboca en el mar, en otro río (afluente) o en un lago (emisor) o que pierde por el terreno (endorreísmo).

Los ríos se caracterizan por poseer en general un caudal más regular que los torrentes, a causa de la longitud superior de su recorrido y al aporte de las aguas subterráneas.

Como modeladores del relieve los ríos son los agentes geológicos más importantes, ya por la acción geológica que realizan, ya por la extensión de las áreas sobre las que actúan. Como las características de erosión y sedimentación van variando y en consecuencia también las formas erosivas y de acumulación, clásicamente se han dividido los cursos fluviales en tres partes: tramo superior, tramo medio y tramo inferior.

El río principal con todos sus afluentes, constituye una red fluvial, también llamada cuenca hidrográfica. El caudal de un río depende de las fuentes que lo alimentan, de la cuantía de las precipitaciones y aguas de deshielo, del grado de permeabilidad de los terrenos que atraviesa -en regiones cársticas son frecuentemente los ríos subterráneos- del coeficiente de evaporación, etc.

Se llama régimen de un río a la evolución habitual del caudal de un río en el curso de un año (procedencia de las aguas que lo alimentan, régimen nival, pluvionival, periodicidad de sus aguas altas y bajas, grado de regularidad de su caudal, etc.).

Colombia es, después de Canadá, ex URSS y Brasil, el cuarto país en el mundo por la densidad de sus recursos hídricos continentales. Los grandes desniveles dan origen a rápidos y cascadas aprovechables para la producción de hidroelectricidad. La regulación y canalización permite hacerlos navegables en tierras más bajas, fijar su curso, evitar la peligrosidad de sus crecidas, sanearlos, mejor y más constantemente utilización de sus aguas, etc.

En Colombia pueden hacerse navegables el Magdalena desde Honda-La Dorada a Cartagena y Barranquilla, el Atrato desde Quibdó a Urabá, pero también el Meta y Guaviare para implementar la hidrovía del Orinoco y el Putumayo para entrar a la hidrovía del Amazonas; ya que ambas cuencas cubren el 46,7 % de Sudamérica.

Tabla 21. Principales ríos del mundo con su cuenca.

Río	Longitud Km.	Area cuenca Km. ² x 10 ³	Ubicación	Desembocadura
Nilo	6680	3349	África	Mar Mediterráneo
Amazonas	6516	7050	América del Sur	Océano Atlántico
Mississippi-Missouri	6021	3221	América del Norte	Golfo de Méjico

Río	Longitud Km.	Area cuenca Km. ² x 10 ³	Ubicación	Desembocadura
Yenisei	5540	2580	Unión Soviética	Mar de Kara
Changyang	5490	1959	China	Mar de China oriental
Obi-Irtish	5410	2975	Unión Soviética	Mar de Kara
Congo	4700	3459	África	Océano Atlántico
Lena	4400	2490	Unión Soviética	Mar de Laptev
Mackenzie	4241	1841	América del Norte	Mar de Beaufort
Niger	4180	1890	África	Golfo de Guinea
Río de la Plata-Paraná	4000	4144	América del Sur	Océano Atlántico
Murray-Darling	3780	1057	Australia	Océano Indico
Volga	3690	1360	Unión Soviética	Mar Caspio
Zambeze	3540	1330	África	Canal de Mozambique
Río Grande del Norte	3040	445	América del Norte	Golfo de Méjico
Ganges-Brahmaputra	2897	1621	India y Bangladesh	Golfo de Bengala

La Tierra. Círculo de lectores, 1985.

17.3.1 Partes de un sistema de drenaje. Los ríos resultan de la unión de las aguas de los torrentes. Las líneas que forman los puntos más altos de relieve son las divisorias, quienes distribuyen hacia uno y otro lado las aguas de las precipitaciones. La zona geográfica que alimenta a un mismo río está limitada por dos divisorias y se denomina cuenca hidrográfica.

Un río de montaña se alimenta con el agua de los arroyos confluentes en las zonas de recepción, donde se forman torrentes que llevan agua rápida al valle principal. Aquí la velocidad disminuye y el sedimento se deposita en un cono aluvial o de deyección. En consecuencia, en los torrentes fluviales pueden distinguirse claramente el tramo alto, el medio y el inferior, los que reciben los nombres de cuencas de recepción, canal de desagüe y cono de deyección.

En la cuenca tributaria o de recepción, se concentran las aguas que provienen de la fusión de la nieve o de las tormentas. Como la pendiente es fuerte y la vegetación escasa, la erosión actúa con intensidad. La forma de la cuenca es triangular, con un vértice en la parte más baja y formada por numerosos barrancos que confluyen unos con otros hasta formar un único cauce, el canal de desagüe.

El canal de desagüe corresponde al recorrido más largo del torrente. La principal acción geológica es el transporte, pero también se producen erosión y sedimentación. Al final del canal se encuentra el cono de deyección. El cono de deyección se forma en el valle de salida, por los sedimentos que deja el río cuando pierde velocidad. Este cono inestable tiende a suavizar el cambio de pendiente entre la ladera de la montaña y el fondo del valle.

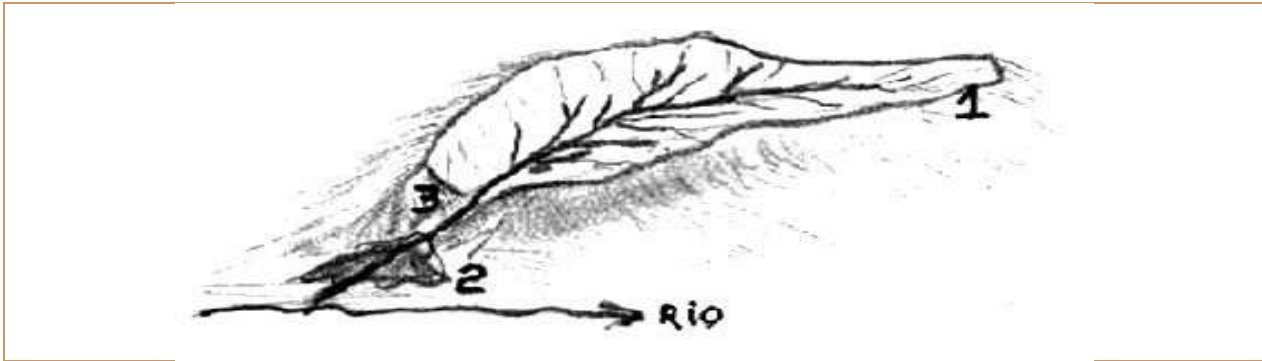


Figura 110. Sistema de drenaje. Se ilustra en 1 la cuenca tributaria o de recepción, en 2 el cono de deyección y en 3 el canal de conducto o desfogue uniendo las partes anteriores. Por orden de afluencia los arroyos forman quebradas y éstas, ríos. Adaptado de La Tierra, Salvat.

17.3.2 Perfil de una corriente. Longitudinalmente distinguimos tres zonas en dirección aguas abajo hasta llegar al nivel base; lagos y represas serán niveles bases temporales, pues el último nivel base es el mar.

- **Zona I.** Localizada aguas arriba, es la zona de erosión, predomina la erosión de fondo sobre la lateral; es una erosión lineal vertical que se contrapone a la erosión de área. Es máxima la velocidad del flujo y este tiene características torrenciales; en la carga predominan arenas y guijarros, los alineamientos son bruscos, la vaguada es en V cerrada y los cañones son cerrados. Las estructuras que se producen son formas erosivas, las cascadas y los rápidos son típicos, aunque no exclusivos de esta zona.

- **Zona II.** Localizada en la parte media de la corriente, es la zona de suspensión, muestra equilibrio entre la erosión de fondo y la lateral. La velocidad es moderada y la pendiente más suave; predominan limos y arenas en la carga; el lecho del río se va rellenando con materiales que no puede arrastrar (agradación). Los alineamientos son suaves, el paisaje ondulado y la vaguada en V abierta.

Las llanuras de inundación se desarrollan tanto en el tramo medio como inferior de los ríos. Progresivamente la agradación lleva a una situación de inestabilidad en la que la menor crecida propicia el desbordamiento de las aguas. En el desbordamiento la llanura de inundación recibe aluviones y a los lados del cauce se reconstruyen los umbrales. A partir de este momento el río nuevamente encajado entre los umbrales recién formados permanece estable durante unos años hasta que el proceso de agradación le lleva a la situación anterior.

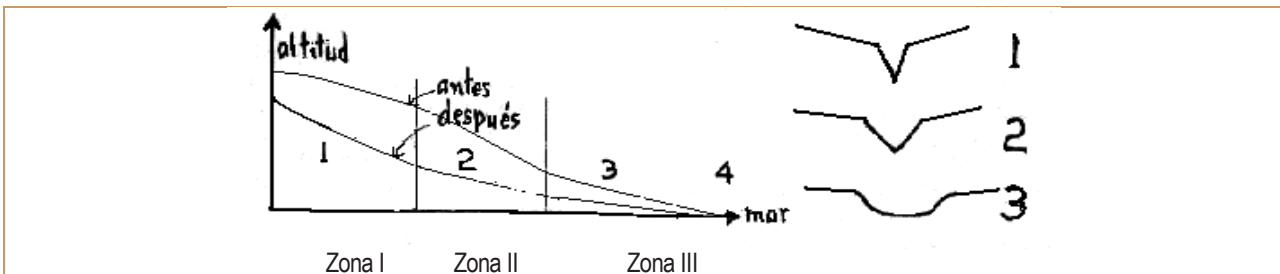


Figura 111. Perfil longitudinal de una corriente en evolución. A la derecha la vaguada en cada una de las zonas: 1. vaguada en V cerrada, 2. vaguada en V abierta, 3. vaguada en forma de U, 4. nivel base (el mar).

Hay características que determinan la formación de meandros en el tramo medio del cauce. El abandono de sedimentos aguas arriba del tramo medio produce depósitos de forma longitudinal denominados barras. El agua fluye entre las barras formando diversos canales que se bifurcan y unen, llamados cauces anastomosados. En la última porción del tramo medio y en el tramo inferior el río transporta sedimentos de grano más fino sobre una pendiente más suave y bajo un caudal más regular.

- **Zona III.** Localizada aguas abajo, es la zona de depósitos próxima al nivel de base o desembocadura. Como la velocidad es lenta, en la carga dominan limos y arcillas; predomina la erosión lateral sobre la de fondo, hay meandros, el paisaje es de valles amplios y la vaguada es en U abierta. La estructura más característica del tramo inferior es la que se origina en su arribada al mar; ésta puede ser libre de sedimentos (estuario) o caracterizada por el abandono masivo, y entonces se produce una acumulación que se conoce con el nombre de delta. Que se origine uno u otro tipo de estructura depende de las características del río y de las zonas costeras, como son la amplitud de la

plataforma continental, estabilidad o presencia de movimientos verticales, presencia de mareas corrientes y oleaje y cantidad de sedimentos que el río aporta.

17.3.3 Evolución de la corriente. El trazado de un río desde su nacimiento hasta su desembocadura está caracterizado por un descenso de la pendiente yendo de su nacimiento hasta su desembocadura. En el transcurso del tiempo la labor erosiva va variando el perfil, las pendientes decrecen y cada tramo va adquiriendo progresivamente las características del tramo inferior. Esta evolución hace que la energía del río disminuya hasta alcanzar una inclinación inapreciable, obteniéndose el denominado perfil de equilibrio.

El trabajo del río se efectúa en consonancia con un punto de energía potencial cero que es la altitud del nivel de base o lugar de la desembocadura. Además del nivel de base general que es el mar, los ríos pueden encontrar niveles de base locales, como lo son los embalses de agua de las presas.

- **El relieve también evoluciona.** En las áreas sometidas a la acción de torrentes y ríos, los relieves con el tiempo se van suavizando en función de los niveles de base hasta la situación hipotética en la que los ríos alcanzan sus perfiles de equilibrio y toda el área se transforma en penillanura (llanura erosiva suavemente inclinada hacia el mar).

Las aguas corrientes ejercen un papel en la preparación y evolución de las formas del relieve continental. Las formas elementales primitivas, de las zonas emergidas por orogénesis y epirogénesis, son atacadas inmediatamente por las aguas meteóricas y el arroyamiento. Las aguas salvajes ejercen una acción de erosión, de horadación, que determina la constitución de una red hidrográfica que colecta las aguas de arroyamiento. Estas aguas corrientes transportan los materiales arrancados al relieve y terminan por depositarlos en el camino; los más finos en el mar.

- **Perfil de equilibrio de la corriente.** La erosión regresiva sigue teóricamente hasta que se establece un perfil de equilibrio, pero aquella no se detiene en la cumbre de una superficie inclinada ya que hace retroceder su nacimiento más allá, y al horadar su lecho alcanza la otra vertiente para que terminen por encontrarse las vaguadas y se provoque de este modo una captura y el abandono de las gargantas. Este abandono y captura es muy notable en la cordillera de los Andes entre Chile y Argentina, donde el eje montañoso andino muy próximo al Pacífico ha sido duramente atacado por la erosión regresiva de los ríos de Chile, rechazando de este modo la línea de los puertos hacia el Este, hacia Argentina. Este retroceso ha alcanzado a veces 200 Km. con consecuencias políticas entre los dos países, puesto que la frontera natural se hace móvil hacia Argentina.

- **Cambios de nivel de base de la corriente.** El nivel de base final de una corriente es el mar, que puede presentar cambios en el largo plazo por movimientos eustáticos, y por modificaciones del clima global. Pero también se pueden tratar cambios en niveles de base más altos que el nivel del mar; estos cambios pueden presentar dos posibilidades: descenso del nivel base por proceso erosivo como en el caso de fallas y elevación del nivel base por proceso de sedimentación como en el caso de presas.

En el primer caso la falla produce una catarata que se transforma en rápido, posteriormente el río suaviza su perfil descendiendo; en el segundo caso, el lago tras la presa termina sedimentado y transformado en depósito, para que la corriente fluya sobre él. Las Cataratas del Niágara han ido retrocediendo varios Km. en los últimos milenios, a velocidades diferentes de acuerdo a la dureza de la roca en cada sector.

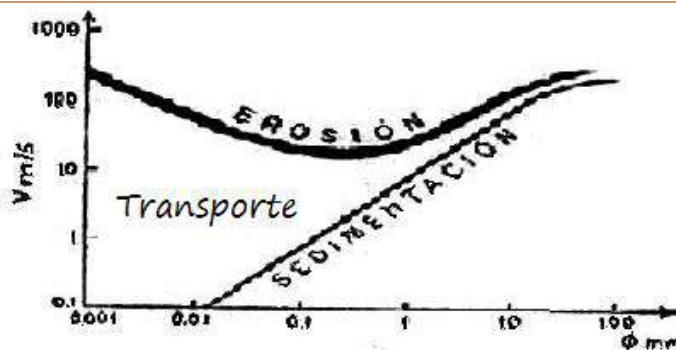


Figura 112. Curva de Hjulström; sedimentación V.S erosión de una partícula de diámetro D mm dado, según la velocidad V cm/s de la corriente. En medio de las dos curvas, el sector izquierdo, es la zona de transporte. La zona izquierda del gráfico corresponde a las arcillas, y la derecha a las gravas. Las arenas son más susceptibles a la erosión

Intervenir una corriente, con un dique, por ejemplo, supone modificar sus condiciones de sedimentación y transporte: aguas arriba se presentará un fenómeno de sedimentación remontante, a causa de la elevación del nivel de base, mientras aguas abajo se observará el cambio a una granulometría gruesa, por un fenómeno denominado acorazamiento del cauce.

17.3.4 Deltas. Los deltas se forman cuando un río penetra en el mar o en un lago y toda su carga se sedimenta formando un montículo extenso y de suave pendiente que al ir creciendo obliga al río a fluir sobre él para llegar a la desembocadura. Los deltas se presentan en regiones de regresión marina, donde el continente le gana espacio al mar, y no donde las corrientes se llevan los sedimentos.

Cuando las corrientes llegan al último nivel base (mar), los depósitos forman deltas, con canales distributarios que se orientan perpendiculares a la playa, o paralelos a ella, según la fuerza de la corriente del río, enfrentada a la fuerza del oleaje, sea mayor o menor respectivamente. Sobresalen en Colombia, el delta del Magdalena en la costa norte y del Patía en el Pacífico.

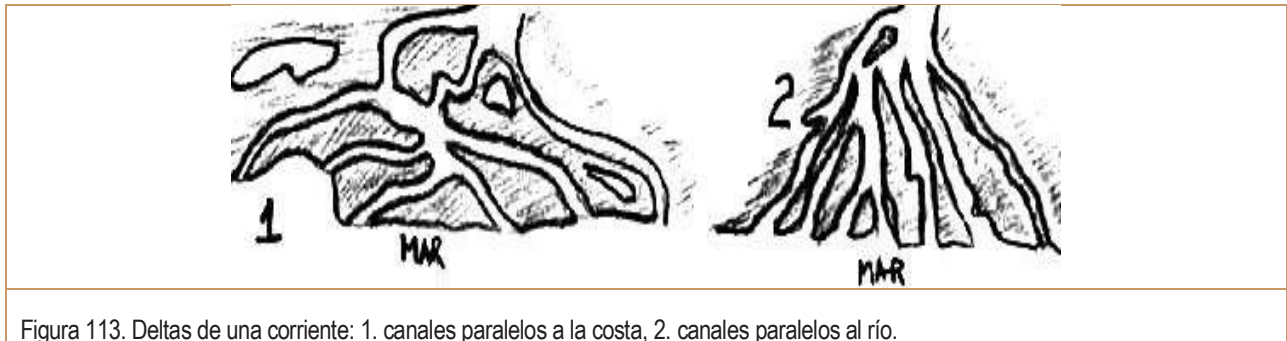


Figura 113. Deltas de una corriente: 1. canales paralelos a la costa, 2. canales paralelos al río.

17.3.5 Abanicos. Los abanicos o conos aluviales son depósitos formados en la intersección de la montaña con el valle de salida de los ríos. Estos depósitos se dan cuando la fuerza de la corriente pasa bruscamente de fuerte a suave. Por ejemplo, el abanico de Ibagué se forma en el piedemonte de la cordillera Central, donde el río Combeima sale al valle del Magdalena.

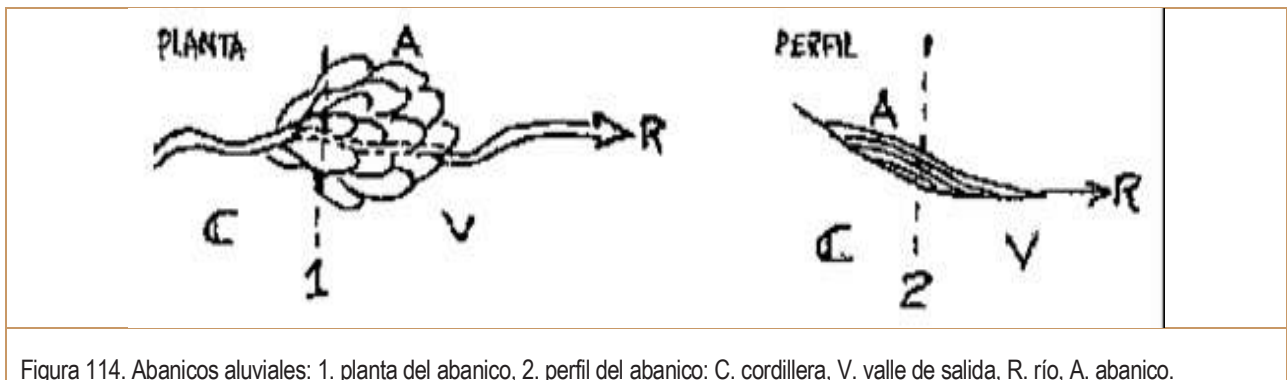
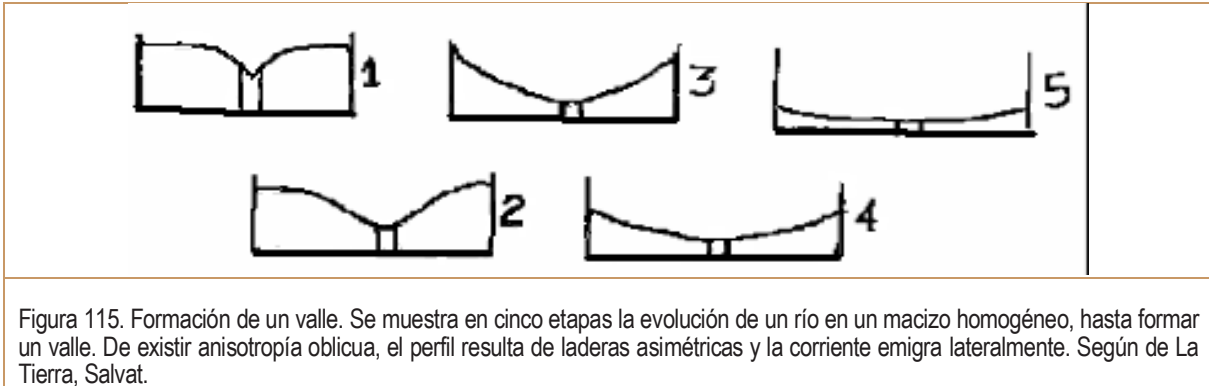


Figura 114. Abanicos aluviales: 1. planta del abanico, 2. perfil del abanico: C. cordillera, V. valle de salida, R. río, A. abanico.

17.3.6 Valles. Un valle se forma por dos procesos. El río va excavando la tierra arrancando una estrecha franja de roca de su lecho, y de éste modo produce un perfil en V. Posteriormente la meteorización ensancha el valle transformando las rocas que forman los márgenes del suelo. Al disminuir la velocidad del agua la erosión lateral ensancha el fondo del valle. En su estadio avanzado el río discurre lentamente sobre un llano aluvial en el que el material depositado forma diques laterales.



17.3.7 Terrazas. Es una franja de tierra plana situada a lo largo de la pared del valle justamente sobre el valle de crecidas. Una terraza se forma cuando sube la tierra o baja el nivel del mar y el río empieza a cortar su llano de crecidas para formar otro nuevo a un nivel más bajo. El viejo llano de crecida se convierte así en terraza. Otro levantamiento producirá una nueva terraza y el paisaje se mostrará escalonado como en la fig. 116.

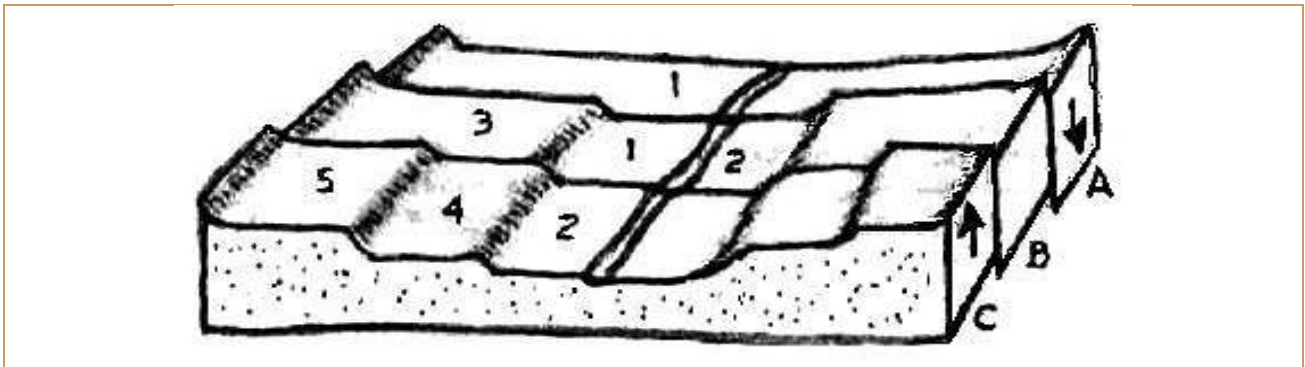


Figura 116. Formación de una terraza aluvial: A, B y C representan el valle del río desde antes hasta después de su elevación. 1 y 2 llanos de crecida, 3, 4 y 5 terrazas.

17.3.8 Corrientes trenzadas y corrientes con meandros. Cuando los ríos encuentran los valles de salida, suelen presentar corrientes trenzadas, particularmente aquellos ríos que arrastran gran cantidad de sedimentos, cuyo cauce deriva de izquierda a derecha entre una u otra época de avenida. Es el caso de los ríos de la cordillera Oriental, en su llegada al llano.

Más adelante, cuando se encuentran en valles amplios, los ríos son lentos, se favorecen los depósitos, que hacen serpentear la corriente; los meandros se producen si hay poca pendiente, pero el agua puede romper los meandros dejando sus vestigios, los que marcan el área de influencia del río, para recuperar viejos canales. En una curva del río el agua va más lenta por la margen interior y erosiona por la contraria para acentuar el meandro, hasta que se produce una intersección de dos curvaturas que permitan al flujo seguir un camino más corto.

El caso más significativo en Colombia es el de Mompox, población que ha quedado hoy a unos treinta km. por la margen derecha del Magdalena.

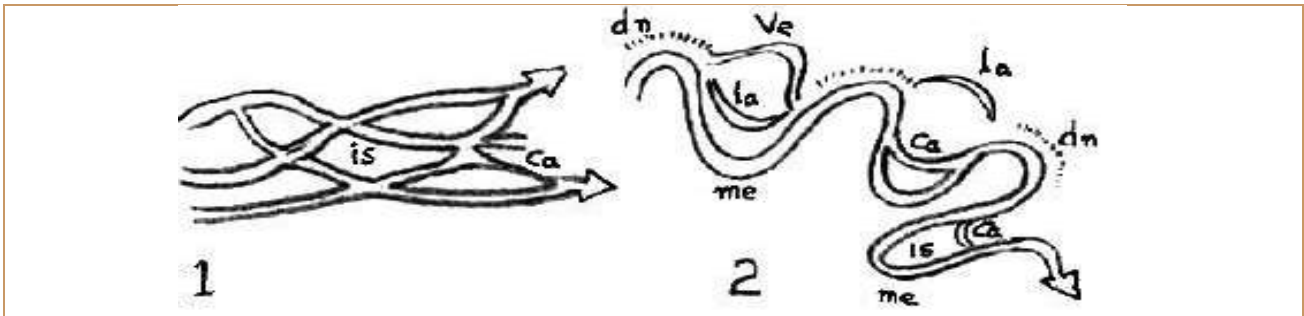


Figura 117. Corrientes aluviales. 1. Corrientes trenzadas, 2. Corriente con meandros. Para ambos dibujos, los c3digos son: dn. Diques naturales, ca. Canales, ve. Vestigio de meandro, is. Isla de aluvi3n, la. Lago en medialuna, me meandro.

17.4. DINAMICA FLUVIAL

La comprensi3n de los fen3menos erosivos del suelo y de las crecidas e inundaciones, como tambi3n de los fen3menos de disoluci3n supone el conocimiento de ciertos procesos din3micos de las corrientes de agua. Las obras de ingeniera no pueden dise1narse sin atender la naturaleza de estos procesos.

17.4.1 **Flujos.** Un flujo puede ser laminar o turbulento, en el primero las lneas de flujo son paralelas, ellas suponen que la velocidad de cada una de las partculas es la misma velocidad en las secciones transversales, y esa velocidad es relativamente constante.

En el flujo turbulento las lneas de corriente se cruzan; ello se puede deber a aportes o p3rdidas en el flujo, a fricci3n lateral o de fondo, a variaci3n en la secci3n del canal o a cambios en la pendiente o en la direcci3n del canal. Los flujos lentos, por regla general, son laminares, y los flujos r3pidos, turbulentos.

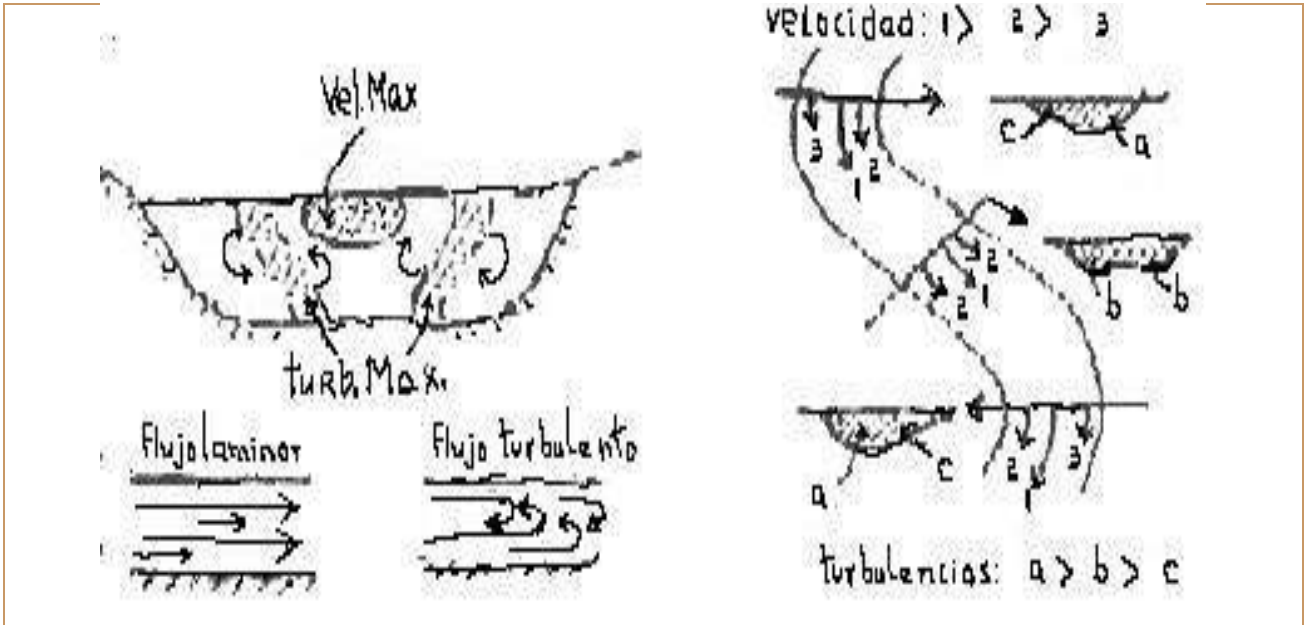


Figura 118. Lneas de flujo en una corriente. Distribuci3n de turbulencias y velocidades en una corriente. A la izquierda perfiles y a la derecha planta con tres cortes transversales. Adaptado de Correcci3n de Torrentes y Estabilizaci3n de Cauces, F. L3pez.

17.4.2 Concepto de velocidad terminal

Es la máxima velocidad V_t que alcanza un cuerpo en caída libre dentro de un fluido en reposo, es decir, cuando su aceleración se hace nula debido a que la fricción contrarresta el efecto de la gravedad.

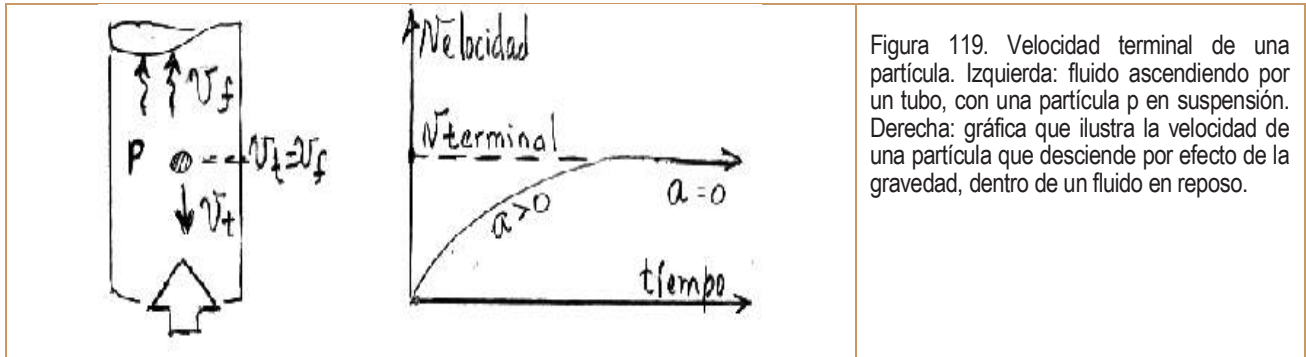


Figura 119. Velocidad terminal de una partícula. Izquierda: fluido ascendiendo por un tubo, con una partícula p en suspensión. Derecha: gráfica que ilustra la velocidad de una partícula que desciende por efecto de la gravedad, dentro de un fluido en reposo.

Si por un tubo asciende un flujo con velocidad $V_f = V_t$, cualquier partícula, que tenga por velocidad terminal V_t y que se encuentre dentro del tubo, quedará en suspensión y en reposo dentro del fluido, a menos que la velocidad del fluido cambie.

17.4.3 Capacidad, carga y competencia. Se entiende por carga la cantidad de material que lleva una corriente en un momento dado; por capacidad, la máxima carga que puede llevar la corriente, y por competencia el tamaño máximo de partículas que puede mover la corriente.

El diámetro de las partículas levantadas por un flujo aumentará (y por lo tanto la competencia y la capacidad) con el cuadrado de la velocidad del flujo, y con su cubo, si el flujo es altamente turbulento.

La erosión es débil en las rocas duras y compactas. Sin embargo, actúa con el tiempo y lo hace activamente sobre las rocas blandas pero coherentes, como las arcillas, las arenas y los suelos de cultivo. Los granos arrastrados en primer lugar no son necesariamente los más finos. Los materiales arcillosos y coloidales, cuyas partículas miden de 1 a 100 micras, resisten mejor la erosión que las arenas homogéneas, cuyos granos tienen entre 200 micras y 2 mm. La erosión se ve facilitada si el material no es homogéneo como ocurre con los suelos cultivables.

Una de las acciones prioritarias en relación con la problemática de la erosión de las laderas y la consecuente sedimentación de las corrientes, es la solución de los conflictos entre uso y aptitud del suelo, la recuperación de las áreas de interés ambiental incluyendo en ellas los bosques de galería, el control de los procesos de potrerización y la implementación de prácticas silvopastoriles y agroforestales.

17.4.4 Modos de transporte de una corriente.

Estos son disolución, suspensión y carga de fondo.

- **Disolución.** Al mar llegan por año 3000 millones de toneladas, expresadas en sales, carbonatos de Ca, Mg, etc. Los fenómenos de disolución en las calizas son muy clásicos y espectaculares, pero existen otros en el yeso que no son menos inquietantes al considerar la cimentación de las grandes obras.

- **Suspensión.** Por el concepto de velocidad terminal, pueden mantenerse partículas en suspensión dentro de un fluido en movimiento, levantadas por líneas de turbulencia del flujo.

- **Carga de fondo.** En el fondo del cauce predomina la carga depositada sobre la carga que va en suspensión; esas partículas se mueven por saltos, por deslizamientos o rodando, gracias a la presión y empuje del flujo.

17.4.5 Formas de erosión en las corrientes

- **Levantamiento directo.** Es el que provoca la turbulencia al colocar carga en suspensión. A mayor velocidad del flujo, mayores diámetros se levantan.

- **Abrasión.** Es el efecto de lija de la carga sobre las paredes y el fondo. Los materiales duros pulen el lecho, mientras los blandos resultan pulidos para explicar los cantos rodados.

- **Cavitación.** Desconchamiento de fragmentos de roca provocado por el hundimiento de vacuolas -colapso de burbujas de vapor en flujos turbulentos que generan presiones entre 100 y 150 atmósferas- en corrientes muy rápidas cuando la presión estática del líquido queda hundida bajo la presión del vapor.

En los túneles de carga de los proyectos hidroeléctricos, para evitar la cavitación, suele inyectarse aire bien distribuido a lo largo del flujo. No obstante, la construcción a escala del embalse puede advertir sobre la incidencia de la geometría del terreno y obras anexas a este, en la formación de vórtices o remolinos que incorporen aire a los flujos. En tales casos, se deben modificar la topografía del terreno o las estructuras de captura del flujo en los diseños hidráulicos.

- **Impacto y disolución.** En la zona alta de un río (zona I), por la alta velocidad, o en las cascadas y rápidos, es frecuente el impacto del flujo. La disolución de las rocas, por donde transcurre la corriente, se favorece en calizas, mármoles y dolomías, también en concreto.

- **Denudación.** Erosión superficial de las aguas de escorrentía agravada por tala, quema y azadón; especialmente cuando las pendientes superan los 15 grados. Los terrenos desnudos quedan desprotegidos y a merced de la erosión superficial. Esta erosión tiene tres niveles, el laminar menos severo, el de surcos o intermedio y el de cárcavas o severo.

- **Épocas de avenida.** Por mal uso o mal manejo del suelo, se intensifican las avenidas de las corrientes. Primero se tala el monte, luego se siembra; deteriorado el recurso, el uso siguiente es el pastoreo; y deteriorado por erosión, finalmente entra el suelo al proceso de desertificación. El resultado es el descontrol hídrico y pluviométrico por el cual en el verano los ríos se secan y en el invierno se desbandan.

17.4.6. Formación de aluviones. Cuatro principios físicos explican la formación de los depósitos de corriente o aluviones.

- **Primer principio.** Para granos de la misma forma la acción de una corriente es función de su densidad y del diámetro y volumen de la partícula. Si son esferas menores que 1/10 mm, se asientan siguiendo la ley de Stokes, y si supera las 3/100 de mm, se aplica la ley del impacto. Esto es:

$$\begin{aligned} v &= (2/9) gr^2 (d - d') / C && \text{(Stokes)} \\ v &= (d - d') r^2 && \text{(Stokes)} \\ v &= 2 Kr (dd') && \text{(Impacto)} \end{aligned}$$

Donde v es la velocidad de caída, g la aceleración de la gravedad, r el radio de la partícula, d y d' las densidades de la partícula y el fluido, respectivamente; C es la viscosidad del líquido y K una constante. De ser las partículas de forma y tamaño iguales, se asentarán primero las más densas; pero la clasificación por tamaños y la selección por densidades actúan simultáneamente, no sólo en la vertical sino también a lo largo de planos inclinados.

- **Segundo principio.** Una partícula se desplazará más lejos cuanto más rápida sea la corriente. Al disminuir la velocidad de flujo, se asientan los granos más pesados. Si el flujo es turbulento, tiende a levantar las partículas sólidas. También pueden formarse depósitos donde una corriente rápida desemboca sobre otra más lenta.

- **Tercer principio.** Por el escurrimiento de los granos pesados entre los espacios de los cantos mayores, las concentraciones de materiales pesados tienden a ubicarse en el basamento y en sus rugosidades.

- **Cuarto principio.** El tamaño de los granos suele disminuir desde el fondo hacia la superficie. Dentro del desarrollo del ciclo fluvial de erosión y depositación, la corriente busca el perfil longitudinal de equilibrio. Las variaciones dentro del ciclo, originadas por cambios de clima

o movimientos diastróficos, que afectan el perfil longitudinal de la corriente, pueden explicar superposición de ciclos incompletos de sedimentación y presentar una serie de capas de gravas recubiertas por arenas y limos.

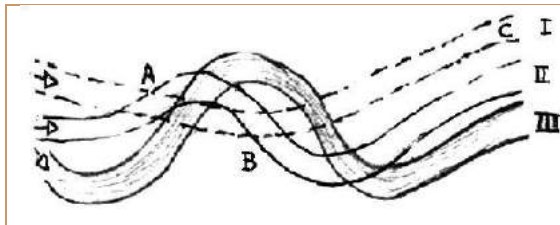


Figura 120. Meandros en cauce sinuoso y corriente rápida. Por migración lateral de la corriente, los depósitos formados en A, B y C, de la etapa I, se extienden lateralmente y corriente abajo durante las etapas II y III. Según Geología Económica de los yacimientos minerales, H. Garcés-González, 1984.

Se denominan movimientos diastróficos a los procesos geológicos que abarcan todos los movimientos Orogénicos y Epirogénicos de la corteza terrestre.

17.4.7. Control torrencial y fluvial. Es importante conocer la capacidad de arrastre de las corrientes, pues tales valores están implícitos en los procesos erosivos de los suelos. Para mover guijarros en las corrientes se requieren velocidades de 30 cm/seg, para el arrastre de arena más de 3 cm/seg, y para limos más de 3 mm/seg.

- Manejo en la ladera. En las laderas es importante disipar la energía de los flujos, conduciendo las aguas tranquilamente a través de estructuras hasta entregarlas a las vaguadas. Para tal efecto se usan canales en las laderas, de conformidad con su inclinación, así: canal de fondo liso, si la pendiente es menor del 15%; canal con pantallas deflectoras para pendientes entre el 15% y el 35% colocadas las pantallas a modo de espolones en tres- bolillo, y canales con columpio y rápidas con tapa para pendientes mayores del 35% y hasta el 100%. Los canales escalonados son útiles en pendientes más fuertes y las paredes con dados pueden contribuir a la disipación de la energía en la contrahuella de estas estructuras.

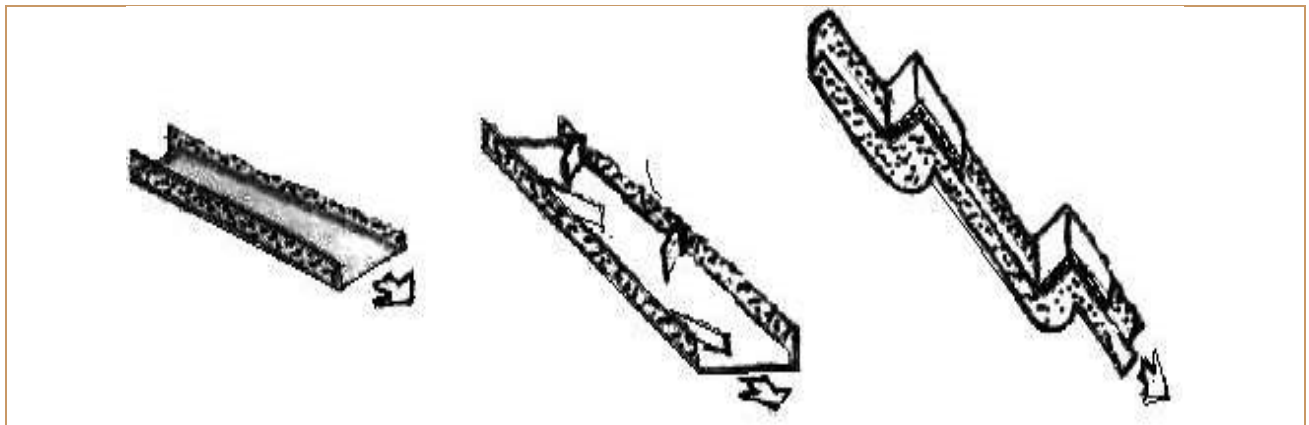


Figura 121. Canales para tratamiento de aguas en laderas: Izquierda, canal liso; Centro, canal con pantallas deflectoras, Derecha, canal con rápida, columpio y tapa. Según Fernando Mejía F., curso de hidráulica, U. Nal.

- En la vaguada. Un cauce puede erosionar la vaguada de dos maneras: si hay erosión de fondo se profundiza el cauce y los taludes ribereños pierden estabilidad; en tal caso se recomiendan estructuras escalonadas a modo de vertederos, que emulando cascadas permitan establecer perfiles de baja pendiente para que el agua los recorra sin velocidad.

Contrariamente, si hay deposición de materiales en el cauce, por sedimentación se eleva el lecho; así la corriente divaga se recuesta en ambas laderas, erosiona sus patas y las hace inestables; en este caso se recomienda centrar la corriente utilizando espolones en tres-bolillo, dispuestos conformes o contrarios a la corriente.

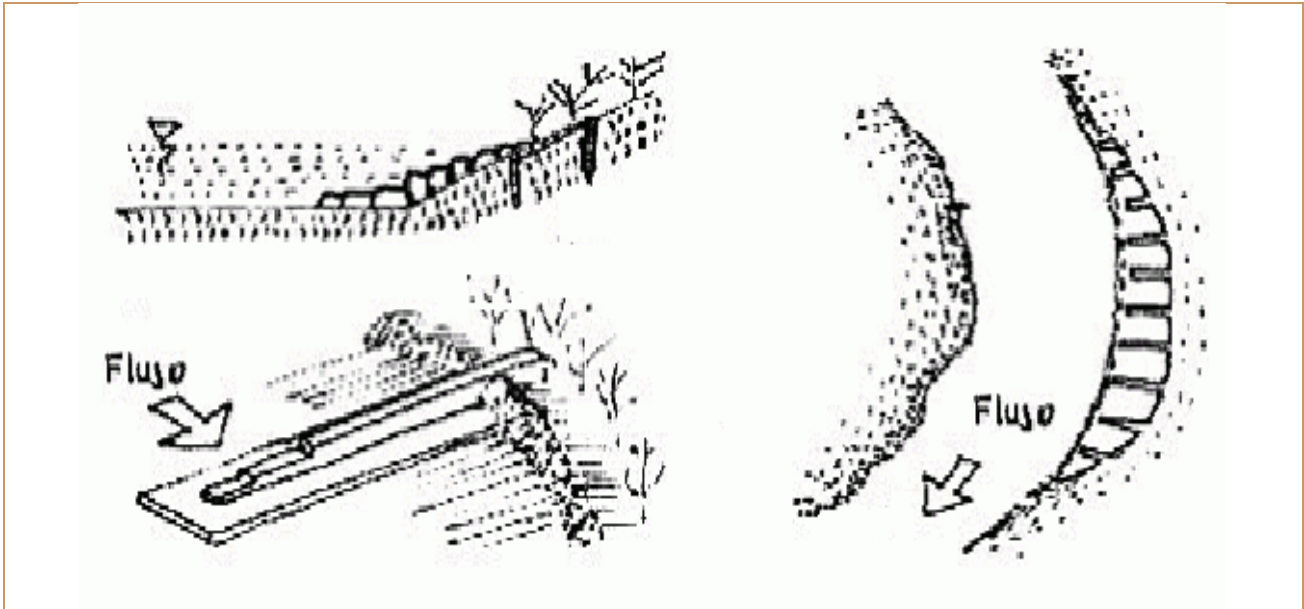


Figura 122. Defensas de las riberas de un río: Para la estabilización del cauce, se construyen espigones (izquierda) en mampostería, concreto u otros materiales, para la defensa de las orillas más erosionadas (derecha). Según F. López. Corrección de Torrentes.

17.5. MORFOLOGIA Y RED DE DRENAJE

La red de drenaje y las formas que se producen están determinadas por la composición y disposición (estructura) de las rocas subyacentes. Los ríos exageran rápidamente cualquier diferencia de dureza de las rocas sobre las que fluyen. Aguas arriba de la corriente en el curso alto las bandas de rocas más resistentes forman cascadas y rápidos cuando los valles se estrechan y si la estratificación es horizontal la topografía estará dominada por colinas de cumbre plana, como ocurre en las vecindades de Honda, Tolima. Pero si están inclinadas las capas la topografía se escarpa y las capas más resistentes forman cuevas de laderas menos abruptas con una inclinación igual al buzamiento de los estratos, mientras que en los afloramientos de rocas más blandas se pueden desarrollar valles de fondo plano según la dirección de las capas.

La red de drenaje puede sufrir cambios menores. Un río determinado puede erosionar el fondo de su valle más rápidamente que su vecino para producir una captura, circunstancia que ocurre cuando en el origen del primer río se dan manantiales de mayor caudal o mayores escorrentías procedentes de las laderas de los valles o se tiene un curso más corto para llegar al mar.

En regiones de rocas suavemente plegadas se puede desarrollar un relieve invertido, en caso de que los valles del río se erosionen en las crestas de los anticlinales y sus sinclinales queden colgados en la parte más elevada. Donde las capas están más plegadas o donde hay rocas ígneas en masas casi verticales se producen cerros escarpados por ambos lados para que los ríos erosionen los cinturones de los estratos más débiles o las líneas de fallas; éste paisaje suele ser visible en la región Supía-Riosucio, Caldas.

17.5.1 Tipos de drenaje o avenamientos. Como las venas de una hoja, los valles fluviales son el medio por el cual el agua se mueve a través de un sistema. El sistema de desagüe se llama cuenca y la separación entre éste y un valle adyacente, interfluvio o divisoria de aguas. Pero los valles individuales forman un sistema de ramificación que, en general, será aproximadamente del mismo tipo que las otras cuencas similares. Así, se pueden encontrar sistemas de corrientes que se escalan en órdenes, siendo los del primero los de aportes más pequeños y los segundos, la combinación de dos de los anteriores. Dos de segundo orden originan un sistema de tercer orden y así consecutivamente. Aunque estas relaciones topológicas tienden a ser constantes otros aspectos de la cuenca de desagüe varían de una cuenca a otra, y así el desarrollo de un sistema de drenaje se constituye en un complicado proceso.

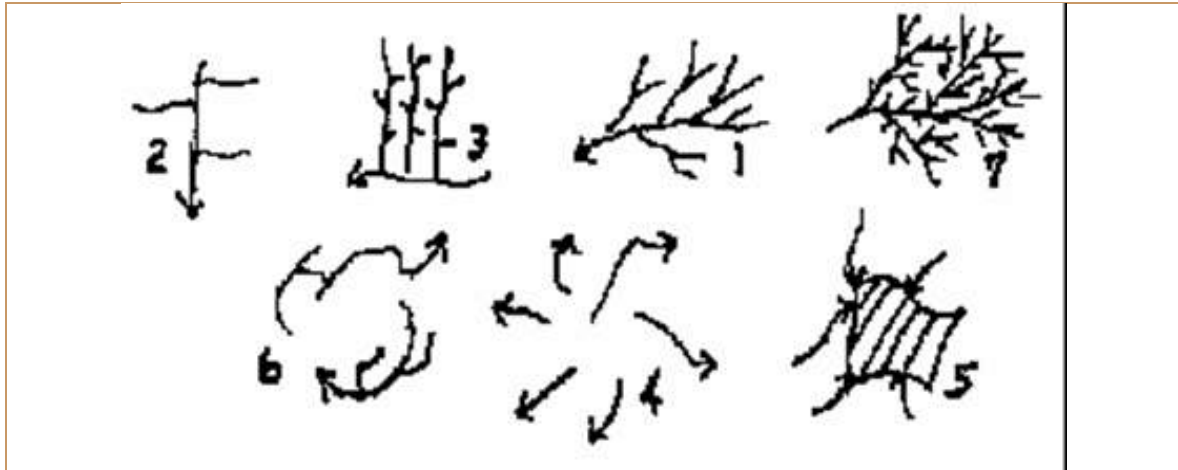


Figura 123. Formas de drenaje: 1. dendrítico, 2. Rectangular o angular, 3. Enrejado o trellis, 4. radial divergente, 5. radial convergente, 6. anular, 7. Arborescente o dendrítico intenso. Adaptado de Engineering Geology, C. Mathewson.

El drenaje se considera entonces así: el avenamiento dendrítico advierte capas no plegadas ni falladas, el arborescente es un caso especial de aquel, que anuncia una roca homogénea muy erosionada; el rectangular se desarrolla sobre rocas cristalinas con un fracturamiento definido; el enrejado advierte que el basamento está plegado, el radial divergente es típico de volcanes e intrusiones erosionadas, el radial convergente es típico de calderas y supone hundimientos de la corteza, el anular anuncia domos salinos e intrusiones ígneas.

17.5.2. Tipos de corrientes. Las corrientes pueden ser consecuentes si su patrón está determinado por la pendiente de las estructuras del basamento; subsecuentes cuando los causes son paralelos al rumbo de los estratos del basamento; obsecuentes si fluyen en dirección opuesta al buzamiento del basamento; antecedentes si mantienen su curso cortando las estructuras geológicas del basamento (fallas y pliegues); insecuentes si el curso no obedece a las estructuras del basamento y al no incursionar en ellas el cauce es inestable; superpuestas las que habiéndose iniciado sobre una cubierta de rocas la erosionan para descender hasta el basamento y hacerse estables.

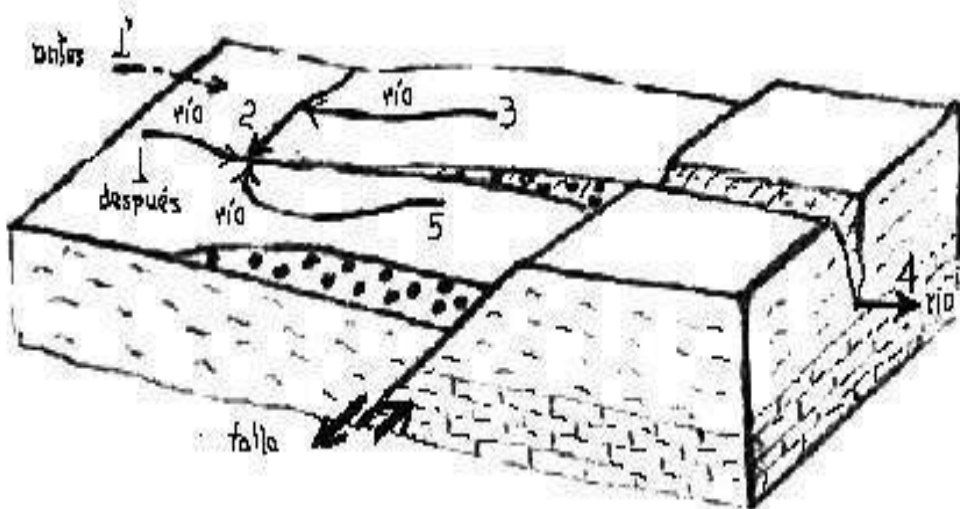


Figura 124. Tipos de corriente: 1. consecuyente, 2. subsecuyente, 3. obsecuyente, 4. antecedente, 5. insecuyente, 1 y 1' superpuestas. En la fig. Una falla ha desplazado los estratos y la corriente 1' ha descendido al nivel de la corriente 1. Adaptado de Diccionario Ilustrado de la Geología, Círculo de Lectores.

17.6. PRINCIPALES RIOS DE COLOMBIA

Los ríos colombianos de la vertiente del Atlántico (363.878 km²), son el Atrato, el Sinú, el Magdalena, el Ranchería o Calanaca y el Catatumbo. En la del Pacífico (88.000 km²) se encuentran el Baudó, el San Juan, el Micay, el Patía y el Mira, entre otros. Los afluentes de la cuenca del Amazonas (345.000 km²) son el Caquetá, el Vaupés y el Putumayo y los afluentes de la cuenca del Orinoco (328.000 km²) son el Arauca, el Meta, el Vichada, el Tomo y el Guaviare.

Estas vertientes generan un caudal medio de 66.440 m³/seg, distribuidos así: 23% en la del Caribe; 10% en la del Pacífico; 34% en la Amazonía y 32% en la Orinoquía; la del Catatumbo sólo drena el 1% al Golfo de Maracaibo.

Río	Cuenca km ²	Longitud Km	Caudal m ³ /s
Caquetá	99.203	1.200	13.180
Guaviare	166.168	1.350	8.200
Magdalena	257.438	1.543	6.987
Meta	103.052	1.000	6.496
Putumayo	53.165	1.350	6.250
Atrato	35.702	612	4.155
Vaupés	37.748	660	2.650
San Juan	15.180	376	2.550
Vichada	22.235	700	2.000
Mira	10.901	550	570

Cuadro C: Cuenkas y caudales de los principales ríos de Colombia. Fuente: <http://www.colombia.com>

- **El río Magdalena.** Es el principal río colombiano, cruza el centro del país y sirve de médula espinal a las comunicaciones de la Nación. Nace en el páramo de Letrero en el Macizo Colombiano y recorre 1538 km. hasta su desembocadura por las llamadas Bocas de Ceniza. Recibe un afluente de gran valía por la cuenca que baña y es el Cauca que riega una de las regiones más ricas de Colombia. La navegación por el Magdalena es viable en naves de poco calado para contenedores, remontando el Salto de Honda tal cual lo hicieron los vapores desde finales del siglo XIX y a principios del siglo XX. No obstante, habrá que resolver dos problemas: la erosión con tasas anuales por km² cuatro veces superiores a la de las cuencas Orinoco-Amazonas, consecuencia de la gran cuenca Cauca-Magdalena deforestada en el 80%, y la pérdida de sistemas de humedales que obligan a entender que canal del río y ciénagas forman un complejo ecosistema.

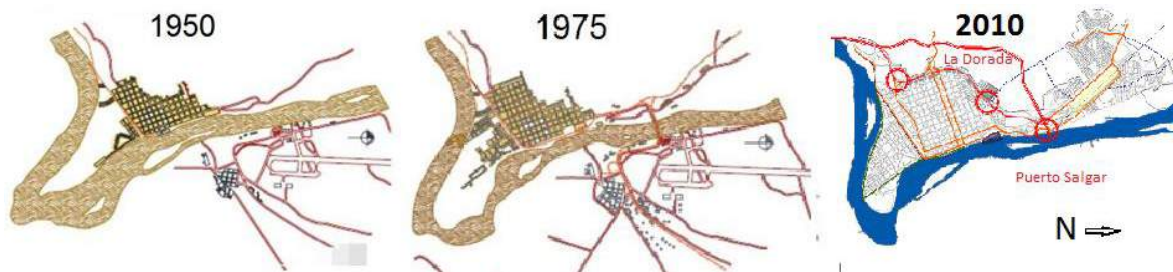


Imagen 95: Cambios morfológicos en 60 años del meandro Conejo en La Dorada. Ladorada.gov.co

La imagen muestra los cambios dramáticos del meandro de la curva Conejo frente al barrio Bucamba, en La Dorada, circunstancia que llevó a considerar a principios del siglo XX el lugar, como "punto cero" de la navegación del río. La navegación por el Magdalena es viable en naves de poco calado para contenedores: hoy cuando se estima factible garantizar 4,5 pies de profundidad en un canal navegable de medio centenar de metros en el tramo Puerto Berrío-La Dorada, se proyecta movilizar por lo menos 11 millones de toneladas por año a lo largo de todo el río, en los próximos años.

Las embarcaciones portacontenedores deberán contemplar, además de frecuentes meandros la velocidad del Magdalena con unos 3 nudos, lo que impone condiciones a sus esloras, radios de curvatura del canal navegable y velocidad de navegación efectiva de los convoyes remontando el río. Desde una perspectiva de transporte verde, además de recuperar la deforestada cuenca del Magdalena,

no se deberá dragar el canal sin comprometer los humedales del gran río y establecer arreglos de remolcadores con planchones que se adapten a los meandros del río.

Habrá que incluir en el tema de la navegación los derechos bioculturales del territorio; esto no solo por la reducción de la pesca al 10% de los niveles que existieron en 1991 cuando se crea Cormagdalena, sino también para ordenar la protección de los corales del Caribe, afectados por los sedimentos aportados por río y el Canal del Dique, ponerle fin a la pérdida de manglares en la Ciénaga Grande por la salinización inducida con la expansión de la frontera agropecuaria, no repetir experiencias como la destrucción de la conectividad biológica en el Cauca asociada a Hidroituango, enmendar la pérdida de bosques secos cuya extensión inicial de 9 millones de hectáreas se ha reducido al 8%, y hacer lo propio con los bosques de niebla cuya extensión inicial de 9 millones de hectáreas deeducido a la cuarta parte según el IAvH.

A modo de paralelo, en la gestión ambiental del Río Grande de la Magdalena, cuando se mira solo el canal navegable para ordenar dragados y no se contempla su relación con el sistema de ciénagas, repitiendo con ello lo ocurrido en las intervenciones del Canal del Dique donde se redujeron las curvas para hacerlo navegable sin importar el mayor caudal y aporte de sedimentos, ni la pérdida de humedales que cumplen una función amortiguadora para las crecientes naturales, se comete el mismo error que explica los deslizamientos en los corredores viales de la región andina, donde se conciben las vías sin entender que más allá de la infraestructura, también los cortes y terraplenes como las laderas intervenidas, forman un frágil ecosistema, reduciendo así el Factor de Seguridad de largo plazo, antes del modelado y de la tala del bosque nativo, que dada la juventud de nuestras montañas, era uno.

- **El Catatumbo.** Con 440 km. de largo es más importante para Venezuela que para Colombia. Nace en la Mesa de Ocaña y desemboca en el Golfo de Maracaibo. - **El Atrato.** Cobra nombre en el proyectado Canal Interoceánico. Este río considerado como el más caudaloso del mundo en proporción a su cuenca y longitud, nace en el cerro Plateado y recorre 700 km. para morir en el Golfo de Urabá formando un delta de varias bocas. - **El San Juan.** Nace en el cerro Caramanta, cruza una de las regiones más ricas en metales preciosos de América del Sur y una de las zonas más húmedas del mundo por la gran pluviosidad. Después de 380 km. en gran parte navegables lleva al Pacífico más de 1000 m³ de agua por segundo, con lo que se mantiene en el mayor caudal de toda la vertiente del Pacífico Sur Americano. - **El Patía.** Nace en el Sotará cerca del Macizo Colombiano, corre inicialmente por un surco intercordillerano que tal vez fue un antiguo lago y después de recibir las aguas del Guáitara que corre en sentido opuesto por el mismo surco, rompe la cordillera para buscar salida al océano a través de una llanura selvática llena de esteros y rica en oro. De sus 400 km. buena parte son navegables. - **El Mirá.** Nace el nudo ecuatoriano de Ibarra y sirve de límite internacional en un corto trayecto. Después de 300 km. este río sumamente navegable llega al Pacífico bañando una zona deshabitada, pero de tierra fértiles. - **El Orinoco.** Con un recorrido de 2900 km., de los cuales 1670 son navegables, nace en la Sierra Parima en los límites con el Brasil. Por su curso y su cuenca es el tercer río de Sur América que corre primero en dirección occidental hasta la frontera colombo-venezolana donde tuerce hacia el norte. En los 420 km. fronterizos recibe el Guaviare de 1350 km. y que debiera considerarse como la verdadera fuente del río por su caudal y longitud, el Vichada de 720 km., el Meta de 1060 km., también fronterizo y el Arauca de 1000 km. casi totalmente navegable como el Meta. De los raudos de Maipures en adelante el Orinoco es perfectamente navegable, se desenvuelve por una llanura de pradera, pasa por Angostura y entra en su zona de delta que es selvática y pantanosa, para desembocar en el Atlántico por un delta de numerosos brazos. - **El río Amazonas.** Es el mayor río del mundo con una longitud de 6275 km. que lo colocan en el segundo puesto después del Nilo, tiene un curso navegable de casi 5000 km. (que incluyen los 115,5 kilómetro del trapecio amazónico), que lo sitúan en el primer lugar de la tierra, sin contar los innumerables afluentes navegables por grandes vapores en mucha parte de su curso. Cuenta con más de 1100 tributarios como el Caquetá de 2200 km. en Colombia. Después de Leticia el ancho medio es de 50 km. y su profundidad media de 50 metros. Debido a lo plano y bajo de las tierras que recorre el río se ensancha en medio de la llanura, formando islas, caños, esteros, a veces mares interiores en los que no se mira la otra orilla y llega a tener oleaje; es en ésta parte en donde el Amazonas recibe los mayores afluentes. A pesar de desembocar por dos enormes brazos en medio de los cuales está la isla de Marajó las aguas del río entran con tanta fuerza en el Atlántico que se siente su flujo 300 km. mar adentro.

17.7. MOHÁN: SIN BOGAS ¿PA' ONDE VA EL RÍO?



Imagen 96: Champanes, vapores y convoyes por el Magdalena, en Credencial, El Planeta y Cormagdalena.

RESUMEN: La recuperación de la navegación por el río Magdalena, se deberá desarrollar en el marco de una gestión integral de la gran cuenca Cauca-Magdalena, en razón a la complejidad de este territorio biodiverso y pluricultural donde habita el 67,7% de los colombianos, y del grado de deforestación de sus cuencas como causa primera de la sedimentación y del descontrol hídrico y pluviométrico, para lo cual urge una adecuación de los instrumentos de política pública acorde a los desafíos del cambio climático, diseñados en el marco de unos objetivos socioambientales que protejan ecosistemas, campesinos y pescadores.

Se ha desarrollado el 23 de septiembre en Honda, el III Foro público: ¿Para dónde va el río Magdalena?, evento preparado por el Foro Nacional Ambiental, el PDP-MC y Fescol, para tratar sobre los riesgos del proyecto de navegabilidad del río y las perspectivas de desarrollo en el Magdalena Centro, toda vez que el tramo Berrío-La Dorada será el principal nodo de transporte fluvial para la Región Andina, el que se accederá por Gamarra y La Dorada en razón a que el Altiplano y el Norte del Valle son los centros de gravedad de generación de carga de ese habitado y mediterráneo territorio.

Para empezar, la hidrovía del Magdalena tiene una capacidad fluvial máxima de 500 millones de toneladas-año, y una demanda cercana a las 12 millones toneladas anuales para diferentes tipos de carga. Hoy, la navegación se da desde Barrancabermeja hasta la costa en una longitud de 630 Km, y más adelante entre Barranca y La Dorada cuando se acometa la adecuación del dinámico río, en el que se pretende establecer un canal navegable y estable de 42 m de ancho, aunque con riesgo de exceder las condiciones naturales del variable curso, consecuencia de soportar el diseño sólo en simulaciones sin llegar a los necesarios modelos.

Se contempla, además de dragados de mantenimiento en 900 km entre La Dorada y Barranquilla, estructuras de encauzamiento en 260 km desde Puerto Salgar hasta Barrancabermeja, para establecer ese canal navegable que tendría inicialmente de 4,5 pies de calado hasta puerto Berrío, y 6 de allí a Barranca. El problema a futuro, lo causaría el dragado adicional para dejar todo en 7 pies, a fin de facilitar el acceso de convoyes con 6 pies de calado hasta el puerto caldense: al extralimitar la capacidad del sistema biofísico, se desconectarían los ecosistemas con severo impacto ecológico y afectación grave para los pescadores.

Para la gestión integral de la gran cuenca Cauca-Magdalena, en razón a la complejidad de este biodiverso y pluricultural territorio que cubre el 23,6% del suelo continental de la patria, donde habita el 67,7% de los colombianos y se genera el 85 % del PIB nacional, urge una adecuación de los instrumentos de política pública acorde a los desafíos del cambio climático, si se quiere una gestión socioambiental que proteja ecosistemas y pescadores, o de lo contrario los desastros darían al traste con la anhelada navegación, al desconocer la naturaleza de un río enfermo y contaminado que descarga 172 millones de toneladas anuales de sedimentos, y no mitigar los eventos extremos esperados del calentamiento global, en este histórico y poblado escenario objeto de un proyecto excluyente y fragmentado, pensado para beneficiar únicamente carbón y petróleo.

Es que definitivamente, recuperar la navegación del Magdalena debería ser una tarea integral que contemple la reforestación de las cuencas tributarias que están en un 40% deforestadas, implementando una intervención para la hidrovía que no comprometa los humedales y ecosistemas del río, y una recuperación incluyente y compatible con los pescadores y ecosistemas del río. Y respecto a los convoyes, para una solución de transporte verde, en lugar de remolcar tres pares de barcas con 7200 ton, se podría elevar la frecuencia y remolcar sólo dos de hasta 3,5 pies de calado llevando 5000 ton hasta Caracolí, adaptando los convoyes al río y no lo contrario al requerirse menores radios de curvatura en el canal navegable, lo que evitaría la desconexión del río con los ecosistemas de humedales y llanuras de inundación. Además, esto redundaría en economías de tiempo remontando el río.

Si la cuantiosa inversión se justifica en la implementación de un sistema intermodal de carga eficiente, deberían contemplarse trenes que lleguen a la hidrovía desde el Altiplano y el Norte del Valle; no obstante, si la carga del río alcanzó a 2 millones de toneladas al año en la década del 2000 donde 1,5 millones fueron hidrocarburos, y si en contenedores Bogotá sólo genera 6 millones de toneladas anuales, habrá que implementar la locomotora del carbón andino exportado al Pacífico, para hacer viable el transporte intermodal con los trenes pasando por la hidrovía, o de lo contrario la ventaja económica de la intermodalidad y la relación costo-beneficio del proyecto estarían comprometidos.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015-09-28]

17.8. DESDE LOS ANDES AL ORINOCO Y AL AMAZONAS



Imagen 97: Cuencas del Orinoco en es.wikipedia.org y del Amazonas en edu.ar, dos territorios que cubren el 46,7 % del continente sudamericano.

Mientras el 80 % de la producción agrícola de EE UU se transporta por el Mississippi, y en Europa de 26 mil kilómetros de rutas fluviales, el 38% son artificiales, la Orinoquia y la Amazonia pese a una red hídrica natural asociada a tan considerable región que comprende el 46,7 % de la superficie sudamericana, esperan ver consolidados dos proyectos vitales para su identidad y desarrollo, y para la integración de América del Sur: primero, la hidrovía Orinoco-Meta que parte del Delta de Amacuro sobre el Atlántico venezolano, pasa por Puerto Carreño y llega a Puerto López en el Meta, para buscar conexión por tierra con el Pacífico en Buenaventura; y segundo, la hidrovía del Amazonas que parte de Belem do Pará en el Atlántico brasilero y cierra en los Andes, alcanzando a Puerto Asís por el río

Putumayo, u otras alternativas aguas arriba de Leticia, como Puerto Francisco de Orellana denominado El Coca (Ecuador) siguiendo el Amazonas – Napo, o Pucallpa (Perú) si se opta por el Amazonas – Ucayali.

Como ciudades del Orinoco, sobresalen Arauca y San Fernando de Apure. La primera con una población de 102 mil habitantes y la venezolana con 165 mil almas, tienen posibilidad de navegación confiable en embarcaciones de hasta 60 pasajeros, o 25 ton de carga equivalentes a un contenedor de 20 pies, integrándose así por el modo fluvial Venezuela y Colombia. Antes del boom petrolero tras el descubrimiento del pozo de Caño Limón, la población de Arauca llegaba a 14 mil habitantes.

Contrariamente, sobre la región central y occidental de la cuenca del Amazonas, en medio de la inmensa jungla los referentes urbanos que han brillado a lo largo de la corta historia de América, son Iquitos con 2 millones de habitantes y Manaus con 430 mil, ambos protagonistas de la Fiebre del Caucho (1880-1914), importante fenómeno histórico, económico y social del extenso territorio amazónico cuyas huellas se advierten, tanto en la arquitectura europeizada de los tesoros patrimoniales de Iquitos, como en las construcciones de Manaus, ciudad considerada a finales del siglo XX la “París de los trópicos” por sus lujosas e imponentes construcciones. Veamos estas hidrovas de importancia para Colombia, fundamentales para la conectividad interna de los 38 millones de habitantes propios, cuya concepción parte de los corredores bioceánicos del IIRSA (Brasilia 2000).

1- La Hidrovia Orinoco-Meta, con su conexión por tierra a la Región Andina, permitiría estructurar un corredor logístico, al integrar el Pacífico Colombiano con el Atlántico en el delta de Amacuro, mediante un eje de transporte combinado, fundamental para la dinámica integradora colombo-venezolana, extendiendo sus brazos al Arauca, Apure, Vichada, Portuguesa, Guaviare y Vaupés. En efecto, el modo fluvial se empalmaría, en primera instancia con la carretera que va por La Línea a Buenaventura de 830 km, y a futuro con un medio férreo de 950 km que reduce fletes hasta la tercera parte respecto al modo carretero, utilizando el tren para ascender al Altiplano (130 km), bajar a La Dorada, continuar al Km 41 mediante el Ferrocarril Cafetero y salir a Buenaventura.

2- Respecto a la Hidrovia Amazonas, complementada con su red hídrica navegable, incorpora a su cadena de valor los puertos brasileros de Manaus, Coari, Tefé e Iquitos en un trayecto de 1221 km, ofreciendo su mayor proyección por Ecuador al articular a Quito a una ruta comercial entre Manta en el Pacífico y Belem sobre el Atlántico, que se recorre en 15 a 20 días. Adicionalmente, la vasta hidrovia se bifurca por el poniente, en la desembocadura del Putumayo en San Antonio do Içá, donde las embarcaciones menores pueden acceder a Puerto Leguízamo y Puerto Asís en Colombia, y luego al remontar el Amazonas aguas arriba de Leticia hasta la desembocadura del río Napo, donde aparece Puerto Coca o Francisco de Orellana. Coca ubicado a 3440 km del Atlántico, es el punto de conexión de la hidrovia con la ruta que viene de Quito y Manta, y también paso obligado para llegar por el mismo río a Iquitos, localizado a mitad de distancia entre Leticia y la confluencia de los ríos Marañoñ y Ucayali, dos grandes cauces peruanos que dan origen al gran Amazonas cuyas aguas son navegables con embarcaciones de 15 pies de calado hasta Iquitos, y de 9 pies en toda su extensión.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015-07-6]

17.9. VIDA Y DESARROLLO PARA EL TERRITORIO DEL ATRATO



Imagen 98: El caudaloso Atrato, tributario del Golfo del Darién: Mercado en Quibdó (Fascinating Humanity); Poblados de la cuenca (Geoactivismo.org), y Topografía del Chocó Biogeográfico (Wikipedia).

En una inédita sentencia el caudaloso Atrato ha sido declarado un sujeto objeto de derechos que el Estado debe proteger. Este río que entre el Cerro Plateado de los Farallones de Citará y el Golfo de Urabá baña una cuenca de 38.500 kilómetros cuadrados, y que recorre 750 kilómetros del Chocó biogeográfico, resultará beneficiado gracias a esta histórica decisión que toma la Corte Constitucional de Colombia, al verificar en el lugar la depredación ambiental del río y de sus afluentes, razón por la cual ordena la protección y recuperación de su territorio, mediante un plan de acción que neutralice y erradique las actividades de la minería ilegal y otras desgracias socioambientales, consecuencia de la guerra, las dragas, la deforestación y la siembra de coca.

Sabemos que las riquezas de esta ecorregión, la zona de mayor biodiversidad del planeta y una de las más lluviosas, bañada por un cauce de 11 metros de profundidad y 282 metros de ancho promedios, y que cuenta con un sistema de ciénagas de 65 mil hectáreas y el Parque Natural Nacional de los Katíos, van más allá del oro, el platino y la madera, toda vez que pasan por la cultura ancestral de las comunidades indígenas de la etnia Embera, y de unos 60 mil habitantes en su mayoría afrodescendientes, que en poblados sin acueducto ni sistemas de saneamiento habitan dicho territorio, un patrimonio que al igual que la estructura ecológica de su cuenca está amenazado por la ausencia y abandono de un Estado, lo que le han dado paso a guerrillas, paramilitares y criminales, quienes han entrado por el cauce, caños y afluentes del río para desestructurar el territorio desplazando pobladores, destruyendo selvas, tierras y humedales, saqueando riquezas y contaminado aguas.

Sobre la historia del Atrato, río antes denominado Grande o Darién, cuenta Joaquín Acosta en "Historia de la Nueva Granada" (1848) que Vasco Núñez de Balboa, dejando atrás a Santa María la Antigua, población que fundara con Martín Fernández de Enciso hacia 1509 sobre la desembocadura de dicho río y que se reasentará en Panamá en 1524, hacia 1511 procede a explorar la culata del golfo y los ríos que desaguan en él, obteniendo a su vez del cacique Comagre información sobre la existencia de otro mar al Sur. En su primera incursión navegando en el único buque que poseía y en diez canoas de un solo tronco de árbol hechas por los indios, penetra el insalubre lugar por una de las bocas del río Grande, encontrando a diez leguas la población que gobernaba el cacique Dabeiba; luego, hace la segunda irrupción alcanzando la primera isla del río que denomina Cañafístola y no lejos de ella un afluente que por el color de sus aguas llamaron Negro, el que puede hoy ser río Sucio; y finalmente, al salir de la cuenca por el poniente, en 1513 descubre el Pacífico.

En la lábil cuenca localizada entre el arco de Sautatá y la serranía del Baudó, de sur a norte discurre el Atrato con su canal navegable de 500 km, cuyos afluentes más destacados son el Riosucio, el Murri, el Arquía y el Truandó, al tiempo que siendo la principal vía de comunicación del Chocó, dado que por ella se conectan 8 puertos y un cúmulo de poblados emplazados en el valle húmedo hasta llegar a su principal puerto Quibdó, un poblado fundado en 1648 a 43 msnm que cuenta ahora con 110 mil habitantes se ha transformado en pequeña una urbe, capital del departamento de Chocó y cuya composición étnica es 87,5% negra, 10,2% mestiza o blanca y 2,3% indígena.

Cabe preguntarnos ahora, si como consecuencia de esta tutela veremos transformar la emblemática arteria fluvial que sólo ha servido para la expoliación de nuestra riqueza, en una vía de progreso que salde la deuda histórica con sus comunidades, porque también en 2014 mediante un fallo de acción popular en favor del río Bogotá, el Tribunal Administrativo de Cundinamarca les requirió a las autoridades ambientales replantear la política de protección del patrimonio natural, ordenándoles prevenir la catástrofe ecológica del río, sus quebradas y afluentes, y emprender una dura tarea que puede tardar una generación hasta lograr la recuperación de tan solo 354 kilómetros de este cuerpo de agua de la sabana. [Ref: La Patria. Manizales, 2017.08.08]

Lecturas complementarias

El territorio como sujeto en el contexto del Magdalena Centro.

El concepto de territorio y su aplicación al Magdalena Centro, fruto la experiencia vivida en diferentes escenarios de Caldas donde se están dando proceso para la solución de los conflictos socioambientales más relevantes: Marmato, Chinchiná, La Dorada, y tres importantes cuencas, entre ellas la del río Guarinó y Charca de Guarinocito, gracias a las enseñanzas aportadas por sus comunidades de base y actores estratégicos comprometidos con el Plan de Acción Inmediata PAI, entre ellos el PDPMC, para transformar las acciones emprendidas durante tres años, en hechos de Paz y de esperanza.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8972/gonzaloduqueescobar.20123.pdf>

Aerocafé en tiempos de pandemia.

Esta obra que ayer se proyectó sobre enormes terraplenes que incorporaban la incertidumbre, al permitir grandes aviones levantando mayor cantidad de carga que en Bogotá y Río Negro, aunque sabemos que puede consolidar un nodo aéreo en medio de las Américas que complementa El Dorado y el José María Córdoba, funcionando como aeropuerto "Low cost" y de Carga pesada en vuelos transoceánicos, lo que a su vez aplacaría el eco turismo para viabilizar el Paisaje Cultural Cafetero, dando respuesta a la necesaria recuperación económica de la Ecorregión Cafetera, debería desarrollarse como APP y no como obra pública. Ver en: <https://www.calameo.com/read/0023044531b4a1404af5b>

Una salida al mar para el occidente colombiano.

El occidente colombiano, región que moviliza el 40% de la carga de Colombia, debe resolver la salida al Caribe por Urabá y no por Cartagena. Se propone, además de la navegación por el Magdalena entre Honda - La Dorada y el Caribe, conectar en Urabá la Autopista del Café con la Troncal del Caribe y avanzar con el Tren de Occidente al mismo lugar. Para sacar y entrar las mercancías de la Región Andina hacia y desde el Caribe, ambos medios resultan más económicos que el modo carretero, ya que los fletes por agua resultarían 40 a 50% más económicos y los ferroviarios 20% a 25% inferiores.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3243/gonzaloduqueescobar.200910.pdf>

Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera.

Caldas, hace parte de un territorio biodiverso, multicultural y mestizo: se trata de la "Tierra del café", cuyos habitantes poseen una cultura donde inciden determinantes de la caucanidad y la antioqueñidad, relacionados con los modos de producción de la minería de la Colonia y con los de la actividad agraria que florece en el Siglo XX. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/74954/gonzaloduqueescobar.201425.pdf>

Anotaciones a las vías de Caldas.

Vías estratégicas para mejorar las condiciones de accesibilidad y conectividad de las subregiones de Caldas, identificadas por diferentes actores sociales del departamento, donde además del escarpado relieve y singular distribución demográfica, la principal barrera orográfica del territorio es la cordillera central, y en menor grado el río Cauca y los principales afluentes del Magdalena. Este ejercicio, parte del presupuesto de que el transporte rural, cumple una misión fundamental con la conectividad y la movilidad como catalizadores de la reducción de la pobreza. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55954/ anotacionesalasviasdecaldas.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Estalactitas, estalacmitas y columnas calcáreas, en una caverna. Corbis.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 18

AGUAS SUBTERRANEAS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

Las aguas subterráneas son las que se encuentran bajo la superficie del terreno o dentro de los poros o fracturas de las rocas, o dentro de las masas de regolito; en zonas húmedas a metros de profundidad, en desiertos a cientos de metros.

Cuadro 23. Origen de las aguas subterráneas

I AGUAS ESTABLECIDAS	Agua de porosidad, infiltración, percolación	Fuentes y capas
a) Aguas ocluidas en los minerales y las rocas	Aguas de fisuras, de cavernas y de abismación	Exsurgencias y resurgencias
b) Aguas de constitución y de cristalización	Aguas de fracturas (Nordenskjöld)	Capas
c) Aguas de hidratación	Aguas fósiles	Capas
	Aguas vadosas o geotermales	Capas o fuentes
	Aguas termales juveniles	
II AGUAS LIBRES	Aguas magmáticas	
a) Aguas de penetración debidas a la circulación superficial o la presión de capas (lagos, mares, etc.)		
b) Aguas de condensación procedentes de las capas superficiales, de las capas profundas o del aire superficial	Aguas de reacción ($2H_2 + O_2$)	
c) Aguas de profundidad	Aguas volcánicas	Vapores o fuentes

Félix Trombe. Las aguas subterráneas, Orbis, 1986

18.1. PROCEDENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Ellas proceden de la precipitación y la condensación, excepto otras como las aguas connatas o fósiles (sedimentarias) y las juveniles (magmáticas).

18.1.1. Aguas de precipitación. Las aguas de precipitación debidas al ciclo del agua, se originan principalmente en la superficie de los mares que poseen 365 millones de km. cúbicos de agua y el 73% de la superficie de la Tierra. Por otro lado el aporte calorífico de la radiación

solar permite convertir en vapor de dos a tres litros de agua por metro cuadrado y por día, por lo que el agua evaporada sobre la Tierra en un día alcanza a 10^{12} m^3 .

Bajo la acción de la radiación solar el agua de mares y continentes se transforma parcialmente en vapor que se eleva en la atmósfera y que posee en el aire una presión parcial que está condicionada, principalmente, por la temperatura de las superficies generadoras. La siguiente gráfica muestra para una temperatura determinada cuantos gramos de agua carga un metro cúbico de aire.

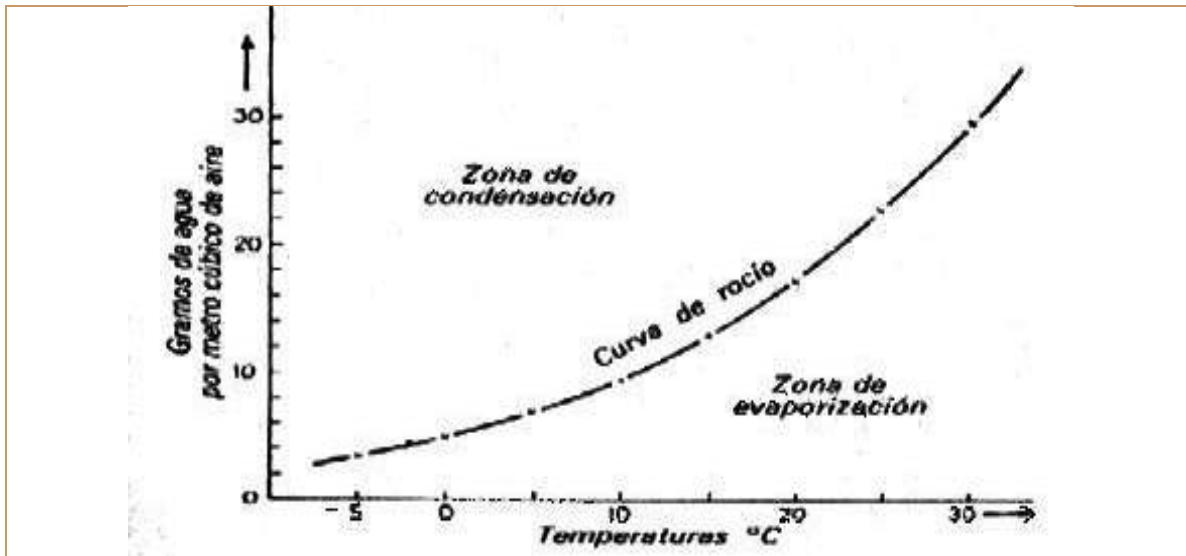


Figura 125. Curva de rocío: cantidad máxima de agua en gramos por metro cúbico de aire, a diferentes temperaturas en grados °C. I zona de condensación, II zona de evaporación. Las Aguas Subterráneas, Félix Trombe.

Se ve en la gráfica como el **punto de rocío** aumenta considerablemente cuando la temperatura se eleva. No es frecuente que se alcance el máximo de vapor de agua para una temperatura dada, en el mismo momento en que se evapora dicha cantidad de agua sobre una superficie líquida. Será solamente a continuación, cuando el aire se habrá enfriado, que se podrá observar la precipitación del agua en forma de lluvia o de nieve.

El aire ascendente se descomprime progresivamente, cayendo la temperatura a causa de la distensión en 1°C por cada 100 metros de ascenso. Resulta de ello que, por esta simple descompresión la temperatura disminuye lo suficiente para que la cantidad de agua contenida en el aire se convierta en excedente. También a veces, las variaciones de presión atmosférica en un lugar determinado provocan precipitaciones sin que varíe la altitud de la masa de aire, cuando no corrientes de aire frío que encuentran corrientes de aire cálido fuertemente cargado de vapor de agua.

- **Lluvias artificiales.** Conviene además para provocar la formación de masas líquidas o sólidas la presencia de núcleos de condensación en la atmósfera. No es raro encontrar a gran altitud nubes sobresaturadas de vapor de agua que, bajo una acción local de condensación, pueden precipitar enormes cantidades de agua o de hielo. Este es el principio de las lluvias artificiales en donde decenas de kilogramos de gas carbónico solidificado aportadas desde un avión dentro de ciertas nubes sobresaturadas son suficientes para obtener una precipitación considerable.

18.1.2 Balance hidrológico de una cuenca fluvial.

Conociendo la superficie de la cuenca entera se mide el índice pluviométrico, el índice de salida de agua y el déficit de salida de agua. El índice pluviométrico, está dado por la altura de agua en milímetros que cae sobre la cuenca en un año. El índice de salida del agua está dado por la altura en milímetros que transportan cada año los ríos y varía con el índice pluviométrico. La diferencia entre estos dos índices es el déficit de salida de agua y corresponde exactamente a la cantidad evaporada (evapotranspiración) y a la cantidad infiltrada en el suelo; éste índice es prácticamente constante pero varía mucho según la región y el clima.

Denominando a la masa de agua evacuada en el transcurso de un año y h el total de lluvia caída en la misma cuenca vertiente, la proporción d/h define el coeficiente de circulación aparente, mientras la diferencia $h-d$ se corresponde con la suma de la evaporación y de la infiltración, cuyas proporciones son difíciles de determinar en una cuenca.

La relación d/h varía mucho y su valor se aproxima a cero para los ríos que se agotan totalmente durante su trayectoria; su valor es 27/1000 para el Nilo, 625/100 para el Ródano y 750/1000 para el Po. Mientras la infiltración, que es la que interesa acá, depende de las condiciones de precipitación (las lluvias finas y prolongadas se infiltran más que las de tempestad), de la naturaleza del terreno (en una red cárstica será total), de la cobertura vegetal del suelo (que favorece la evaporación y la infiltración a expensas de la escorrentía) y de otras circunstancias como ocurre con el agua de fusión de las nieves y de los hielos que se infiltra más cuando la fusión es lenta (invierno) que en verano, cuando los caudales aumentan bajo la acción de una radiación solar intensa.

18.1.3 Las aguas de condensación. Para muchos hidrólogos la condensación del vapor de agua en el interior del suelo desempeña una función poco importante en la formación de las aguas subterráneas, incluso consideran que los rocíos internos no deben intervenir en los caudales. Pero esta participación, la de las aguas de condensación internas y externas presenta características diferentes e importantes según se trate de un terreno abundantemente permeable (calizas fisuradas, por ejemplo) o de un terreno de escasa permeabilidad (arenas) o compuesto de capas porosas impregnadas de arcilla coloidal cuya naturaleza permite la fijación de agua, incluso cuando el aire superficial no alcanza un 100% de humedad.

El aire exterior más o menos cargado de vapor de agua, pero conteniendo a menudo una gran parte de la totalidad del vapor que podría evaporar a una temperatura determinada, cuando penetra el suelo, puede encontrar en verano una temperatura inferior a la que posee en superficie. Si el enfriamiento es suficiente la temperatura alcanzada corresponde a un contenido máximo en vapor de agua por metro cúbico, menor que el del aire, dándose la condensación interna del vapor excedente.

También las nieblas en las regiones húmedas y los rocíos en las regiones secas y cálidas donde las noches son frías, desempeñan un papel en la alimentación en agua de los terrenos superficiales. Cuando los terrenos por su naturaleza permiten a bastante profundidad la circulación del aire, se provoca el aporte de agua interna, generalmente por condensación y no por adsorción. En los macizos fisurados, numerosos metros cúbicos de aire aportan en las zonas superficiales y profundas un agua de condensación que conviene tener en cuenta.

Cuando la permeabilidad de la roca es grande como en los terrenos fisurados de las calizas, se establecen a veces circulaciones de aire profundas de gran intensidad, a causa del gradiente térmico entre orificios interconectados con salidas a diferente altitud. Entre verano e invierno o entre día y noche se invierte el flujo de la corriente de aire, pues la presión motriz en uno u otro sentido está dada por la diferencia de masa para igual sección de las columnas de aire interior y exterior. En invierno el aire de las cavidades será por lo general más cálido y menos denso que el del exterior, dándose un flujo ascendente; en verano será lo contrario.

18.1.4 Otros orígenes de las aguas subterráneas. Después de los dos principales e indiscutibles procesos de formación de las aguas subterráneas que se acaban de señalar conviene señalar algunos otros.

Entre las aguas termales están las aguas juveniles que se habrán formado en profundidad sin haber estado antes en superficie. Estas representan el residuo de la consolidación de los magmas eruptivos próximos a la superficie, cuya exhalación sería una solución hidratada caliente, conteniendo gases a alta presión que contribuirían al rápido ascenso de las aguas.

Se ha calculado que una intrusión magmática potente de 1000 metros, conteniendo en peso un 5% de agua y enfriándose lentamente, producirá durante un período de un millón de años un caudal de 23,8 litros de agua juvenil por minuto y por kilómetro cuadrado de superficie de la tierra.

Las aguas de los pozos Nordenskjöld son aguas de destilación procedentes de las fisuras superficiales de rocas compactas (granitos y gneises) o bien de las profundidades, donde las fisuras superficiales de los pozos Nordenskjöld, alimentadas con agua dulce actúan como condensadores de vapor procedentes ya sea de zonas superiores o bien de zonas inferiores. El agua de mar participaría incluso en la alimentación de los vapores formados desde abajo hacia arriba.

Existen también las aguas llamadas fósiles que se encuentran actualmente en los pozos artesianos del Sahara, en regiones donde prácticamente no llueve, estas aguas, se habrían infiltrado y conservado desde largo tiempo dentro de los sedimentos. Puede también suponerse que su origen fuera debido a fenómenos de condensación vinculados con variaciones de temperatura y con variaciones de presión atmosférica.

Entre las aguas profundas se encuentran las aguas geotermales, cuyo origen no presenta ningún carácter hipotético. Las aguas superficiales que descienden, con la profundidad se recalientan y reascienden rápidamente a favor de accidentes tectónicos. A veces, esas aguas, atravesando a temperaturas relativamente elevada unos terrenos que ellas son susceptibles de atacar, se cargan con diferentes sales; son

las aguas termales que se diferencian de las aguas subterráneas propiamente dichas por unas temperaturas y unas propiedades químicas características.

Los primeros 50 cm del volumen de tierra almacenan más humedad que la almacenada por la atmósfera sobre la misma porción de terreno. Después de las fuertes precipitaciones es posible, de existir bosques, que la cobertura vegetal retenga el agua y le permita al suelo abastecerse. De esta manera por la absorción del terreno, el tiempo de concentración de las aguas lluvias sobre las vaguadas de los ríos, se dilata ostensiblemente.

De existir bosques reguladores de agua, el caudal de los ríos puede ser relativamente constante en invierno y en verano. En Colombia, por la tala acelerada de bosques se han disminuido los volúmenes de agua disponible en los ríos. El río Sabandija, en el norte del Tolima, muestra unos caudales que varían de 2 a 200 m³ por segundo, y el río Barbas en el Risaralda, muestra hoy sus aguas disponibles disminuidas al 30%. Si las corrientes de agua resultan descontroladas es por el estado de las cuencas. Podría advertirse que en tales circunstancias los acuíferos no están siendo alimentados por las aguas de escorrentía, pues no hay superficie vegetal de retención.

No existe agua subterránea a más de 16 km. de profundidad porque allí las rocas fluyen debido a la presión; a 6 Km. es escasa, pues los poros son pequeños y los intersticios no siempre están intercomunicados, razón por la cual no se establece el flujo; a 600 m de profundidad el agua ya resulta susceptible de recuperarse.

Se denomina agua freática el agua subterránea de la capa más cercana a la superficie, lo suficientemente próxima a ésta, para que sea posible hallarla con un pozo ordinario y extraerla manualmente, lo que supone una profundidad máxima de 30 metros.

18.1.5 Propiedades de las aguas subterráneas

- **Temperatura.** Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc.

En las aguas de capas (porosidad primaria) tienen temperaturas que varían mucho con la extensión y penetración de la capa en el suelo.

Si no hay influencia térmica de aguas superficiales, un agua de capa que circule muy lentamente por un estrato impermeable situado a 100 m de profundidad poseerá una temperatura superior en dos o tres grados a otra que se encuentre en un terreno compacto situado solamente a 30 m abajo de la superficie, según la ley del gradiente geotérmico.

En promedio por cada dos grados de latitud que nos alejemos del ecuador la temperatura disminuye 1 °C y por cada 150 m, en altitud, la variación de la temperatura es de 1 °C.

En las aguas de fisuras anchas (calizas y sistemas de porosidad secundaria), por la alta permeabilidad de los sistemas, las aguas perdidas o abismadas imponen rápidamente su temperatura a las paredes de las galerías subterráneas por las que circulan. Saliendo al aire libre por las resurgencias estas aguas siguen por lo general las fluctuaciones térmicas observadas en el nivel de las aguas perdidas.

No ocurre lo mismo en el caso de las emergencias. El agua que circula por la superficie de las calizas penetra en pequeñas cantidades por una infinidad de fisuras cuya función térmica sobre el agua es importante.

- **La radiactividad.** Otra característica es la radiactividad de las aguas subterráneas, fenómeno no exclusivo de las aguas termales. Se agrega que no son tampoco las aguas de origen más profundo las que poseen siempre mayor radiactividad.

- **La conductividad eléctrica.** Es variada según los intercambios químicos y aportes de agua exterior, e informa sobre su riqueza en electrolitos disueltos.

- **La turbidez y transparencia.** Estas propiedades de las aguas de circulación varían en muchas ocasiones con su caudal. Las aguas de capas, contrariamente permanecen transparentes casi siempre por la filtración del sistema. Las de calizas presentan características intermedias entre las aguas de circulación y las de capas, dependiendo de la evolución del terreno calcáreo.

Si el color es, por regla general, muy débil, salvo cuando están cargadas con sales de hierro, el sabor de unas aguas depende de las sales y de los gases en suspensión o solución. Y el olor de las no termales, resulta, por lo general, inodoro cuando son potables o fétido, similar al del hidrógeno sulfurado, cuando proceden de charcas por la descomposición de material orgánico.

- Agua de constitución agua de la estructura mineral.

- **El agua gravitacional.** Se mueve por acción de la gravedad entre los poros e intersticios de los suelos, conformando los acuíferos. Una parte fluyendo en la zona de saturación y otra por encima de ella buscando la zona de saturación. Esta agua explica los manantiales o nacimientos de agua como se verá adelante.

- El nivel freático (NAF)

En la fig. 127 A encontramos las zonas M y N separadas por el nivel de aguas freáticas (NAF); la parte superior M es la zona de aireación y la inferior N es la zona de saturación.

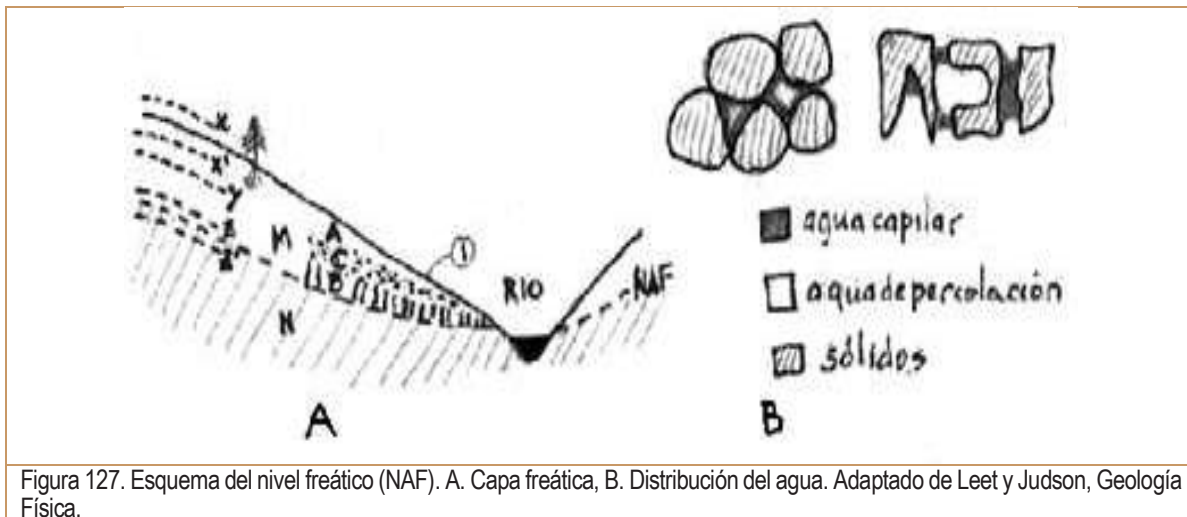


Figura 127. Esquema del nivel freático (NAF). A. Capa freática, B. Distribución del agua. Adaptado de Leet y Judson, Geología Física.

La zona de aireación comprende, del NAF hacia arriba: la zona de fleco capilar B, la zona de goteo C y la llamada faja húmeda A, cuyo límite superior es la superficie del suelo (1), la región xx' es la zona de vegetación (follaje y raíz) y el límite de la zona de evaporación es la línea y que se extiende más abajo de la zona radicular. La zona zz a su vez muestra la variación del nivel de la capa freática.

En el dibujo de la derecha (distribución del agua en detalle) vemos la faja de agua colgada o de goteo; es el agua infiltrada o de precipitación que se filtra por las capas permeables del suelo y alimenta el agua subterránea. Puede quedar como agua retenida por los poros capilares (agua capilar) o descender a través de los poros o vacíos no capilares (agua de percolación).

- **El agua retenida.** Es el agua que queda retenida por encima de la zona de saturación del suelo gracias a fuerzas que se oponen a la acción de la fuerza de la gravedad, como la tensión superficial y la adsorción, y que no puede ser drenada.

El agua absorbida es el agua de la masa de suelo, ligada a la manera de película sólida a las partículas de suelo por fuerzas físico-químicas, que tienen propiedades físicas diferentes a las del agua absorbida a la misma temperatura y presión.

Las moléculas de agua que rodean una partícula coloidal se polarizan, atrayéndose iones H^+ . Así las propiedades físicas del agua cambian: la película de agua próxima a la partícula se comporta como un sólido, el agua un poco más alejada se muestra como un líquido viscoso y finalmente es agua libre.

El agua higroscópica es la que posee el suelo debido a la condensación del vapor de agua de la atmósfera sobre su superficie.

- **El agua de constitución.** Agua de la estructura de los minerales en cantidad muy pequeña que no se puede eliminar secando el material a $110^{\circ}C$. De ahí que las cerámicas hayan de ser fundidas a varios cientos de grados buscando un cambio fundamental no reversible en sus propiedades como la plasticidad.

18.2.2 Tensión superficial y capilaridad. Gran parte del agua retenida lo es por tensión superficial, que se presenta alrededor de los puntos de contacto entre las partículas sólidas o en los poros y conductos capilares del suelo, y que desempeña un papel muy importante en las formas de agua llamadas humedad de contacto y agua capilar.

- **Tensión superficial.** Se llama tensión superficial a la propiedad que poseen las superficies de los líquidos, por la cual parecen estar cubiertos por una delgada membrana elástica en estado de tensión. El fenómeno se debe a las fuerzas de cohesión moleculares que no quedan equilibradas en la inmediata vecindad de la superficie. Por esta vía se explica que una aguja horizontal o una cuchilla de afeitar en la misma posición, floten en el agua.

En los suelos de grano grueso, la mayor parte del agua retenida lo es por tensión superficial, que se presenta alrededor de los puntos de contacto entre las partículas sólidas o en los poros y conductos capilares del suelo.

La cohesión aparente, que pueden presentar taludes de arena que se han mantenido estables, se explica por la humedad de contacto.

Ella la ejerce la pequeña cantidad de agua que puede mantenerse, sin caer, rodeando los puntos de contacto entre los diminutos granos de arena, gracias a fuerzas de adherencia entre el líquido y el sólido y de tensión superficial, que se oponen a la gravedad.

- **Capilaridad.** La cohesión es la atracción entre las moléculas de una misma sustancia, mientras que la adhesión es la atracción entre moléculas de diferentes sustancias.

Si se sumerge un tubo capilar de vidrio en un recipiente con agua, el líquido asciende dentro de él hasta una altura determinada. Si se introduce un segundo tubo de mayor diámetro interior el agua sube menor altura. Es que la superficie del líquido plana en su parte central, toma una forma curva en la vecindad inmediata del contacto con las paredes. Esa curva se denomina menisco y se debe a la acción combinada de la adherencia y de la cohesión. Por la acción capilar los cuerpos sólidos hacen subir y mover por sus poros, hasta cierto límite, el líquido que los moja.

La altura típica que alcanza la elevación capilar para diferentes suelos es: arena gruesa 2 a 5 cm, arena 12 a 35 cm, arena fina 35 a 70 cm, limo 70 a 150 cm, arcilla 200 a 400 cm y más.

- **Meniscos.** Este fenómeno está relacionado con la tensión superficial y la atracción molecular. Si la atracción se efectúa entre moléculas de la misma sustancia, se habla de adherencia de cohesión en una fuerza intramolecular y la adherencia en una fuerza intermolecular. La relación entre ambas fuerzas depende de la forma del menisco y la posibilidad del ascenso capilar de un líquido.

Pero los meniscos pueden tener curvaturas positivas o negativas, e incluso nulas, dependiendo de la relación de fuerzas de atracción Inter- e intramoleculares, es decir, de la relación de fuerzas de adhesión y cohesión respectivamente

Ilustraremos tres meniscos, teniendo en cuenta recipientes, de vidrio y plata, con agua y mercurio como fluidos:



Figura 128. Meniscos. 1. Adhesión > cohesión, 2. Adhesión = cohesión, 3. Cohesión > adhesión. Tomado de Juárez y Rico. Mecánica de Suelos.

18.2.3 Presiones intersticiales. Si se considera un volumen infinitesimal de suelo, por debajo del nivel freático -es decir, en la zona de saturación- el agua que exista en su interior estará soportando una presión debida a su propio peso, igual al producto de su peso unitario por la profundidad del elemento medida desde el nivel freático.

Al mismo tiempo, aunque no exista sobrecarga en la superficie del terreno, a causa del peso propio del suelo existe una presión, la presión intergranular, transmitida de grano a grano en su esqueleto sólido, mientras que la presión soportada por el agua se llama presión intersticial. La presión total que actúa sobre el infinitesimal sumergido será la suma de la presión intergranular y de la intersticial.

Las presiones intersticiales también pueden ser originadas por sobrecargas debidas a construcciones o por fuerzas debidas a vibraciones o sismos.

- **Ecuación de Terzaghi.** A la presión total se le denomina Esfuerzo normal total σ , a la presión intergranular se le denomina Esfuerzo efectivo σ' , y a la presión intersticial se le denomina Presión neutra o de poros.

$$\sigma = \sigma' + u$$

Esta ecuación, donde esfuerzo y presión, sin ser sinónimos en la mecánica, pueden ser intercambiados mientras se refieran a la misma magnitud, dice que, en el caso general, la presión total en un punto determinado puede dividirse en dos: la presión transmitida de grano a grano por el esqueleto mineral desde la superficie hasta el infinitesimal y la presión soportada por el agua intersticial de ese punto.

Sólo las presiones intergranulares pueden producir cambios de volumen en una masa de suelo, o dar origen a resistencia por fricción interna en suelos y unidades de roca, por lo que se les denomina "efectivas", efectos que no puede producir las presiones en el agua presente en los poros por sí mismas, por lo que se les llama presiones neutras o de poros.

18.3. FACTORES DEL MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS

Los factores del movimiento son porosidad, permeabilidad y filtración.

18.3.1 Porosidad. Alude a la cantidad de espacios vacíos dentro de la masa rocosa; la arcilla y la arena son porosas, igualmente una arenisca mal cementada o una roca fracturada o con planos de disolución, porque hay volumen de espacios vacíos en el seno de la roca. La porosidad varía con la dimensión de los huecos y el grado de cohesión de los minerales que lo limitan. Por ejemplo: una masa de arena cuyos lados son esféricos verá variar su porosidad según la colocación de esos granos.

Los poros pueden constituir del 1 al 45% del volumen total de una roca y se mide por la relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen total del cuerpo, en este caso roca. La porosidad no depende del tamaño de los granos si estos son uniformes, pero si de la manera como estén arreglados o empacados y de la variedad de tamaño de los granos o selección. Si los granos son esféricos la porosidad teórica máxima es del 47,6% o de sólo 25,9% con el empaque más compacto.

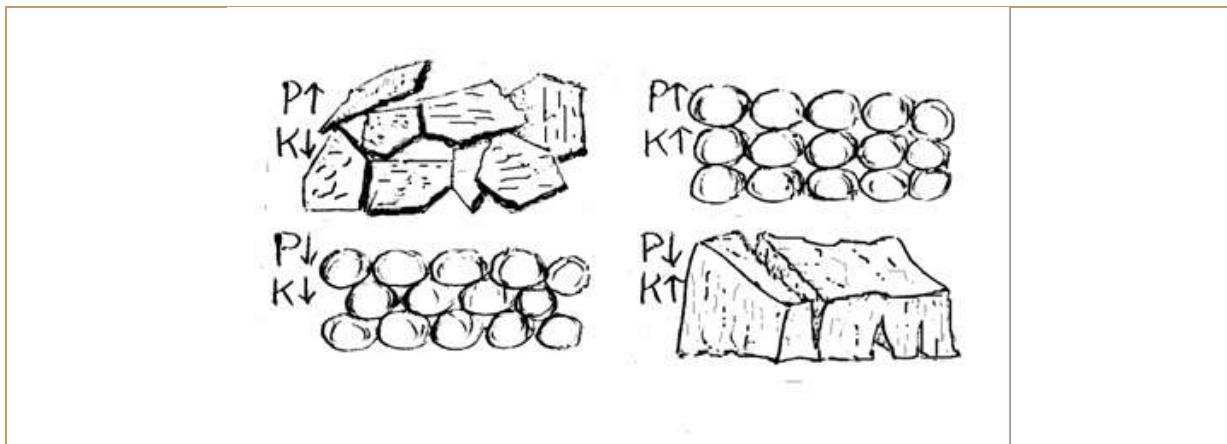


Figura 129. Variaciones en la porosidad (P) y en la permeabilidad (K) de materiales diferentes: arriba, arcilla y arena suelta. Abajo arena densa y roca diaclasada. La calificación es intrínseca para cada material. Adaptado de C. Mathewson, Engineering Geology.

Pero podemos distinguir entre porosidad primaria y porosidad secundaria; la primaria alude a los espacios existentes entre las partículas del material, es decir, los espacios entre los granos; la secundaria alude a los espacios por el fracturamiento o por la presencia de planos de disolución dentro del material. Por ejemplo, la arcilla y la arena tienen porosidad primaria pero un granito fracturado, y una caliza o un mármol, cuyos planos de debilidad han sufrido disolución, tienen porosidad secundaria.

18.3.2 Permeabilidad. La permeabilidad alude a la capacidad que tiene un material de permitir que se establezca el flujo de aguas subterráneas -o cualquier fluido- a través suyo. Ello dependerá de la porosidad y de la conexión entre las aberturas e intersticios, y del tamaño y forma de tales conductos. En otras palabras, la permeabilidad depende no sólo de la porosidad de la roca, sino del tamaño de los poros.

Así resulta asociado el concepto de permeabilidad al de porosidad. Una roca puede ser muy porosa y ser impermeable como la arcilla pues la permeabilidad depende no sólo del tamaño de los poros sino también de la conexión entre ellos. En una lava vesicular por grandes que sean las vesículas si no se interconectan no habrá permeabilidad. La relativa impermeabilidad de los materiales muy fino-granulares se explica por la gran cantidad de superficie expuesta con relación al volumen de poros.

Las vesículas son cavidades formadas por la salida de gases en las lavas. Si la roca está fracturada la permeabilidad se mejora. Las cavidades miarolíticas son pequeñas bolsas que se dan en ciertas rocas ígneas y pegmatitas al quedar libres espacios antes ocupados por fluidos magmáticos.

Las cavidades de solución se asocian a la disolución de rocas solubles por acción de aguas meteóricas. Las diaclasas pueden ser lugares apropiados para la deposición de minerales, ya en ambientes sedimentarios o ígneos, siendo más frecuentes en las primeras y menos en las segundas.

Por ejemplo, si la arena y la arcilla son porosas, sólo la primera es permeable; si las fracturas en un granito no están interconectadas, el flujo no se establece resultando la roca impermeable.

- La arena es porosa y permeable. En la arena los granos son pseudoesféricos resultando los intersticios con sección transversal romboidal. Ello significa mayor eficiencia hidráulica en los conductos, por tener secciones transversales con poco perímetro para cualquier área transversal de flujo, en cada intersticio o en cada línea de flujo. Al tiempo, como los granos de arena son relativamente grandes, en la sección transversal de los intersticios o conductos, el área que ocupa el agua absorbida y el agua de la humedad de contacto no resulta significativa, quedando el área transversal disponible para el libre movimiento del agua subterránea.

- La arcilla es porosa e impermeable. Contrariamente, los granos de arcilla tienen forma de lentejuela, por ello los intersticios ya tienen poca eficiencia hidráulica. Si comparamos dos tubos o conductos con la misma área transversal, tendrá mayor eficiencia hidráulica el que menos resistencia oponga al fluido. Pero, en la arcilla, los granos adicionalmente son muy pequeños, haciendo que la atracción molecular, ejercida por las partículas sólidas sobre el agua, frene el flujo.

- Las rocas porosas y permeables. Son por excelencia aquellas en las que las aguas subterráneas adquieren su verdadero carácter de capa. Las areniscas, las arenas de diferentes naturalezas, presentan ésta forma de permeabilidad. En las rocas verdaderamente permeables podemos distinguir terrenos escasamente permeables como las areniscas y terrenos altamente permeables como las calizas. Los terrenos como la creta y areniscas moderadamente cementadas pueden presentar características intermedias.

- Las rocas porosas e impermeables. Son dúctiles y se caracterizan por una gran finura de sus granos y por una capacidad particular de absorción del agua, como ocurre con las arcillas, silicatos de alúmina hidratados, que son materiales higroscópicos. Las margas y los limos presentan cualidades intermedias entre las de las arcillas y las de las arenas; conservan sin embargo y en general una impermeabilidad a la corriente.

- Las rocas no porosas e impermeables. Son rocas compactas y coherentes, cuyas fisuras resultan rápidamente rellenadas por su propia descomposición. Los granitos no fisurados y los feldespatos se comportan como rocas impermeables, aunque en los granitos y los gneises se pueden acumular importantes cantidades de agua.

Son numerosos los terrenos escasamente permeables, como las arenas de diferente dimensión de granos, cuya naturaleza es muy variable: arenas glauconiosas, dolomíticas, silicosas, etc., las que a menudo son el resultado de la desaparición del cemento calcáreo de una arenisca, por ataque químico del agua carbónica.

18.3.3 Filtración. La filtración varía mucho, según la naturaleza del suelo, la vegetación y la estación.

Un suelo arenoso y desnudo puede absorber del 30 al 60 % del agua lluvia caída. El mismo terreno arenoso recubierto de vegetación, sólo deja filtrar un 10 %, exclusivamente durante el otoño y el invierno. Un suelo calizo con muchas fisuras y desnudo es muy permeable; absorbe directamente el agua de escorrentía y el coeficiente de filtración oscila entre el 33 y el 90 %, con una media del 70 %. Un terreno arcilloso, por el contrario, es impermeable y no deja que el agua filtre.

Además de los poros están las fisuras, diaclasas, huecos, que representan posibilidades de filtración rápida. Las rocas consideradas muy permeables son las calizas. Las rocas que simplemente son porosas y permeables podrán producir mantos de agua subterránea. Las rocas con fisuras y muy permeables podrán dar lugar a corrientes de agua subterráneas.

18.3.4 Clasificación de los espacios vacíos preexistentes en las rocas. Las aberturas o espacios vacíos en las rocas se clasifican por su tamaño o por su origen.

- **Por su tamaño.** Pueden ser supercapilares, capilares y subcapilares.

Los supercapilares son huecos de más de medio milímetro de diámetro o grietas de más de un cuarto de milímetro de ancho. En estos espacios el movimiento del agua obedece a las leyes hidrostáticas.

En los capilares el diámetro varía de 0,002 mm a 0,508 mm. El agua que está afectada por atracción capilar no responde a las leyes hidrostáticas.

El diámetro en los subcapilares es inferior 0,002 mm, espacio en el cual el agua puede entrar pero tendiendo a fijarse a las paredes e impidiendo el flujo.

- **Por el origen.** Los espacios se denominan aberturas primarias o secundarias. Las primarias son las formadas simultáneamente con la roca misma y sus denominaciones son poros, vesículas, planos de estratificación y cavidades miarolíticas. Las aberturas secundarias se forman después de la consolidación de las rocas y las principales son cavidad de solución, grietas de contracción (por enfriamiento, deshidratación, etc.), grietas de diastrófismo (asociadas a fallas, plegamientos y repliegues), y grietas asociadas a fuerzas de cristalización.

18.3.5 La Ley de Darcy. El caudal y velocidad del flujo, según la ley de DARCY dependen de la permeabilidad k del material, expresada en metros lineales sobre segundo o unidades homólogas, y de las propiedades del fluido.

Tomamos la fig. 130 en detalle como modelo. El agua fluye de un tanque alto a otro bajo, atravesando un material de permeabilidad k , por ejemplo, arena, que ocupa el tubo de unión. Sea A el área transversal del tubo, L la longitud del tubo, y H la diferencia de nivel piezométrica o cabeza hidráulica entre los tanques, que es la causa de la filtración por el camino L a través del suelo. La velocidad del flujo v , será:

$$v = K H/L$$

$$v = K i$$

Y el caudal Q es:

$$Q = A v$$

$$Q = A K i$$

En la fórmula, i se denomina gradiente hidráulico y resulta de dividir la cabeza hidráulica H por la longitud del flujo L . Es cantidad adimensional. El coeficiente de permeabilidad k viene a ser el factor de proporcionalidad entre el gradiente hidráulico y la velocidad de descarga del agua.

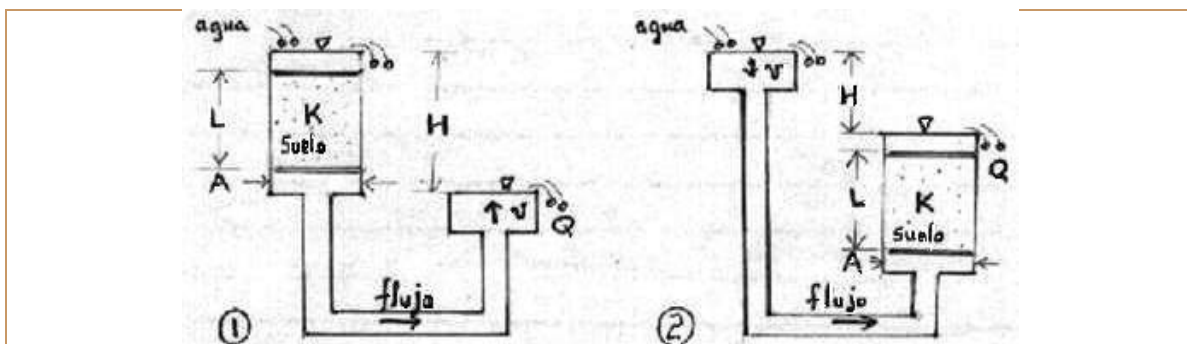


Figura 130. Ley de Darcy para un flujo que se establece a través de un material permeable. En el laboratorio se evalúa la permeabilidad del suelo, utilizando permeámetros. A la izquierda permeámetro con flujo descendente y a la derecha, con flujo ascendente. Según Félix Hernández, curso de flujos en medios porosos, U. Nal.

La ley es aplicable sólo a partículas no muy gruesas, pues exige la condición de flujo laminar.

18.4. MANTOS

El agua filtrada puede aparecer en forma de mantos acuíferos, que pueden ser mantos libres y mantos cautivos. Como roca porosa y poco permeable, la arena es la más idónea y sobre ella el agua tiende a bajar, teóricamente, hasta los 12 Km. de profundidad, donde la temperatura cercana a los 365 °C, es suficiente para que se alcance el punto crítico del agua. Hacia arriba del lado de la superficie, la zona superficial no está generalmente saturada debida a la evaporación.

Sólo a determinada profundidad, variable por cierto, una roca puede estar permanentemente saturada de agua formando así un manto acuífero, y es aquí en donde los pozos encuentran agua y donde se establece el nivel freático de la capa de filtración. Por encima del nivel hidrostático o de la superficie piezométrica de esa capa freática, las aguas circulan sin cesar, y por estar cargadas de oxígeno y ácido carbónico pueden disolver diversas sustancias encontradas en el camino y modificar la composición química de la zona superficial denominada horizonte de alteración.

Hay que observar que la superficie de la capa freática es horizontal en regiones de llanura pero que tiende a seguir las ondulaciones del terreno accidentado, que la profundidad de la capa freática varía con la roca, la vegetación y el clima y que en profundidad está limitada por un nivel impermeable y en ella se puede también encontrar varias capas sucesivas libres o cautivas.

18.4.1 Acuíferos libres y confinados. Son mantos permeables a través de los cuales se ha establecido el flujo de aguas subterráneas. Un acuífero puede ser libre o confinado.

En un manto acuífero se distingue una zona de alimentación directa que permite la filtración de las aguas lluvias, una zona de circulación de las aguas filtradas y una zona de evacuación que permite al manto verterse en otro o simplemente salir al aire libre bajo la forma de manantiales.

El agua subterránea o de fondo llega al subsuelo por infiltración (vadosa) o liberada de magmas pétreos ascendentes (juvenil), para llenar los espacios vacíos de la tierra muella y de la roca viva. Hay capas que conducen el agua de fondo (acuíferas) y otras inferiores que la almacenan (acuífugas, impermeables). La superficie del agua de fondo es el nivel freático, frecuentemente rebajado por la intervención humana.

Buenos acuíferos son los depósitos de arenas y gravas, las capas de arenisca mal cementadas, las masas de granito intensamente fracturadas, los contactos mal sellados entre lavas de diferentes series, y las lentes de calizas con planos de disolución. Y malos acuíferos son los depósitos de arcillas y capas de lutitas, al igual que las rocas metamórficas por elásticas, y las rocas cristalinas sanas como las masas de granito no afectadas por esfuerzos tectónicos.



Figura 131. Acuíferos y nivel piezométrico. A. Capa cautiva con nivel piezométrico (NP) por debajo del suelo impermeable. B. Capa cautiva con nivel piezométrico (NP) arriba de la superficie del suelo. Según Félix Trombe, Las Aguas Subterráneas.

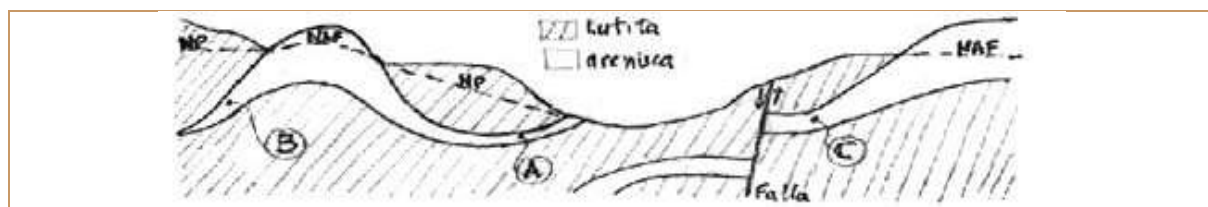


Figura 132. Acuíferos especiales. A. Capa cautiva con salida (fluyente). B. Capa cautiva sin exutorio. C. Capa cautiva por falla. Según Félix Trombe, Las Aguas Subterráneas.

En los acuíferos libres, el agua fluye por gravedad y la línea de gradiente piezométrica coincide con el NAF. En los acuíferos confinados, el agua fluye a presión y la línea de gradiente piezométrica suele estar por encima del NAF.

La velocidad de la corriente de las aguas de fondo varía desde algunos centímetros hasta varios km. por día. La superposición de diversos estratos impermeables, con capas permeables supone la existencia de diversos niveles de agua de fondo. Cuando el agua almacenada en una capa impermeable entra en contacto con agua de una capa superior, se encuentra bajo presión hidrostática. Al ser perforada da lugar a pozos artesianos. Los espacios con agua de fondo en reposo y sin posibilidad de escorrentía se denominan cuencas de agua de fondo.

18.4.2 Manantiales y lagos. A los manantiales, vulgarmente se les conoce como nacimientos de agua; ellos son solamente el afloramiento del nivel freático a la superficie.

Cuando el nivel freático, de aguas relativamente quietas, queda por encima del terreno natural, se forman lagos y lagunas. Cuando uno y otro tienen aproximadamente la misma elevación se forman las ciénagas.

El NAF tiene su propia dinámica dependiendo si es época de invierno o verano, de ahí que los manantiales también puedan cambiar de posición y los lagos de nivel en estas temporadas.

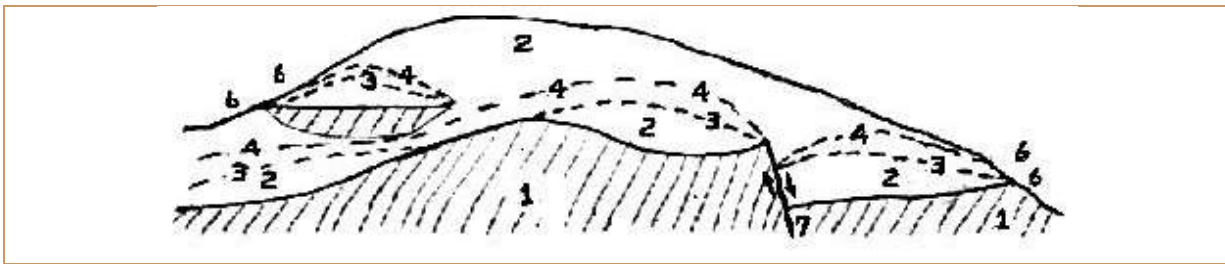


Figura 133. Esquema del NAF en un macizo. 1. Lutita impermeable, 2. Arenisca permeable, 3. NAF de verano, 4. NAF de invierno, 5. NAF colgado, 6. Manantial, 7. Falla. Adaptado de Leet y Judson, Geología Física.

Vemos en la fig. 133 de la izquierda una lutita impermeable como basamento de una arenisca saturada, con su respectivo NAF; adicionalmente, entre la arenisca, aparece una lente de lutita que explica un nivel freático colgado. En la fig. 133 de la derecha vemos una falla afectando el basamento impermeable y el aspecto de la capa freática a causa de la discontinuidad.

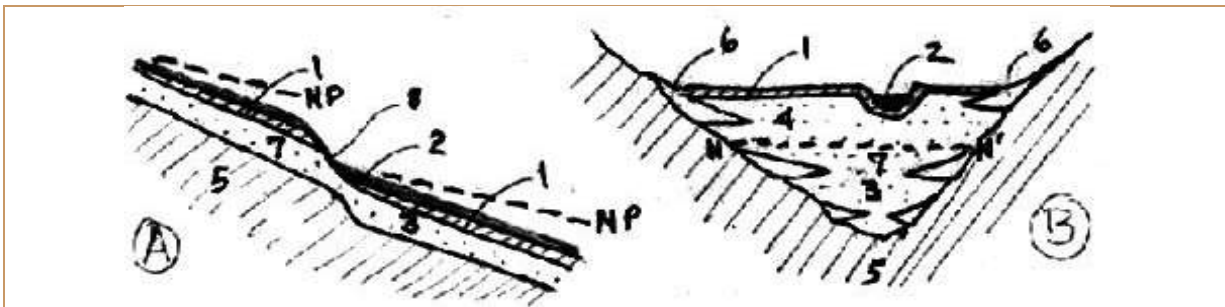


Figura 134. Corriente subterránea de un torrente. A. Perfil longitudinal, B. Perfil transversal. 1. nivel impermeable (capa sello), 2. Curso fluvial, NN' capa libre de nivel variable o cautiva, 3. Aluvión saturado (capa cautiva), 4. Aluvión seco (capa cautiva), 5. Basamento, 6. Derrumbamientos permeables que dan acceso hacia la corriente subterránea a las aguas que circulan por la ladera, 7. Río subterráneo (a veces bajo presión), 8. Encuentro de la corriente superficial y la subterránea. Según Félix Trombe, Las Aguas Subterráneas.

Algunos ríos construyen sobre los aluviones verdaderos mantos impermeables de material fino, en extensiones considerables. Aguas abajo la capa subterránea volverá a reunirse con el cauce principal; puede darse la emergencia turbulenta de la corriente subterránea o también el que la corriente subterránea profunda sustraiga a embalses y remansos una parte considerable de su caudal superficial.

18.4.3 Pozos. Un pozo es una perforación o excavación cuasivertical o vertical, que corta la zona de agua freática. Un pozo artesiano se da donde el agua captada a profundidad se encuentra a una presión hidráulica suficiente para obligarla a subir hasta rebasar la superficie del terreno.

- **Extracción en acuíferos libres.** Se muestra en la fig. 135 un acuífero libre sobre una arenisca mal cementada (con los NAF de invierno y verano).

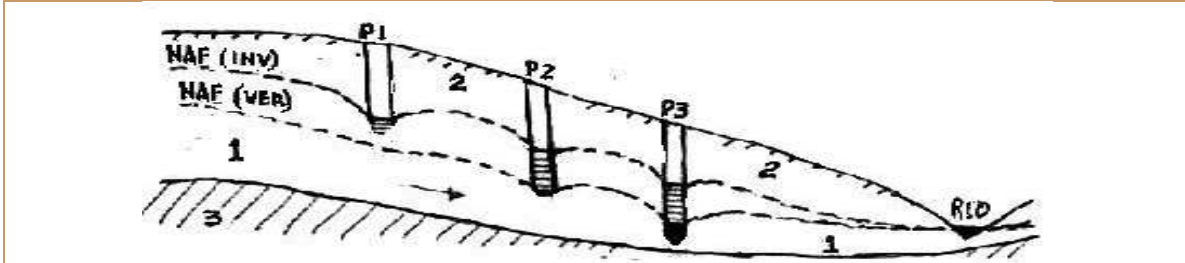


Figura 135. Pozos en acuífero libre: 1. arenisca saturada, 2. arenisca seca, 3. basamento de lutita impermeable. P1, P2 y P3 pozos que penetran de manera diferente la zona en donde se puede establecer el NAF, dependiendo de la temporada de lluvias. Obsérvense los conos de depresión de los niveles freáticos, ocasionados por la extracción de agua. Según Leet y Judson, Geología Física.

En este caso fig. 135, el pozo 1 sólo producirá en invierno, cuando el NAF ascienda y posiblemente su vida útil sea corta; el pozo 2 aparentemente lo hará en invierno y difícilmente en verano, pues la extracción de invierno dependerá de la operación del pozo en verano, ya que la extracción de fluido en la temporada seca puede generar turbulencias que hagan impermeable el suelo vecino a la zona de alimentación del pozo, y el pozo 3 es el único que está correctamente instalado, porque la granada de extracción se aleja del cono de depresión que se forma sobre la superficie saturada, durante la extracción de agua.

- **Extracción en acuíferos confinados.** Se muestra en la fig. 136 un acuífero confinado, conformado por una lente de arenisca mal cementada, que se intercala sobre un basamento y bajo una capa sello, ambas unidades de lutita.

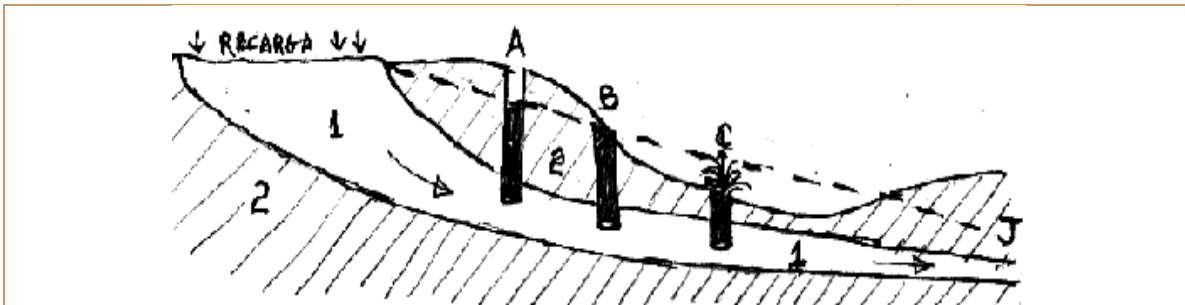


Figura 136. Pozo en acuífero confinado: 1. arenisca, 2. lutita, A., B. y C. pozos (el C es artesiano) J. nivel piezométrico (no coincide con el NAF que está en el techo de la capa 1). Según Leet y Judson, Geología Física.

En el segundo caso, el del acuífero confinado, el pozo A está mal instalado porque el agua no vierte a la superficie, en el pozo B el agua llega justo a la superficie del terreno, la que se cruza con la superficie de gradiente piezométrica, y en el pozo C se tiene el pozo artesiano, donde brota el agua con una presión equivalente a la diferencia de alturas entre el terreno y la superficie de gradiente piezométrica (J).

Si en algún momento la velocidad del flujo es 0, la superficie piezométrica J, en el acuífero se vuelve horizontal; pero como hay flujo subterráneo se dan pérdidas de energía por fricción del flujo y ello hace que la superficie piezométrica J se incline perdiendo altura en la dirección del flujo, conforme pierde energía el sistema.

18.4.4 Otros mantos. Se pueden considerar acá mantos de agua fósil y mantos flotantes.

- **Mantos de agua fósil.** Se trata de mantos cautivos aunque tengan una zona de alimentación en afloramiento. Son depósitos que contienen aguas filtradas hace miles o decenas de miles de años, en los que no circularía agua de no provocarse cierto movimiento por la extracción

a través de pozos. Estas estructuras no se deben explotar o que exigen mucha prudencia, por tratarse de un capital renovable cuando carecen de alimentación anual. Generalmente poseen determinada riqueza en sales minerales y no pueden ser explotados durante mucho tiempo.

- **Mantos flotantes.** Se trata de agua dulce sobre agua salada; es un caso particular que se observa muy a menudo al borde del mar sobre todo cuando existe un cordón de dunas. El agua de lluvia se filtra en parte en las arenas para constituir un manto de agua libre que literalmente flota sobre el agua salada más pesada, después de filtrarse en el borde del mar. Algunas de estas aguas son nocivas e inutilizables, tanto para la bebida como para la industria, otras, por el contrario, tienen virtudes curativas y se emplean para bebida y baños.

18.5. PAISAJE KARSTICO

La palabra Karst (o carst) alude a suelo rocoso estéril. Estos paisajes son muy notables por sus formas diferentes y espectaculares, se desarrollan en grandes rocas solubles (calizas, dolomías, mármoles), en las que la acción disolvente del agua tiene un papel fundamental en la evolución del paisaje. Las calizas ideales para los Karst se producen cuando las calizas son abundantes, están bien unidas y son impermeables, permitiendo el desarrollo de una permeabilidad secundaria; cuando el relieve es alto, para permitir un rápido desagüe vertical, y cuando la pluviosidad es alta, para proporcionar agua abundante que actúe como disolvente. No todas las calizas dan origen a un relieve kárstico. Las calizas están formadas de carbonato cálcico, que es sólo muy ligeramente soluble en agua pura; pero cuando el agua contiene dióxido de carbono, como sucede con el agua de lluvia, el carbonato cálcico se convierte en bicarbonato cálcico, que de ser soluble la reacción es reversible; la pérdida de dióxido de carbono trae la reprecipitación de carbonato cálcico.

El dióxido de carbono disuelto en agua es, por lo tanto, el agente más importante en la disolución de las calizas: se obtiene tanto de la atmósfera como de fuentes biológicas. Los accidentes por disolución de la superficie son comunes en todos los paisajes cársticos y deben ser previstos por los ingenieros constructores. Estos paisajes tienen escalonamientos, arroyuelos y fosos excavados en la roca de hasta 2 o 3 metros de longitud llamados karren o lapiaz.

La solución penetra en la roca por las diaclasas y las grietas acelerándose bajo el suelo y la vegetación. En las intersecciones de las fracturas la solución forma cavidades en forma de túneles que se autopropetúan al formar fosas para las aguas pluviales creciendo hasta 100 metros de profundidad y 300 metros de diámetro. En el lugar en que las corrientes desaparecen por las fracturas verticales pueden formarse profundos abismos o túneles conocidos como potholes. Los manantiales kársticos están entre los mayores del mundo y se presentan en dos tipos principales: uno en los que el agua surge mediante un flujo libre, y otro en los que el agua surge de manera forzada o artesiana.

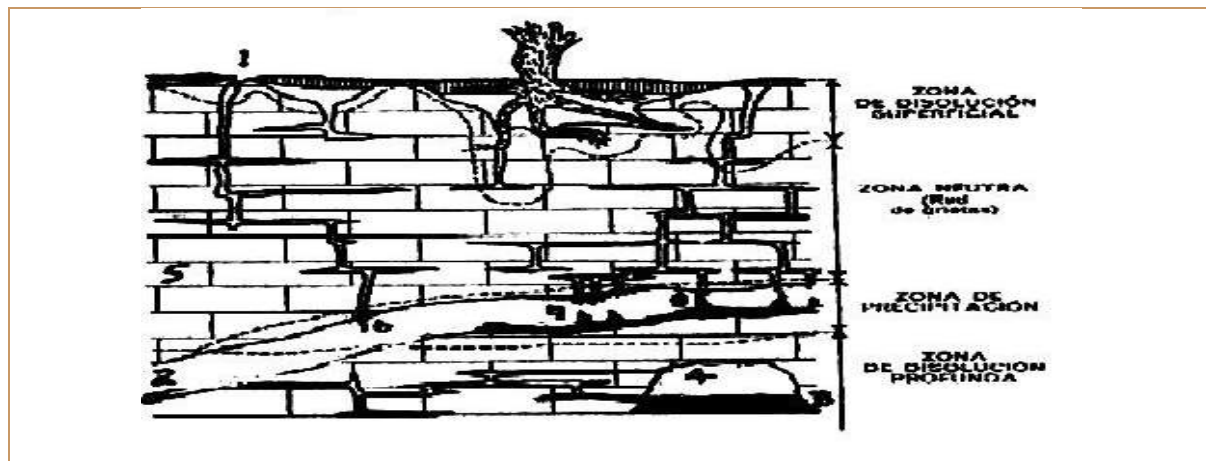


Figura 137. Paisaje Kárstico. Se señalan las zonas geoquímicas en el subsuelo del Karso; además, los elementos del paisaje: 1. Sumidero (dolina), 2. Túnel, 3. Río subterráneo, 4. Caverna, 5. Discontinuidades, 6. Estalactita, 7. Estalagmita, 8. Columna. Tomado y adaptado de Philippe Renault, La Formación de las Cavernas.

El agua de escorrentía aprovecha el sumidero (dolina) y llega al túnel (río subterráneo), enriquecida de CO_2 , convierte el carbonato cálcico de la roca (gracias al ácido carbónico) en bicarbonato soluble; pero del túnel a la caverna continua la filtración; en la última al contacto con el aire se libera el CO_2 , el agua se evapora y queda como residuo carbonato insoluble petrificado en forma de concreciones.

En el techo conforme las gotas se evaporan se va formando la estalactita y de las gotas que caen al piso la estalagmita; cuando ambas construcciones se juntan se forma la columna.

- **Espeleología.** Al haberse ensanchado las fisuras y las diaclasas de los paisajes calizos, los arroyuelos subterráneos descienden hasta 20, 30 o 50 metros bajo tierra, donde se vuelven a agrupar para formar una verdadera corriente de agua que discurre en una galería de suficiente tamaño para permitirle el paso a un hombre.

También se constituyen sistemas subterráneos complicados que deben ser accedidos para reconocer la red hidrológica, cuya salida al aire libre en el valle generalmente se conoce. Habrá de determinarse el perímetro de alimentación de los ríos subterráneos en los paisajes cársticos.

Además de determinar la relación entre desaparición y reaparición de un río, de buscar para una salida de aguas determinada una exsurgencia y las zonas subterráneas de formación de las corrientes de agua tributarias, el espeleólogo examina los datos geológicos, mide las temperaturas, el pH, el sentido de la circulación del aire, los sedimentos, etc. y sobre todo define los límites de la cuenca real empleando indicadores o trazadores coloreados o radiactivos.

- **Procesos de fosilización.** Estos son procesos de cementación y reemplazamiento, se trata de hierro y sílice en solución, traídos por las aguas subterráneas de las zonas de saturación e intemperismo; otro cementante común es el bicarbonato cálcico en solución traído por aguas que transitan por calizas, mármoles y dolomías, los cementantes llegan hasta depósitos no consolidados en forma de material disuelto útil para la litificación de aquellos.

Más sin embargo, la fosilización se da cuando cementantes como los descritos en forma gradual reemplazan a otros materiales de naturaleza orgánica a medida que estos se degradan, como ocurre con maderas en depósito caso en el cual esta se sustituye por un material pétreo e inorgánico llamado por su apariencia "madera petrificada" sin que sea esto, pues la madera primitiva sólo ha servido de molde y es el material cementante fósil quien ha reproducido la estructura leñosa original que ya se conserva en cuarzo, etc.

18.6. NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

RESUMEN: Según el Consejo Mundial del Agua (2017), a nivel global el 63% de las ciudades está en riesgo de suministro de agua. Mientras en grandes regiones del planeta el agua utilizada proviene del subsuelo, en Colombia, donde el 31% del agua dulce está contenida en acuíferos y la Ley ha tenido que legislar para proteger los páramos, hace falta garantizar el carácter patrimonial y de bien público del agua subterránea.

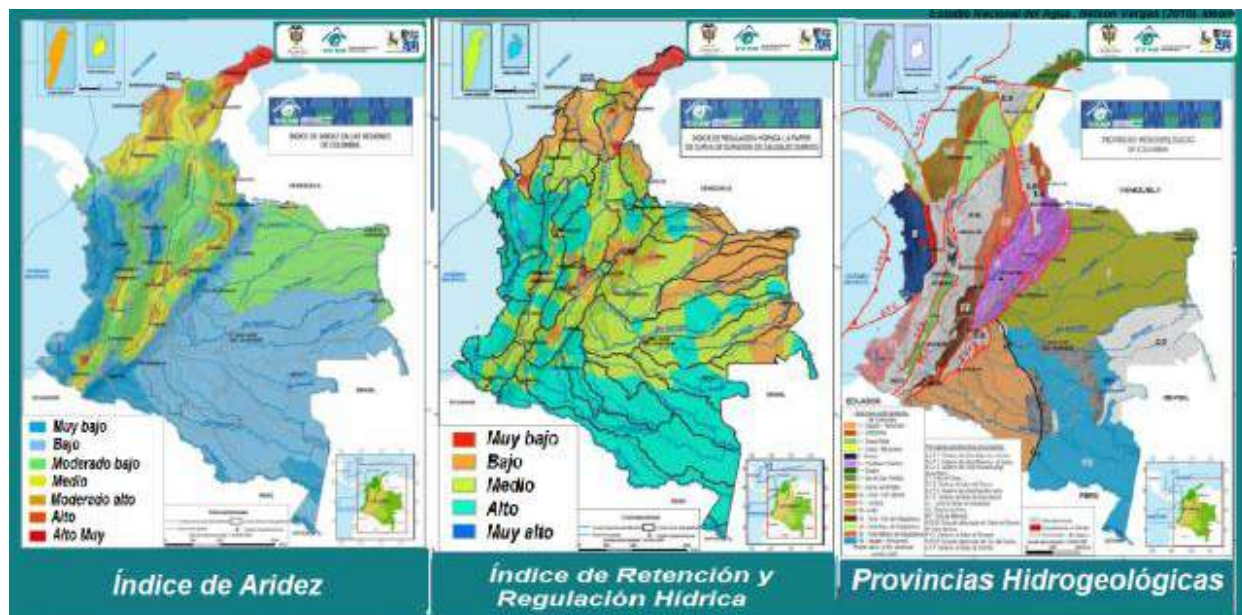


Imagen 99: Mapas de aridez, regulación hídrica y zonificación hidrológica de Colombia. Estudio Nacional del Agua. ENA. IDEAM 2010.

Mientras en grandes regiones como Australia y EE.UU. el 60% del agua utilizada proviene del subsuelo, en Colombia, donde el 31% del agua dulce está contenida en acuíferos y la Ley ha tenido que legislar para proteger los páramos, hace falta garantizar el carácter patrimonial y de bien público del agua subterránea. Si en el país lo técnico-administrativo está al día, falta para su gestión la dimensión

socioambiental, lo que incluye problemáticas como la severa deforestación, la contaminación por efluentes mineros y lixiviados, el uso sin restricciones y la falta de incentivos para su preservación.

Aunque en el país las cuencas hidrogeológicas con posibilidades de aprovechamiento abarcan el 74% del territorio, según el estudio "Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia" del IDEAM (2005), mientras el 56% de dicha área corresponde a la Orinoquía, Amazonía y Costa Pacífica, y el 31,5% a la región Caribe e Insular, sólo el 12,5% está en la Región Andina, que es la más densamente poblada: al respecto, el citado documento advierte cómo por la Depresión Momposina pasa el agua de este 23% del territorio nacional, contaminada con efluentes de 30 millones de colombianos y 80 toneladas anuales de mercurio provenientes de 1200 minas de oro de aluvión.

Las cuencas hidrogeológicas más utilizadas, según el IDEAM, son las de los valles del Cauca, Magdalena Medio y Superior y la Cordillera Oriental; siguen en importancia, las de los golfos de Urabá y de Morrosquillo y de los departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira. No obstante, habrá que trazar estrategias a largo plazo, para prevenir desórdenes ambientales mayores que los del agua superficial, e incluso daños irreversibles en las aguas subterráneas. Posiblemente en la Sabana, tras el advenimiento de la floricultura, se están explotando los acuíferos, a tasas superiores a su reposición, situación que se agrava por: la eutrofización de sus lagunas, precaria precipitación del altiplano, vulnerabilidad a la erosión severa de sus suelos y bajos rendimientos medios de agua en sus cuencas altas.

En Caldas, sabemos que en el cañón del Cauca donde se sufre el impacto por escasez de agua, Corpocaldas traza estrategias con participación de actores sociales para mitigar el riesgo severo de sequías por baja precipitación, avanza en acuerdos con las CAR de los departamentos vecinos que comparten nuestras cuencas para lograr su necesario ordenamiento, y pretende en el oriente caldense donde el patrimonio hídrico es abundante, velar por el manejo sostenible de los proyectos hidroenergéticos para que operen con responsabilidad social y ambiental, no como enclaves económicos.

En el Eje Cafetero, para trazar las políticas públicas relativas a la conservación, uso y manejo del patrimonio hídrico subterráneo, y para enfrentar la amenaza del cambio climático y la vulnerabilidad sísmica e hidrogeológica, deberá implementarse un programa de investigación y desarrollo integral y a nivel de detalle en el tema del agua, de carácter interinstitucional e interdepartamental con la concurrencia de las Gobernaciones, las CAR, la academia, Ingeominas y el MAVDT; las fortalezas institucionales, planes de ordenamiento y manejo ambiental de cuencas, niveles de información de base existente, entre otros elementos, facilitaría el programa. Habrá que reconocer y caracterizar las unidades hidrogeológicas, mediante geología directa de campo, prospección geofísica y perforaciones exploratorias; hacer una evaluación hidrodinámica de los acuíferos y flujos de aguas subterránea, desde las zonas de recarga hasta los reservorios y de allí a los manantiales, además de conocer las condiciones hidrológicas del territorio, lo que significa dimensionar el ciclo hidrológico y entrar a corregir los conflictos severos entre uso y aptitud del suelo, relacionados con el estado de nuestras cuencas abatidas por el descontrol hídrico y pluviométrico, consecuencia de la deforestación y potrerización del territorio.

Según CORPOCALDAS, de una extensión de 744 mil Ha, en 2010, las coberturas verdes del departamento eran: 300 mil Ha en pastos y rastrojos (40%), 265 mil Ha en cultivos (36%) y 163 mil Ha en bosques (22%), tres cuantías que cubren el 98% de nuestro escarpado y deforestado territorio. Igualmente, según estudios emprendidos por nuestra CAR, en cuanto al sistema subterráneo sobresalen las zonas de recarga de páramo y bosques de la alta cordillera, el extenso valle magdalenense, además del oriente caldense donde la copiosa precipitación explica un patrimonio hídrico excedentario que debería llevar bienestar a estos pobladores y comunidades de pescadores.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016.02.15]

18.7. BOSQUES EN LA CULTURA DEL AGUA



Imagen 100. Colombia se hunde. UN Periodico (2011)

RESUMEN: *Por la falta de bosques como sistemas de adaptación al cambio climático, que entre otros beneficios ecológicos y ambientales aportan la regulación de escorrentías, alimentación de acuíferos y descarga de las nubes, estamos propiciando el descontrol hídrico y pluviométrico, viviendo cada temporada invernal con el agua al cuello, y presenciando desastres y más desastres que asolan zonas urbanas con sus riadas y deslizamientos, anegan fértiles valles y erosionan tierras cordilleranas.*

Tras haber caído el telón de La Niña 2010/2011 con legiones de damnificados y cuantiosas pérdidas en los medios urbanos y rurales, debe advertirse la urgencia de una reconstrucción que empiece por ordenar las cuencas. La Niña, esta vez significativamente superior a la media y por lo tanto una de las más intensas de las últimas décadas, como fenómeno que hace con El Niño un ciclo de comportamiento errático, regresará para hacer más húmedas las temporadas secas y de lluvias del singular clima bimodal de la región tropical andina colombiana.

Y tras evaluar y proyectar grosso modo las elocuentes lecciones de las consecuencias de torrenciales aguaceros que han batido registros históricos en frecuencia e intensidad, de no apurar la adaptación ambiental de la que habla el ambientalista colombiano Gustavo Wilches Chaux en “La construcción colectiva de una cultura del agua”, preocupa lo que se vivirá en las siguientes temporadas invernales cuando de nuevo arree La Niña, de conformidad con lo ocurrido en este lustro y las dramáticas consecuencias de múltiples y variados eventos hidro-meteorológicos, que entregan para la historia de Colombia las aterradoras imágenes de inundaciones de poblados enteros en la Mojana y la Sabana de Bogotá, de los estragos de flujos de lodo como en Útica y del corrimiento de tierra que se llevó a Gramalote, a modo de inequívocas señales de que somos altamente vulnerables al desastre del calentamiento global.

Y para la ecorregión cafetera, las inundaciones en La Dorada y La Virginia, la pérdida de las bancas de las vías principales para las transversales de Manizales y Armenia y de la red terciaria de las zonas rurales del Eje Cafetero, o la grave problemática de la cuenca de la Quebrada Manizales, tres hechos que tienen en común la falta de una adaptación a la amenaza del calentamiento global, donde se reclama la declaratoria de zonas de interés ambiental en sectores críticos de los corredores viales y un ordenamiento de cuencas que le apunte a la planificación agrícola, al manejo de nuestras represas hidroeléctricas, al aseguramiento de fuentes hídricas, al debido uso del agua, y a la ocupación no conflictiva del territorio en lugares susceptibles a sequías, inundaciones y movimientos en masa.

Entonces, para mitigar la vulnerabilidad del hábitat frente a las torrenciales lluvias invernales, en principio debemos aceptar que dicha fragilidad está asociada a las condiciones que favorecen el descontrol hídrico y pluviométrico resultante de la tala de bosques, dada su doble función como reguladores de las precipitaciones y de los caudales; lo primero al descargar las nubes gracias a la condensación del vapor de agua, y lo segundo al retener la humedad resultante de las precipitaciones. De esta segunda función se nutren las aguas subterráneas y por lo tanto los acuíferos y manantiales, lo que reduce las escorrentías a tal punto que el caudal de los ríos puede ser casi el mismo en invierno que en verano. Y de la primera función, al tener bosques se moderará la intensidad de las lluvias al igual que su distribución a lo largo del año: quien penetra al bosque andino puede advertir en el ambiente húmedo de los musgos y en el fresco del follaje, la condensación del vapor de agua extraída de las masas de aire que trae la brisa diurna a transitar por ese ámbito. Pero si hemos deforestado las montañas, desde la cuenca baja cercana a los valles interandinos hasta la cumbre, no habrá posibilidad de condensación alguna, y por lo tanto se cargarán más las nubes en su tránsito hacia la cordillera, pudiendo a su paso generar precipitaciones a la altura de nuestras ciudades de montaña, chubascos que caerán a modo de aguaceros diluviales.

En conclusión, para comprender mejor el impacto de haber destruido humedales, talado bosques y ocupado rondas de ríos y quebradas, y entender mejor la necesidad de reponer el bosque como fundamento para la estabilidad del medio biofísico, socioeconómico y cultural de nuestro entorno rural y urbano, habrá que aceptar la crítica situación causada por el efecto del “pavimento verde” asociado a la grave potrerización de nuestras montañas, y también la problemática de los “pavimentos grises” constituidos por nuestros mayores centros urbanos, cuyas escorrentías no están reguladas dado su sistema de alcantarillado directo carente de estructuras hidráulicas de almacenamiento y efecto regulador llevando de inmediato las aguas lluvias a las quebradas periurbanas, y abreviando como en el caso de las montañas desnudas los tiempos de concentración de las aguas para elevar sustancialmente los caudales, e incrementar con ellos la erosión hídrica y detonar flujos y deslizamientos en las zonas de pendiente, e inundaciones sobre valles y sabanas.

18.8. EL MODELO DE OCUPACIÓN URBANO – TERRITORIAL DE MANIZALES



Imagen 101: Manizales: cabecera en el año 1916. L.J. Giraldo y J.A. Cardona. Escuela de arquitectura U. N. de Colombia, en: <https://godues.wordpress.com/>

Resumen: Urge un nuevo modelo de desarrollo urbano y de ocupación del territorio para Manizales; primero, para corregir un uso conflictivo del suelo y expansionista del territorio, que al favorecer la especulación con la plusvalía urbana y concentrar la inversión en infraestructura social y productiva, además del deterioro ambiental causa la fragmentación espacial y social de la ciudad; y segundo, porque a la luz de la planificación moderna, pensado en ciudades innovadoras y competitivas, no se contempla a fondo la integración urbana para generar sinergias territoriales y complementar la economía en el marco de la Ciudad Región, como estrategia para prevenir el ocaso de estas ciudades intermedias del Eje Cafetero, fruto de la creciente competencia metropolitana sobre el Eje Cali – Medellín.

En el marco de los objetivos socioambientales y económicos de un desarrollo urbano sostenible, Manizales debe tomar en consideración los elementos naturales y paisajísticos del territorio, y la estructura vial y de servicios públicos determinando el perímetro urbano y las áreas de expansión de la ciudad, sin exceder el alcance de aquellos. Pero el reto del Ordenamiento del Territorio es lograr la coherencia de la plataforma físico –espacial, al integrar las políticas sectoriales en los distintos niveles territoriales entre sí, con un desarrollo equilibrado que consulte el interés general.

El POT elaborado por la autoridad municipal de Manizales, como una ciudad intermedia con 394 mil habitantes de los cuales 28 mil son rurales, además de sus tres componentes básicos: el general, el urbano y el rural, de las áreas de reserva y protección ambiental, de conservación de los recursos naturales, y de defensa del paisaje y del patrimonio histórico, cultural y arquitectónico de la ciudad, debió incluir los objetivos y estrategias territoriales de largo y mediano plazo y el contenido estructural, no sólo del sistemas de comunicación entre el área urbana y rural, sino también para la conectividad regional.

Para garantizar su sustentabilidad, el modelo de ocupación de Manizales, debe apuntale a dos objetivos: en lo interno, a fortalecer las políticas de redensificación y renovación urbana, previniendo los procesos de expulsión de los habitantes más pobres hacia la periferia, haciendo menos viable el transporte público colectivo; y en lo externo, a la conurbación del territorio empezando por su área metropolitana para luego conformar la ciudad región con Pereira, buscando generar sinergias territoriales y económicas en lugar de competir entre sí para no palidecer frente a las crecientes dinámicas metropolitanas de Cali y Medellín.

Respecto a la expansión de la ciudad, el crecimiento de la zona urbana avanzando sobre Villamaría, La Aurora, La Linda y Monte León, con tasas que superan el crecimiento demográfico, permiten advertir no sólo que Manizales se ha expandido más allá de sus necesidades, sino también que se está incorporando suelo de transición para facilitar unas dinámicas territoriales en favor de un mercado que especula con la plusvalía urbana, al promover asentamientos que demandan grandes inversiones públicas en nueva infraestructura para la conectividad motorizada y de servicios básicos para los nuevos asentamientos, destruyendo así la posibilidad de construir un medio ambiente urbano más humano, más amable y más verde.

Lo anterior, dado que el modelo de ocupación del territorio ha favorecido la proliferación de guetos urbanos en la periferia de la ciudad, a costa del desarrollo ambiental económico y social de Manizales, unos constituidos por unidades residenciales cerradas para la clase pudiente, en los que se aísla y protege, y otros en zonas periurbanas potencialmente inestables, donde la pobreza e inequidad en materia de infraestructura y acceso a servicios sociales y culturales, deterioran y degradan las condiciones de vida y alimentan los factores que perturban la seguridad en el sistema urbano.

No podemos persistir en el actual modelo de ciudad insolidaria, excluyente y sin opciones de vida para los pobres, que debilita el papel del Estado al limitar la movilidad urbana y el acceso a los servicios de la ciudad, modelo en el que a la fragmentación espacial y social que privilegia el asistencialismo y clientelismo, concentra la inversión en infraestructura social y productiva, incrementa las tensiones, rompe el tejido social, pauperiza el medio urbano y ubica a los menos favorecidos entre las fronteras de la ilegalidad y la delincuencia. Y en cuanto a la conurbación con Pereira, si la primera acción consiste en articular las áreas metropolitanas de ambas capitales cafeteras, el paso previo necesario para la trascendental decisión en materia de planificación, consiste en estructurar la subregión Centro-Sur, abordando temas estratégicos para sus comarcas y las formas de organización posibles. Los temas sustantivos para resolver dicha integración, son el agua, las cuencas, la movilidad, los servicios públicos, la inversión en infraestructura social y productiva, y la vocación de los entes territoriales, la gestión integral del riesgo y el manejo responsable del medio ambiente.

Dado lo anterior, para conformar la ciudad región, conforme las dinámicas del territorio han conurbado el territorio, un tema vital para el POT a la luz de la planificación moderna, pensado en ciudades innovadoras y competitivas, debe ser el fortalecimiento de la relación entre movilidad y economía, implementando un sistema integrado de transporte entre las áreas metropolitanas de ambas ciudades y creando acuerdos económicos, para consolidar un mercado de un millón de habitantes, 51% pertenecientes al área metropolitana de Pereira y 39% al de Manizales.

Para la ciudad región juegan a favor la variante Tesalia que desviará el tráfico pesado por el lado de San José de Risaralda, la presencia de poblados intermedios como Chinchiná, Santa Rosa de Cabal, Marsella y Palestina, y dos aeropuertos que se complementan: Aerocafé con posibilidades de vuelos interoceánicos para acceder al Asia, Europa y Oceanía haciendo viable el Paisaje Cultural Cafetero, y Matecaña con una alta frecuencia de vuelos diurnos y nocturnos que no tiene Manizales.

Mientras la urgencia de las megalópolis es volverse internamente competitivas y manejar problemas de escala, y la de los poblados menores articularse a un centro urbano de mayor nivel de importancia desarrollando una competencia específica, la de las ciudades intermedias como Pereira y Manizales debe ser conurbarse para conformar una ciudad región integrando sus economías. Dicha integración obliga para dos ciudades intermedias del mismo tamaño como estas, a esa clase de decisiones en lugar de competir, para no palidecer al estar ubicadas a menos de una hora de distancia entre sí, y posteriormente a menos de tres de Cali y de Medellín. Manizales, 12 de Agosto de 2015.

18.9- EL DESASTRE DEL RÍO MIRA.

RESUMEMN: Un llamado a la solidaridad y a la previsión por el desastre en la costa pacífica de Nariño: por el desbordamiento del cauce el río Mira: hubo daños severos en Barbacoas y Telembí, fueron devastados caseríos ribereños de los que han desaparecido unos 26 moradores, resultaron anegadas unas 20 mil hectáreas de cultivo y destruidos caminos, acueductos y redes eléctricas; además, hoy se estiman en 11 mil los damnificados en solo Tumaco, la zona más afectada con el fatídico evento del 16 de febrero de 2009 ocurrido en el sur de Colombia.



Imagen 102: <http://www.diariodelsur.com.co/febrero/19/>

Existiendo daños severos en Barbacoas y Telembí, habiendo quedado devastados los caseríos ribereños y desaparecido unos 26 moradores, además de anegadas unas 20 mil hectáreas de cultivo y destruidos caminos, acueductos y redes eléctricas, por el desbordamiento del cauce del río Mira, Tumaco en Nariño es la zona más afectada con el fatídico evento del 16 de febrero de 2009 en la costa pacífica del sur de Colombia: tras borrar veredas, aguas abajo el río desbordado por la crecida corriente, inunda la población y sus veredas para obligar la salida de 11 mil habitantes de este municipio, quienes deben buscar albergue en los centros educativos de la localidad y de paso afectar sus actividades académicas regulares. En Tumaco, se ha suspendido el fluido eléctrico en al menos veinte veredas, destruido más de medio millar de viviendas, por lo que el número de familias damnificadas supera las 6000 (Portafolio 26-02-2009).

Aún más: el columnista Jaime Arocha de El Espectador en su artículo titulado “El del río Mira, ¿desastre natural?” (26-02-2009) cita una fuente que señala “las veredas que visitamos ya no existen; algunas de las personas que usted conoció murieron y otras se encuentran seriamente heridas.”, y advierte sobre las severas acciones antrópicas que han venido transformando la cuenca, relacionadas con minería para la extracción de agregados de construcción y en especial con selva destruida para cultivos limpios destinados a palma de aceite, una nueva actividad productiva que acertadamente asocia el columnista al sistema económico causante de la hecatombe.

Ahora: si bien la recuperación de la costa de Nariño afectada por este desbordamiento podría tardarse un par de años gracias a la declaratoria de Tumaco como zona de desastre, efectuada el 24 de febrero por el Gobierno Nacional, y si además pasada la fase de emergencia inmediata se podrá dar oportunamente con ella inicio a la acción humanitaria en beneficio de la población damnificada ávida de servicios públicos esenciales, y luego proceder con la remoción de escombros y recuperación de la infraestructura educativa, de salud y vial, queda pendiente otro asunto de naturaleza estructural y por lo tanto de largo plazo pero extremada urgencia: la recuperación de la cuenca del río Mira en términos sostenibles.

Esperamos que la comunidad nariñense, con la decisión de todo el país priorice este proyecto y aborde de inmediato un plan de intervención en la cuenca del río Mira con las acciones prioritarias ambientales y socioeconómicas, enfocado a resolver la problemática estructural de este casi olvidado territorio de la patria. Aún más: que este plan se extienda gradualmente a los escenarios de los ríos Telembí, Nulpe y Mataje, incluyendo para ellos los Planes de Ordenamiento Ambiental. Y para hacerlo, una opción de acompañamiento puede surgir desde la Universidad Nacional de Colombia, institución que tras señalar a Tumaco como una zona estratégica del Pacífico colombiano, tiene previsto hacer presencia mediante una sede con la cual contribuirá en formación académica, procesos de investigación y actividades de extensión.

Manizales, Febrero 26 de 2009.

18.10. PATRIMONIO HÍDRICO: CARENCIAS EN LA ABUNDANCIA.

RESUMEN: Colombia a pesar de poseer el 5% del patrimonio hídrico mundial, de sus 1122 municipios, cuenta con 391 cabeceras incluidas 9 capitales que presentan alta susceptibilidad al desabastecimiento en temporadas secas de El Niño, el 70% de ellas en la cuenca Magdalena-Cauca y el 22% en la región Caribe. A este panorama se añade que, como consecuencia del calentamiento global y la deforestación, mientras en los años secos la oferta hídrica ya se ha reducido el 38%, en las épocas invernales de La Niña el país sufre las consecuencias de graves inundaciones, que dejan cerca de 2 millones de damnificados por temporada

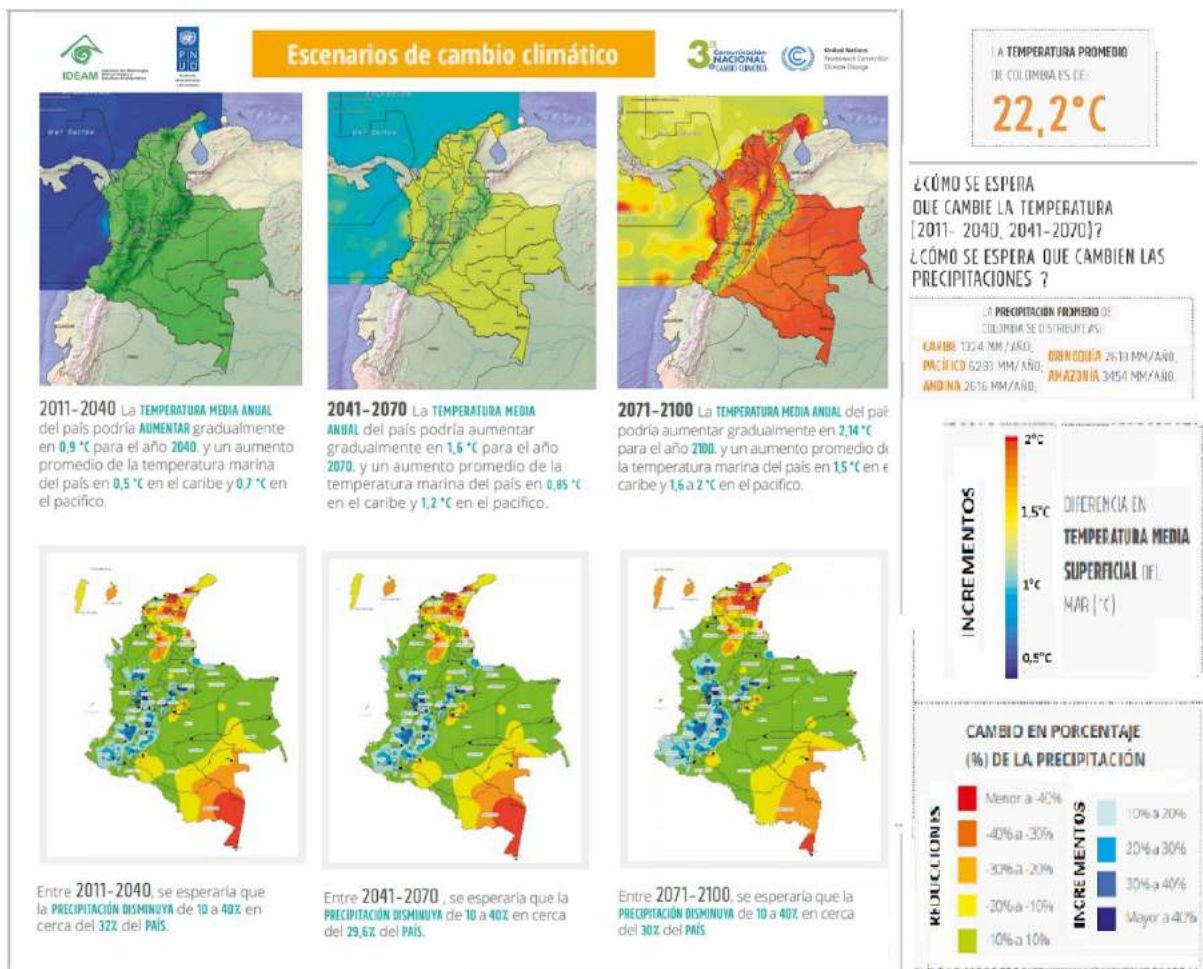


Imagen 103: Escenarios de cambio climático 2071-2100, para Colombia. IDEAM

Se ha celebrado el pasado 22 de marzo “el día mundial del agua” centrando la atención en la calidad y cantidad de este vital recurso, que pese a los enormes avances de las últimas décadas hacia un cambio histórico en materia de cobertura, 750 millones de personas aún carecen de agua potable en sus hogares, y Colombia con el 5% del patrimonio hídrico mundial y un rendimiento hídrico que supera seis veces el promedio mundial y tres veces el de Latinoamérica, solamente trata de manera adecuada el 11% de los vertimientos que genera el país, y según el DANE aún requiere extender la cobertura del servicio de acueducto que no llega a 3,6 millones de personas y de alcantarillado para cubrir a 5,6 millones de colombianos que no lo tienen.

Mientras en nuestro departamento se daba la protesta social por los incrementos exagerados en las tarifas de agua impuestos a los usuarios de Empocaldas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico como entidad del orden nacional, al tiempo que la Corte Constitucional reitera mediante jurisprudencia que es obligación del Estado garantizar la prestación del servicio de agua potable, también se instalaba el primer esquema de pilas públicas en Maicao como parte de un mejoramiento del servicio de agua y alcantarillado para la Guajira, y se anunciaba una reducción del 9% de la deforestación en la Región Andina.

Si en 2010 las Naciones Unidas reconocieron “el derecho al agua potable”, dicho derecho que no quedó consagrado en nuestra Constitución Política, así los Artículos 334, 336, y 365, a 370 se ocupen del tema, aparece fragmentado en la legislación: por ejemplo en la Ley 142 de 1994 sobre servicios públicos domiciliario cuando prioriza el agua potable y el saneamiento básico entre las necesidades básicas que deben satisfacerse, o cuando la Ley 60 de 1993 fija las competencias de los municipios y obliga al uso de los recursos de la Nación que trata el Artículo 357 de la Constitución, en inversión para proveer servicios de agua potable y saneamiento básico y otorgar subsidios a sectores sociales vulnerables.

Hechas las anteriores consideraciones, máxime ahora cuando el cambio climático se anuncia con una reducción del 22% de nuestros glaciares durante la última década, veamos el tema del agua en Colombia, donde según el Estudio Nacional del Agua -ENA 2018-, tenemos grandes desafíos ya que por conocimiento insuficiente el 71% de los acuíferos no pueden aprovecharse, 391 cabeceras incluidas 9 capitales del país y 11 municipios de Caldas presentan alta susceptibilidad al desabastecimiento en temporadas secas de El Niño, el 70% de ellas en la cuenca Magdalena-Cauca y el 22% en la región Caribe.

Al valorar la oferta hídrica superficial del país en un año medio según dicho estudio, mientras el 77,4% del volumen se concentra en las regiones Pacífico, de la Amazonia Pacífico y de la Orinoquia que son las más despobladas, el 13,5% le corresponde a la región

Magdalena-Cauca y el 9,1% a la del Caribe que concentran el 80% de la población del país. Y en cuanto a la demanda de agua, donde el 15 % proviene de las aguas subterráneas, el sector agrícola representa el 33% del total y el hidroenergético el 12,8%. Y en cuanto a la contaminación, la carga orgánica biodegradable (DBO5) vertida a los sistemas hídricos que en 2012 se estimó en 2.102 t/día, en su mayoría provino del sector doméstico (69%) seguido del industrial (28%), el 80% fue aportada por 55 municipios; y de la carga total vertida de demanda química de oxígeno (DQO) estimada en 4.654 t/día de sustancias provenientes en su mayoría del sector doméstico (61%) e industrial (37%), el 85% se generó en 53 municipios.

Finalmente, en cuanto a sedimentos los departamentos con mayor potencial a la erosión hídrica, son: Antioquia, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Caldas, Risaralda, Quindío, Chocó, Tolima, Cauca y Nariño. Cada año en Colombia son transportados en promedio cerca de 300 millones de toneladas, siendo el río Magdalena el mayor aportante; esto dado que de la superficie continental del país, el 40% presenta algún grado de erosión, el 3% erosión muy severa a severa, el 17% erosión moderada y el 20% erosión ligera, según el IDEAM.

* [Ref.: La Patria- Manizales, 2019.03.25]

Lecturas complementarias

Capilaridad. Propiedades hidráulicas de los suelos.

La Tensión superficial, es la propiedad de un líquido en la interface "líquido – gas", por la cual las moléculas de la superficie soportan fuerzas de tensión. La Capilaridad, es el fenómeno debido a la tensión superficial, en virtud del cual un líquido asciende por tubos de pequeño diámetro y por entre láminas muy próximas. Origen de las aguas subterráneas, Tipos de acuíferos, Estado del agua subterránea, y Principios fundamentales del movimiento de un fluido no compresible. Ver en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/propiedadeshidraulicasdelossuelos.pdf>

Caldas en la biorregión cafetera

Ponencia presentada en el Foro "Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses", el 6 de noviembre de 2014 en la U. de Caldas. Entre otros puntos, como el Paisaje Cultural Cafetero, la producción, la educación y el empleo, se consideran allí, además de las problemáticas socio-ambientales y económicas del departamento de Caldas, los proyectos de infraestructura estratégicos para Manizales. Ver en: https://youtu.be/m_217Tms8CM

Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas.

Estas notas, se presentan con motivo de la instalación del Comité Regional de Ordenamiento Territorial de Caldas. Aunque el departamento consta de 27 municipios, metodológicamente habrá que trabajar las temáticas del ordenamiento del territorio, tomando como unidad de planificación cada una de las seis subregiones, además de considerar la integridad de las cuencas, algunas de ellas compartidas. Aún más: para las sinergias territoriales, se deberá propiciar la interacción de los municipios, de conformidad con sus determinantes culturales. Ver en: <https://youtu.be/o-gohZaMsng>

Bosques en la Cultura del Agua.

De no apurar la adaptación ambiental de la que habla el notable ambientalista colombiano Gustavo Wilches Chaux en "La construcción colectiva de una cultura del agua", preocupa lo que se vivirá en las siguientes temporadas invernales cuando de nuevo arrecie La Niña. Habrá que aceptar la crítica situación causada por el efecto del "pavimento verde" asociado a la grave potrerización de nuestras montañas, y también la problemática de los "pavimentos grises" constituidos por nuestros mayores centros urbanos.

Ve ven: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7252/gonzaloduqueescobar.2011133.pdf>

Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC.

La amenaza del cambio climático como fenómeno que genera alteraciones intensas en el medio ambiente en Colombia, se constituye en un desafío profundamente rural para la Ecorregión Cafetera, que obliga a considerar una reconversión productiva culturalmente sustentable soportada en un medio ambiente sano, como opciones complementarias que deben satisfacer los derechos bioculturales del territorio como condición de desarrollo.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76813/preservacionambientalehidricaypccc.pdf>

ENLACES UN:

<i>Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global.</i>	<i>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</i>	<i>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales</i>
<i>Agua para todos: el desastre del río Mira.</i>	<i>El Futuro de la Ciudad: caso Manizales.</i>	<i>Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué?</i>
<i>Bosques, cumbre del clima y ENSO.</i>	<i>El inestable clima y la crisis del agua.</i>	<i>Misión de Sabios de Caldas: Encuesta.</i>
<i>Caldas en la biorregión cafetera.</i>	<i>La economía a pique, ¿qué hacer?</i>	<i>Navidad y Año Nuevo, en el punto de quiebre.</i>
<i>Crecimiento con deuda social.</i>	<i>La economía en la era del conocimiento.</i>	<i>ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático</i>
<i>¿Crecimiento volátil con empleo vulnerable?</i>	<i>Latinoamérica en crisis.</i>	

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidrovías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidrovías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Dunas anunciando vientos de Derecha a Izquierda. Ppoitaly.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 19

GLACIARES Y DESIERTOS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Hoy en día el 10% del área emergida de la tierra está cubierta por hielo, con un volumen total de 26 millones de Km.³ y hace 18 mil años dicha superficie era casi del 30%, con un volumen de alrededor de 76 millones de Km.³. Un 75% del agua dulce del planeta está presente en la actualidad en forma de hielo.

El hielo glaciar se forma en las áreas frías de la Tierra donde la caída de nieve anual supera la cantidad de nieve que se derrite durante el año. La nieve recién caída tiene una densidad de 0,05 gr/cm³, pero al irse enterrando progresivamente los granos simples de comprimen y el agua de deshielo recongelada rellena los espacios entre ellos. Cuando la densidad ha aumentado hasta 0,83 gr/cm³ tenemos hielo.

19.1. GLACIARES

Un glaciar es una masa de hielo que se forma por recristalización de nieve (previo paso por neviza) y que fluye hacia adelante gracias a la energía que le provee la gravedad en forma de río lento; esa dinámica depende, no solo de la pendiente, sino de la relación entre carga y pérdida; el clima condiciona el límite de nieve, el que a su vez condiciona la longitud del glaciar, pues aunque aquel este en movimiento si el límite es estable la longitud no se modifica, lo contrario ocurrirá cuando se modifique el clima, el glaciar avanzará o retrocederá.

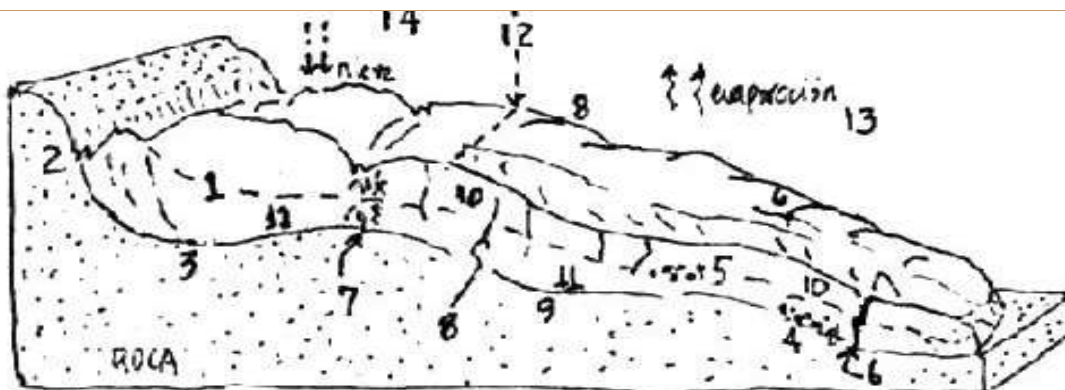


Figura 138. Estructura de un glaciar. 1. Hielo compacto, 2. Rimaya (grieta maestra), 3. Circo, 4. Morrena de fondo, 5. Morrena interna (material que remonta la masa), 6. Pozo de drenaje, 7. Cascada de hielo, 8. Grieta transversal, 9. Cuenca de depresión, 10.

Zona de fracturamiento, 11. Zona de flujo plástico, 12. Límite de nieve., 13. Zonas de pérdidas por evaporación (ablación), 14. Zona de acumulación. Adaptado de Longwell -Flint y de Leet-Judson, Geología Física.

19.1.1 Grietas. El hielo es un sólido cristalino, pero sometido a una presión permanente, puede deformarse y fluir. En los glaciares éste movimiento se produce por un deslizamiento de cristales de hielo, lubricados en sus bordes por una delgada película de agua líquida, fundida a causa de la presión. El movimiento hacia abajo del glaciar se puede observar en sus inicios, donde queda separado de la zona de nieves perpetuas por una profunda grieta llamada rimaya. El movimiento del hielo es diferencial, avanza más rápidamente en el centro del glaciar que en sus bordes laterales donde lo frena la fricción. En un perfil vertical la velocidad es mayor en la zona superficial que se comporta como rígida y se rompe formando grietas, y disminuye hacia el fondo.

Las grietas longitudinales se explican por el aumento de la velocidad hacia el eje de la lengua del glaciar y también por el ensanchamiento de éste, mientras las grietas transversales se forman donde la pendiente bruscamente se empina. En las zonas de intersección de grietas longitudinales y transversales la topografía es espectacular por la formación de bloques o pináculos de hielo llamados séracs.

19.1.2 Velocidad del glaciar. La tasa de movimiento de un glaciar varía considerablemente y el movimiento diario puede variar entre los centímetros y las decenas de metros. Esto depende de la pendiente, espesor, área de la sección transversal, perímetro mojado, rugosidad del fondo y temperatura. En un glaciar puede distinguirse un curso alto donde la temperatura impide la fusión y se forma más hielo y un curso bajo donde la temperatura es mayor y se pierde hielo por fusión.

La longitud del glaciar se mantiene estacionaria cuando las caídas de nieve igualan a la ablación y en éstas condiciones del frente del glaciar no se desplaza.

19.1.3 Nieve, neviza, hielo. La nieve es una masa ligera y esponjosa con cristales hexagonales individuales siendo cada uno de forma caprichosa; no es lluvia congelada sino condensación del vapor de agua por debajo del punto de congelación. La neviza es una masa de estructura granular fruto de la desublimación de la nieve (paso de vapor a sólido), ella se forma a partir del vapor de agua que escapa de los bordes de las partículas de nieve, para unirse al centro del copo de nieve y aumentar el tamaño de los granos de ceniza. El hielo se produce del siguiente modo (a partir de la neviza), aumentando el espesor de la capa de neviza, la del fondo queda sometida a presión y lo obliga a su fusión obteniéndose agua, que luego se congela formando un sólido con cristales interconectados llamado hielo cuyo color gris, azul o verde se explica por polvo y aire contenido en la masa.

En consecuencia los copos de nieve son agregados de cristales de hielo de muy baja densidad (0,1 de la del agua). La presión causada por el peso de nuevos aportes hace que a expensas de los primitivos cristales se origine la neviza con mayor tamaño, menos espacios huecos y mayor densidad (0,5 la del agua). El aumento de la presión hace que por debajo de la neviza se forme hielo blanco menos poroso y más denso, y más abajo donde los espesores superan los 60 metros, se forma el hielo glaciar de color azulado, comportamiento plástico y mayor densidad (0,92 la del agua).



Figura 139. Nieve, neviza y hielo. Son en su orden tres etapas de un mismo proceso. Adaptado de Max Derruau, Geomorfología

Si el agua se congela aumenta de volumen, por lo tanto si el hielo se presiona se convierte en agua para poder reducir su volumen.

19.1.4 Tipos de glaciares.

Hay 4 tipos principales de glaciares:

- Casquete Helado

- **Polar.** Típico del Polo Norte donde no hay continente, allí el sustrato es agua, el espesor es de 2 a 4 m., su papel es proteger el fondo marino. El agua fósil congelada es fundamentalmente de origen marino.

- **Continental.** Típico del Polo Sur y Groenlandia, allí el sustrato es tierra (la Antártida y Groenlandia) por lo que el espesor máximo llega a 4 1/2 y 3 km. respectivamente; las aguas son combinadas y de los témpanos desprendidos y en deriva primero se fusiona el agua dulce, quedando registrados en el hielo de agua salada paleoambientes de playa.

- **Glaciares de montaña.** Los tres primeros son el 96% de los glaciares, éste tipo de glaciar es sólo el 4%. Los de montaña aparecen en latitudes bajas sobre altas montañas, se subdividen en glaciar de valle (como un río), glaciar de pie de monte (como la unión de dos ríos) y manto de hielo (estructura radial). El VN del Ruiz, es un manto de hielo de 11 km.² de superficie en 2014, 9 km.² menos que en la década de 1970s. El espesor medio es del orden de los 50 m. y los máximos espesores, hasta tres veces mayores, se localizan en los circos de los glaciares de salida. En la pequeña glaciación ocurrida entre 1550 y 1850, los glaciares del PNN de los Nevados que en los 70s llegaban a 29 km.², alcanzaron una extensión de 96 km.²



19.2. EROSION GLACIAR

19.2.1 Formas de erosión glaciar. Las formas de erosión pueden ser:

- **Arranque.** Cuando la masa de hielo en movimiento saca bloques del sustrato fracturado.

- **Desgaste interno.** Cuando el material de arrastre que remonta la masa de hielo sufre el efecto de molino, sufriendo una trituración en la zona plástica del glaciar; así el material se convierte en harina de roca.

- **Abrasión.** Es el efecto de lija del glaciar; no es el hielo el que pule el lecho y las paredes del sustrato rocoso sino el material rocoso más duro embebido dentro de la masa de hielo; estos fragmentos pétreos, cuando tienen dureza suficiente dejan estrías sobre las rocas de las paredes y del fondo advirtiendo el sentido y la dirección del movimiento del glaciar.

19.2.2 **Movimiento de partículas dentro de la masa de hielo.** Los glaciares pueden acarrear enormes cargas de cantos o morrenas y las que se despeñan por las laderas del glaciar forman morrenas laterales. Las morrenas centrales surgen donde convergen dos glaciares

aunando sus morrenas laterales de los costados internos. Algunos cantos caen en las grietas formando morrenas internas, las que pueden seguir descendiendo hasta el fondo para sumarse a las rocas arrancadas y constituir las morrenas de fondo.

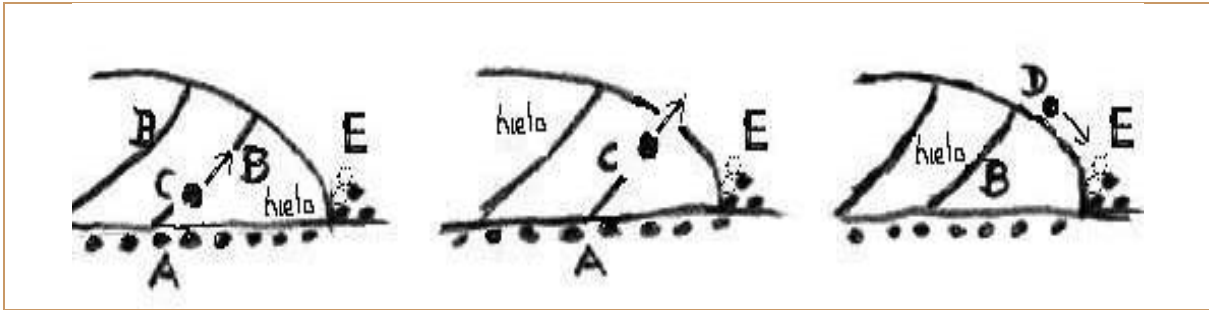


Figura 141. Movimiento de partículas en el glaciar A. Material de arrastre, B. Plano de deslizamiento, C. Partículas en movimiento, D. Fase de deposición, E. Morrena frontal. Adaptado de Leet y Judson, Geología Física.

Los derrubios del glaciar pueden depositarse en su frente formando una morrena frontal, constituida por material de todos los tamaños, desde arcilla a bloques enormes. Si el glaciar retrocede, la morrena frontal abandonada, suele formar un dique que retiene un lago, mientras otros lagos aparecen más arriba en las depresiones de roca resistente excavadas por el glaciar. Los glaciares que retroceden aprisa van dejando su carga amontonada y las rocas mayores quedan como indicio de su extensión primitiva. Estos depósitos frontales aportan información valiosa sobre glaciaciones anteriores.

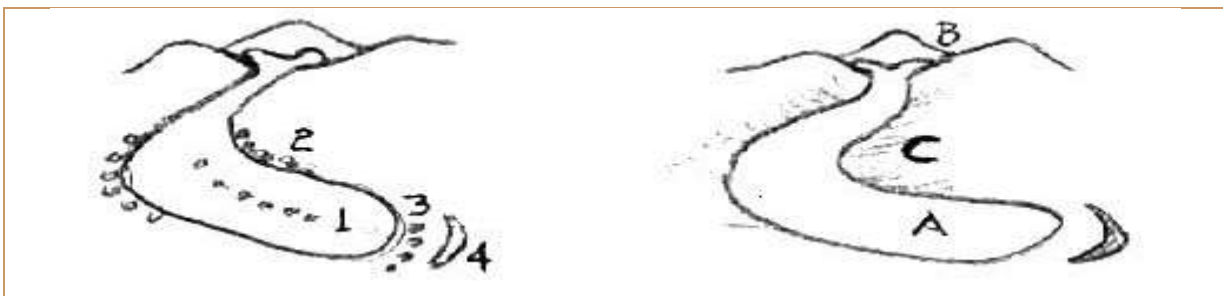
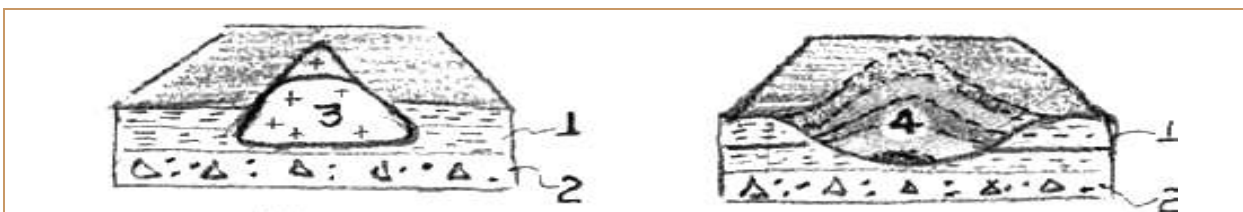


Figura 142. Morfología glaciar. En el glaciar de valle se tiene: 1. Morrena central, 2. Morrena lateral, 3. Morrena frontal, 4. Lago en media luna, A. Lengua del glaciar, B. Circos de erosión glaciar, C. Valle en U. Adaptado de Longwell y Flint, Geología Física.

19.2.3 Depósitos de glaciación. Pueden ser estratificados y no estratificados; los primeros se llaman depósitos fluvioglaciares y se explican porque es el agua de fusión de hielo quien toma, transporta y clasifica los materiales de depósito dejándolos en capas o estratos, los no estratificados se explican por el efecto de "aplanadora" de los glaciares y pueden ser Till si no están consolidados y Tillitas cuando están consolidados.

Las **morrenas** son camellones de tillita ordenados por el glaciar.

Las **marmitas** son depresiones en depósitos fluvioglaciares producidas cuando se funde el hielo que antes había quedado atrapado por el depósito.

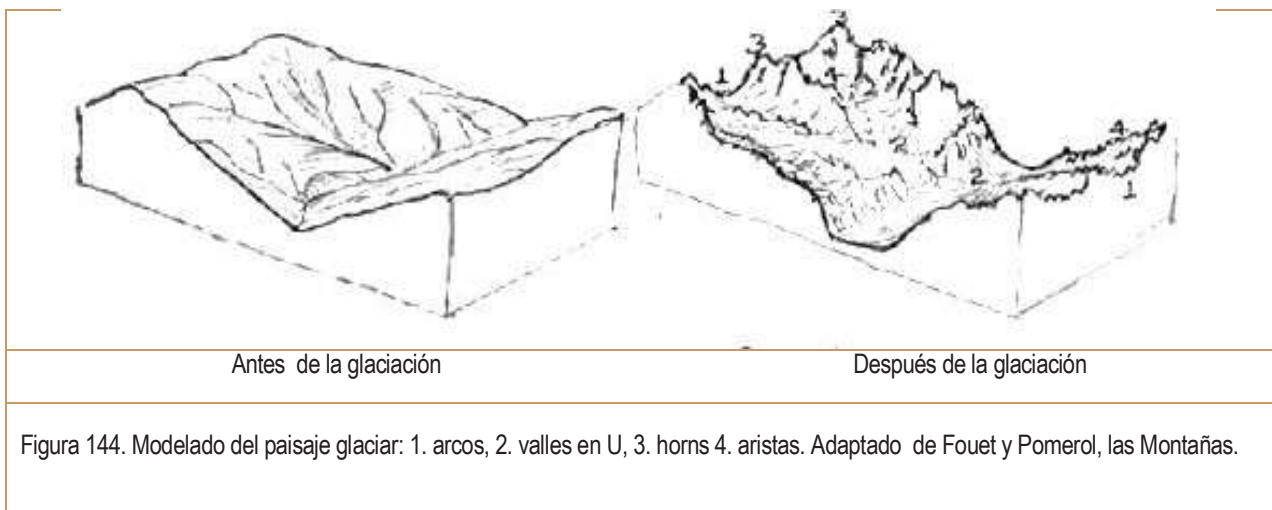


Durante la glaciación	Después de la glaciación
Figura 143. Formación de una marmita: 1. Depósito fluvioglacial, 2. Tillita, 3. Masa de hielo (antes de la fusión), 4. Marmita (después de la fusión del hielo). Según Leet y Judson, Geología Física.	

19.2.4 Evolución del paisaje glaciar. Un glaciar es uno de los más potentes agentes de erosión. Su hielo erosiona el fondo por abrasión y arrancándole rocas. Los bloques embebidos en el hielo son arrastrados por el fondo y marcan estrías en las rocas, que pueden quedar pulimentadas formando rocas aborregadas.

D La zona de origen es ensanchada en forma de un anfiteatro llamado circo, que si se junta con otro lo hace a través de una arista o umbral de paredes cortadas a pico. Si los glaciares moldean aristas y horns o picos, también esculpen valles profundos de paredes abruptas.

Los glaciares de montaña excavan sus profundos valles en forma de U siendo más profundos los de los glaciares mayores que los de sus afluentes menores, los que aparecen en forma de valles colgados. Así los valles en U tributarios al quedar colgados drenan a menudo por una cascada.



Los fiordos con características de las costas que han sufrido glaciación reciente, como las del oeste de Escocia, las de Noruega, las del sur de Chile, Columbia Británica, sur de Nueva Zelanda y Groenlandia. Son bahías largas y estrechas como rías de abruptas laderas y gran profundidad. Su profundidad se explica porque los glaciares llegaban hasta el mar, cuando entonces su nivel era mucho más bajo que ahora.

19.3. TEORIA DE LA GLACIACION MULTIPLE

Los casquetes polares Antártico y groenlandés son los últimos restos de una glaciación que en latitudes medias terminó hace unos 12 mil años, y en Colombia hace más. Durante los últimos 2,5 millones de años han sido cinco los avances y retrocesos del hielo, el último de los cuales es el período actual, el Holoceno.

Durante la glaciación del Pleistoceno el macizo volcánico Ruiz-Tolima estuvo cubierto por 800 Km.² de hielo, contra 30 Km.² que se tenían en 1970. Los actuales arenales del Ruiz se explican por los hielos de la Neoglaciación que terminó en Colombia hace 1500 años. Según Antonio Flórez (2002) e Ideam-Unal (1997) en la pequeña glaciación ocurrida entre 1550 y 1850, asociada a una baja actividad solar, los hielos del PNN de los Nevados alcanzaron una extensión de 93 kilómetros cuadrados, 10% de los cuales cubrían el Cisne y el Quindío.

Los más antiguos indicios del avance de los glaciares fueron encontrados en Europa en sedimentos de hace 2,5 millones de años. A estos le siguen los cuatro períodos del Pleistoceno Günz, Mindel, Riss y los cuatro estadios glaciares del Würm. Sus equivalentes americanos en orden son Nebraskiano, Kansasiense, Illinoisiense y Winconsiniense. Respecto a las cuatro del Pleistoceno todas se han reconocido en Norteamérica; en Europa hay evidencias de tres en Alemania y de una en el Elba.

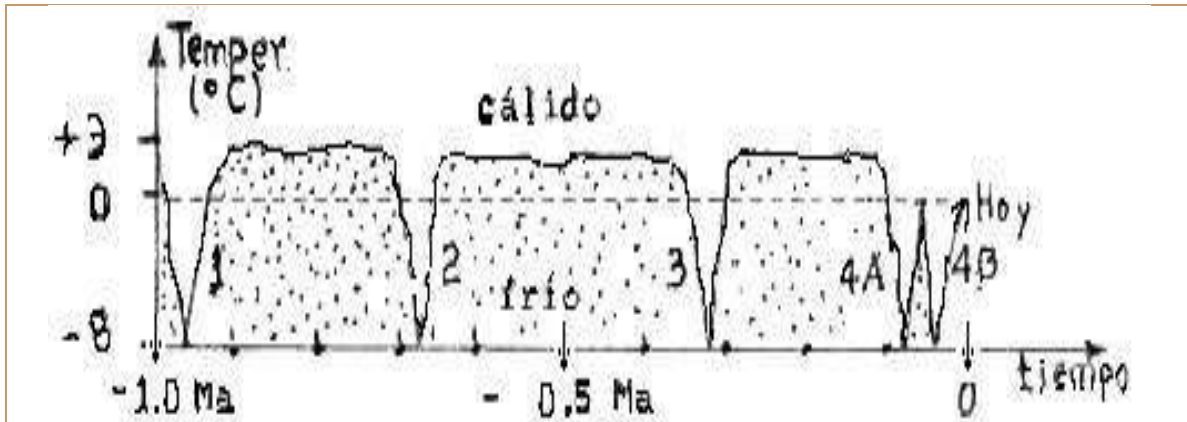


Figura 145. Glaciaciones del Pleistoceno: 1. Günz: Nebrasciano, 2. Mindel: Kansasiano, 3. Riss: Illinoisiano, 4. Würm: Wisconsiniano. (Abscisa Tiempo en millones de años y ordenada variación de la temperatura con relación a la actual). Según Leet y Judson, Geología Física

Depósitos glaciares y rocas pulimentadas por el hielo se han identificado también en formaciones geológicas más antiguas, lo que ha permitido deducir la existencia de anteriores glaciaciones. Se conocen tres del final del Precámbrico (hace 940, 770 y 615 millones de años), una del Devónico (hace 400 millones de años) y una del Permo-Carbonífero (hace 295 millones de años).

19.3.1 Causas de las glaciaciones. Para que se dispare el mecanismo de una fase glacial, o su contraria, la megatérmica, es suficiente un pequeño retroceso de los hielos pues él sólo puede provocar un efecto multiplicador.

Con un pequeño avance de hielo la radiación llegará a la Tierra regresa de nuevo al espacio en mayor cuantía y ello ocasiona disminución de la temperatura por lo cual los hielos avanzarán de nuevo, se reflejará más radiación y caerá por segunda vez la temperatura repitiéndose de nuevo el proceso; si el hielo retrocede, de la radiación que recibe la Tierra poco se refleja, se calienta el clima, viene un segundo deshielo, disminuye la reflexión, se da un segundo calentamiento y el efecto multiplicador continuará.

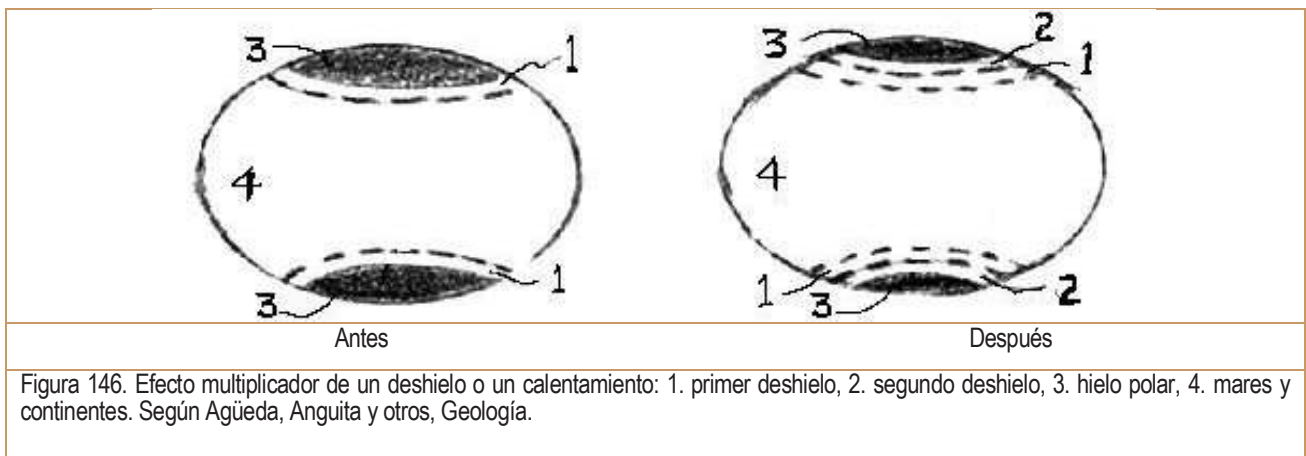


Figura 146. Efecto multiplicador de un deshielo o un calentamiento: 1. primer deshielo, 2. segundo deshielo, 3. hielo polar, 4. mares y continentes. Según Agüeda, Anguita y otros, Geología.

Es suficiente que caiga, entre 8 y 12 C° la temperatura del planeta para que los hielos avancen como en el Pleistoceno. Algunos argumentan causas externas (astronómicas) y otros, causas internas (terrestres) que puedan modificar el clima. Es claro que no se explica el fenómeno en estudio como debido a enfriamiento interno del planeta y además que se trata de un efecto global y no local.

19.3.1.1. Causas externas. Entre las causas externas o astronómicas tenemos:

- **Cambios en la constante de radiación solar.** Se ha demostrado que la constante solar no es tan constante; las variaciones están asociadas a los ciclos de manchas solares de largo período.

- **Cambios en el sistema Tierra-Sol-Luna.** Son fenómenos de carácter periódico, como la modificación en la excentricidad de la órbita terrestre, la variación en la inclinación del eje terrestre respecto a la eclíptica y la precesión de los equinoccios.

- **Paso del sistema solar a través de nubes de polvo.** Se trata de polvo interestelar de algunos de los dos brazos espirales de la Galaxia que invade el espacio de radiación solar. Cada 250 millones de años el Sol revoluciona la galaxia y el paso por un brazo dura pocos millones de años.

19.3.1.2 Causas internas. Entre las causas internas o terrestres tenemos:

- **La deriva continental.** Los continentes se desplazan a lo largo de las eras geológicas. Cuando los continentes están más cercanos a los polos la Tierra recibe más radiación solar sobre el océano que está dominando el Ecuador. Como el océano tiene más capacidad reflectora que los continentes el planeta se enfría.

- **El Vulcanismo.** El aporte de ceniza a la atmósfera aumenta las pérdidas de radiación solar de la Tierra por reflexión y por ello sobreviene el enfriamiento; debe tenerse en cuenta como efecto contrario que el CO₂ volcánico produce efecto de invernadero (contrario), de tal manera que es el balance de uno y otro el que define hacia donde se dirige el clima.

- **Cambios en las corrientes oceánicas.** Por la deriva continental se condiciona la dirección de las corrientes oceánicas y en consecuencia la dirección de los vientos productores de lluvia; pues hay corrientes oceánicas frías y calientes, sobre las cuales se generan zonas de alta y baja presión atmosférica. El viento se desplaza de las primeras a las segundas, y es en las segundas en donde sobrevienen las lluvias.

19.3.2 Efectos. Si se derriten los hielos actuales, el nivel medio del mar sube entre 21 y 61 metros. Antes de 1920 subía 9 cm por siglo, después 60 cm por siglo. Es evidente que un actual aumento del nivel del mar traería problemas severos en las ciudades portuarias, incremento de las fronteras de los desiertos y desplazamiento de las áreas agrícolas.

- **Épocas glaciares.** En épocas de glaciación hay intensos períodos fluviales; hay menos evaporación, menos desiertos, más vegetación, más lagos; los vientos productores de lluvia prefieren el Ecuador, el área cubierta por hielos se duplica o cuadruplica, el nivel del mar baja entre 30 y 130 m., se despeja la plataforma continental, hay movimientos eustáticos en el fondo oceánico (ascenso y descenso) predominio de la pradera, del mamífero pequeño de parto múltiple.

- **Épocas megatérmicas.** En las megatérmicas todo lo contrario, el océano invade las costas por el aumento del nivel del mar, se derriten los hielos, es la época de árboles y grandes mamíferos de un solo parto, las plantas tropicales invaden latitudes altas, se extienden los desiertos y en donde existía hielo sobre el continente por la zona de playa quedan como evidencia los "fiordos".

19.4. EL VIENTO

Es el aire en movimiento. A gran escala, los movimientos horizontales y verticales, son importantes en la configuración del tiempo y del clima. Las principales fuerzas que afectan al movimiento horizontal del aire son los gradientes de presión, el efecto de Coriolis y la fricción.

Los gradientes de presión los provoca el desigual calentamiento de la atmósfera por el sol y el efecto Coriolis es debido a la rotación terrestre. Los movimientos horizontales del aire son importantes alrededor de los sistemas ciclónicos (baja presión) y anticiclónicos (alta presión).

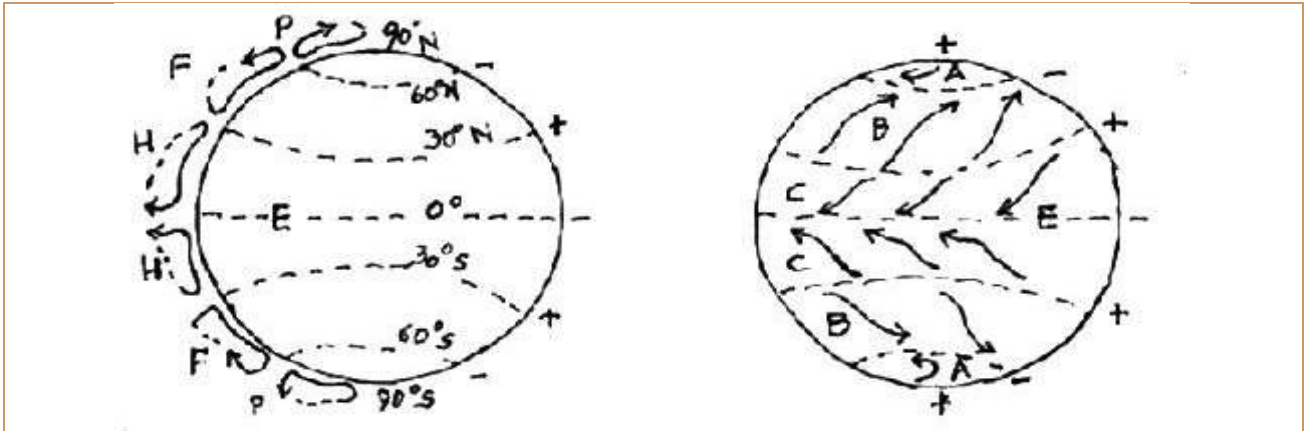


Figura 147. Esquema de la máquina atmosférica del planeta. A. vientos polares del este, B. contralisios del occidente, C. alisios del Noreste y Sudeste, E. Ecuador, H. célula de Hadley, F. célula de Ferrel, P. anticiclón polar. Según A. Bialko, nuestro Planeta La Tierra.

La combinación de movimientos horizontales y verticales crea un patrón de vientos predominantes. A lo largo del ecuador está la llamada región de las calmas ecuatoriales, donde el calor solar calienta el aire ascendente que se dispersa alejándose del ecuador para fluir hacia el norte y al sur y caer a las latitudes de 30° norte y sur para alimentar los vientos alisios que regresan hacia el ecuador y los vientos ponientes que fluyen hacia las latitudes medias de la Tierra.

19.4.1 Efecto Coriolis. La circulación que se muestra en el planeta se explica porque en la Tierra es conveniente relacionar el sistema de referencia inercial que se considera en las leyes de Newton, con la superficie de nuestro planeta. Eso es precisamente el sistema de coordenadas geográficas. Dicho sistema no es inercial, por cuanto la Tierra gira. La segunda ley de Newton puede escribirse de una forma tal que sea válida en un sistema de referencia rotacional. Pero en este caso, a su segundo miembro es necesario añadirle una fuerza complementaria, la cual se denomina fuerza de Coriolis.

La fuerza de Coriolis (f) es perpendicular a la velocidad (v) del punto material y proporcional a la velocidad angular (ω). Además, esta fuerza depende de la latitud (ϕ) del lugar, en función de $\sin \phi$. La expresión general de la fuerza en un cuerpo de masa m , es:

$$f = 2 m \omega v \sin \phi$$

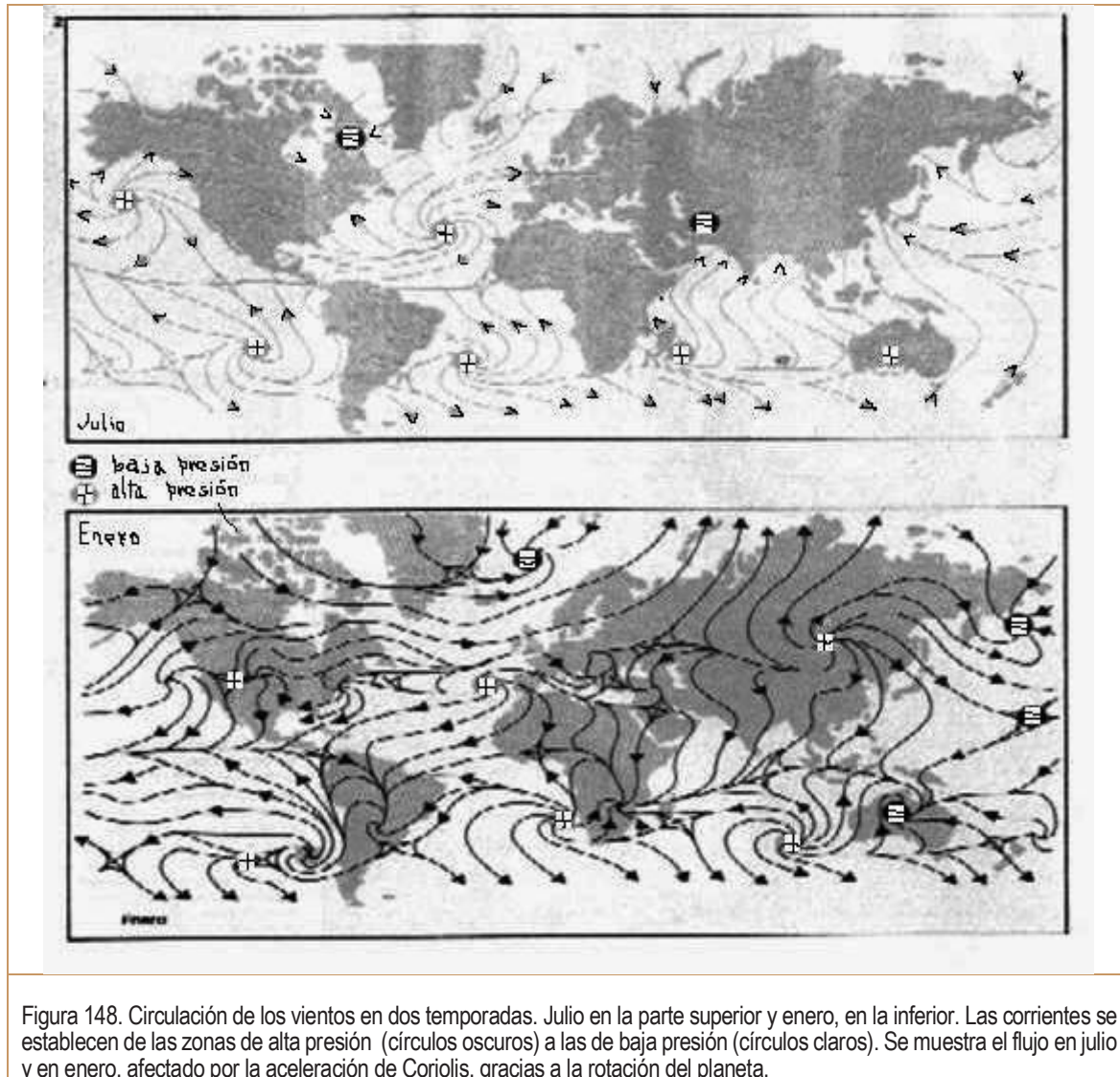
Por la fuerza de Coriolis, los ríos erosionan más la orilla derecha en el hemisferio norte y la izquierda en el hemisferio sur. También, en el hemisferio norte los remolinos son dextrógiros y en sur sinistrógiros. De ahí que los ciclones o tifones en el Atlántico Norte giren en el sentido de las manecillas del reloj y en el Pacífico sur sean levógiros. Todo porque la fuerza centrífuga que en el Ecuador es mayor, decrece con la latitud hasta hacerse mínima (0) en los polos.

19.4.2 Circulación general de los vientos. Siempre los vientos van de las zonas de alta presión (+) a las de baja presión (-). Los polos, donde el aire se enfría y se asienta, son zonas de alta presión. También los son los paralelos vecinos a los trópicos de Cáncer y Capricornio.

La zona de interconfluencia tropical, ZICT, vecina al ecuador, como las latitudes templadas de los $\pm 60^\circ$, son las zonas de baja presión a donde convergen los vientos venidos de los paralelos de Cáncer y Capricornio (desiertos tropicales) y de los círculos polares de la Tierra.

Como sabemos la causa del transporte de las masas aéreas es la convección, o sea, el ascenso del aire caliente ligero y su sustitución, desde abajo, por el aire frío. Las zonas que se calientan al máximo durante el día son las tropicales, donde los rayos solares inciden sobre la Tierra casi verticalmente. El gradiente de temperatura y su reducción en función de la altura cerca de la superficie, se hace mayor que el adiabático de equilibrio, lo cual provoca, precisamente, el origen de un flujo de aire vertical. El aire asciende cerca del ecuador, en la ZICT, elevando el límite superior de la troposfera, al doble de su altura en los polos. Pero, ¿dónde debe meterse el aire? Es fácil comprender que a grandes alturas el aire fluye del ecuador, ya a las latitudes septentrionales como a las meridionales. Así marcha enfriándose parcialmente en la troposfera superior, para descender en las latitudes medias y dirigirse de regreso al ecuador.

19.4.3 Ciclones y anticiclones. A lo largo del frente polar del hemisferio norte el aire cálido de los ponientes (del oeste) choca con los levantes (del este) árticos. En éste mismo frente polar se desarrollan ondas, algunas de las cuales aumentan de tamaño rápidamente. El aire cálido fluye hacia ellas mientras que el frío fluye por detrás de ellas. El aire cálido liviano se eleva sobre el frío a lo largo del frente cálido. Por detrás el aire frío se abre camino bajo el cálido a lo largo del frente frío. Gradualmente el segundo frente alcanza al primero que es empujado, para formar una oclusión. En el frente cálido se forma un cordón de nubes que trae lluvias y a veces tormentas. En los anticiclones la circulación del aire es inversa a la de los ciclones.



19.4.4 Los monzones. Son inversiones estacionales de la dirección del viento. Los más famosos ocurren en la India donde los vientos del norte propios del invierno son reemplazados por los del sur durante el verano. Los del sur están muy cargados de vapor de agua que se precipita en forma de lluvias torrenciales. Otra inversión de vientos a escala local, son las brisas terrestres y marinas.

19.4.5 Fenómeno de brisa. Cuando el Sol calienta en la costa, dado que el agua y la Tierra tienen diferente calor específico, el océano permanece frío y el continente caliente; la zona de alta presión estará sobre el mar y durante el día soplará a la costa. En la noche la brisa se invierte, irá al mar ya que por razones de calor específico, almacenará el poco calor que recibió mientras que la Tierra que había almacenado más calor, ya se encuentra fría.

19.4.6 Tormentas, huracanes y tornados. Las tormentas más comunes son las tronadas que en regiones templadas y tropicales se producen a diario con el requisito de fuertes corrientes de aire ascendente que al elevarse se enfría liberando calor conforme se da la condensación del vapor de agua. La liberación de calor aporta energía para intensificar el ascenso del aire y el desarrollo de la tormenta.

La condensación del aire produce cúmulo-nimbos que llegan a alcanzar una altura mayor de 5 Km. Estas lluvias traen lluvia y granizo y en ocasiones truenos y relámpagos.

Los huracanes también llamados tifones o ciclones tropicales se forman sobre océanos cálidos. Producen vientos espirales de hasta 250 a 350 Km./hora. El ojo contiene aire caliente descendente y ocupa 5 a 50 Km. de los 500 Km. de diámetro del huracán. Alrededor del ojo ascienden espirales de aire cálido y húmedo. La condensación crea cumulonimbos y libera calor latente que aumenta el ascenso en espiral del aire. Los huracanes son destructivos sobre todo en zonas costeras por el efecto de las olas, la lluvia torrencial y los vientos. Los tornados son torbellinos violentos, pero cubren un área mucho menor que los huracanes. Se forman cuando un cumulonimbo empieza a crecer hacia abajo y la prolongación de la nube en forma de cuello de embudo toca el suelo. Su ancho varía entre 50 y 200 m., el desplazamiento varía de 30 a 65 Km./hora y el fenómeno se desvanece después de 30 Km. de recorrido. Algunos han llegado a desplazarse hasta 500 Km.

19.4.7 El Niño y La Niña. Fenómeno oceánico-atmosférico conocido como ENOS, constituido por episodios cálidos de El Niño y fríos de La Niña, relacionado con la interacción de las aguas superficiales del Pacífico tropical con la atmósfera circundante, y cuya importancia se debe a los trastornos causados por dicha anomalía sobre la “máquina atmosférica del planeta”, dados los impactos ocasionados en diferentes regiones del mundo, y las alteraciones significativas de sus ecosistemas terrestres y marinos.

Aunque el fenómeno suele mostrar una tendencia cíclica de comportamiento errático, por regla general algunos años en diciembre una corriente de agua cálida recorre el Pacífico sur desplazándose hacia la costa de Ecuador y el norte del Perú, por encima de la fría y profunda corriente de Humboldt que fluye hacia el norte; y cada tres o cuatro años se produce un calentamiento más intenso y extendido en toda la zona ecuatorial central y el Pacífico oriental.

En el caso de El Niño, las condiciones térmicas del Pacífico medio exceden el valor medio en magnitudes que van de 5 en 5 °C, generándose un fenómeno moderado, intermedio o fuerte. Igual, para el caso de La Niña, pero con anomalías de temperaturas inferiores al valor medio en las cuantías señaladas.

Si en diciembre, por lo general la presión atmosférica sobre el sudeste del Pacífico es bastante alta, lo cual indica que el aire desciende, mientras que sobre Indonesia es baja lo que indica que el aire se eleva, cuando se produce el Niño, es porque en la Navidad la situación se invierte; la presión atmosférica desciende en el sudeste del Pacífico y aumenta en Indonesia y Australia. Los vientos que antes soplaban desde América y con su fricción elevaban cerca de un metro el océano Pacífico en Indonesia, dejan de soplar para que el mar retorne hacia el Este con coletazos afectando nuestras costas. Además con el Niño se produce un movimiento de las aguas superficiales cálidas del Pacífico que se desplazan hacia el este.

Dicho fenómeno parece deberse a un cambio de dirección de los vientos ecuatoriales del Este, que también se invierte trayendo las aguas superficiales hacia América donde se acumulan las aguas cálidas y se impide el afloramiento de las profundas y frías aguas de la corriente de Humboldt, ricas en nutrientes. La falta de estas aguas que traen el plancton de la Antártida tiene efectos catastróficos en la industria pesquera.

En caso de El Niño, el clima bimodal de la Región Andina de Colombia, presenta sus dos temporadas invernales y veraniegas del año, más secas, y se hacen frecuentes los huracanes en el Caribe. Durante La Niña, todo lo contrario.

Y mientras El Niño trae déficit de lluvias en la Colombia andina, también lleva las lluvias a los Andes de Perú y Ecuador, generándose un incremento de sedimentos llevados por los ríos al mar, lo que reducen la eficiencia de la fotosíntesis en la corriente de Humboldt, y por lo tanto la reducción de la pesca y de producción de guano en las fértiles zonas costeras.

19.5. DESIERTOS

Los desiertos se forman en regiones en las que la tasa de pérdida de agua por evaporación es mayor que la de ganancia por precipitación. La temperatura, al igual que la lluvia, es importante; en latitudes frías crecen bosques aún con precipitaciones escasas que en los trópicos sólo explicarían montes bajos y condiciones semiáridas. Aproximadamente el 25% de la superficie terrestre se caracteriza por climas secos, y los desiertos propiamente dichos cubren gran parte de la tierra comprendida entre las latitudes de 10° y 35° norte y sur.

19.5.1 Clases de desiertos. Hay tres tipos de desiertos: los desiertos topográficos y tropicales en las latitudes bajas y medias, y los desiertos polares en las latitudes altas. Los dos primeros son cálidos y los terceros fríos. Todos se ubican en zonas de baja presión. Este aparte se centrará en los desiertos cálidos.

- **Desiertos topográficos.** Se explican por barreras naturales que detienen los vientos húmedos y provocan la sequedad; por ejemplo La Candelaria en Villa de Leiva y la Tatacoa en el Huila, explicados por unos microclimas particulares. También se incluye aquí la península de la Guajira afectada por una corriente caribe

- **Desiertos tropicales.** Son los que se ubican en las latitudes de 30° norte y sur, como el Sahara al norte y el desierto de Nueva Zelanda al sur; se explican por la circulación general de los vientos en la máquina atmosférica del planeta. Como los desiertos son zonas de alta presión y el Ecuador está a baja presión, el viento inicia su recorrido en los 30° norte y sur en estado seco y frío; yendo al Ecuador se va calentando, se dilata, aumenta la relación de espacios vacíos, recoge en su trayectoria la humedad para almacenarla en forma de vapor. La masa de aire cargada de vapor llega al Ecuador, sube, se enfría, libera la humedad en forma de lluvia y regresa por lo alto, para descender nuevamente sobre las latitudes de 30° e iniciar de nuevo su recorrido en el cual roba la humedad de los desiertos.

- **Desiertos polares.** Son los que se ubican en los polos geográficos del planeta a latitudes de 90° norte y sur. El polo norte tiene por sustrato el océano Ártico y el polo sur tiene por sustrato el continente de la Antártida. Ambas se constituyen en desiertos por ser regiones de alta presión.

Otra trayectoria similar de circulación de vientos se sucede entre los polos y las latitudes de los 60° norte y sur. En el polo el viento recoge la humedad de esta región y la lleva a latitudes de 60° donde se provocan las lluvias. En los polos el frío ocasiona el asentamiento del aire y por ello hay una zona de alta presión.

19.5.2 La lluvia. En el desierto va de 250 a 375 mm por año, no es predecible se concentra en cortos períodos, pueden darse 4 años de sequía. Debido al severo déficit de agua, la vegetación del desierto está limitada en su desarrollo y las tierras vegetales se caracterizan por horizontes de tierra; el contenido de arcilla y materia orgánica es bastante diferente del de las tierras húmedas. Estos dos factores vegetación y tierra vegetal combinados con la naturaleza limita y esporádica de las lluvias, se reflejan en los procesos geomorfológicos y por ello en diferentes paisajes.

19.5.3 Temperatura. Hay una gran fluctuación diaria así: en los tropicales, día 37°C y noche -1 °C a la sombra; lo anterior es lo mismo en invierno que en verano. En los topográficos el invierno es severo, con temperaturas que oscilan entre 17 y -27 °C.

Las primeras investigaciones consideraban que las fuertes variaciones diarias de la temperatura en la superficie desértica, de hasta 74 °C provocaban suficiente dilatación y contracción de la masa de roca como para causar desintegración por insolación. Los experimentos de laboratorio sugieren que éste proceso es relativamente imposible

19.5.4 Intemperismo. Predomina el mecánico por la sequedad; el agua aunque escasa es el principal agente modelador del paisaje, le sigue el viento; el cambio de temperatura ocasiona vientos fuertes con arenas.

El agua subterránea aparece a cientos de metros, es poca y de poca confianza para abastecimientos; en desiertos semiáridos la extracción para recarga de pozos debe ser cuidadosa; un oasis es un acuífero que funciona como pozo artesiano, tiene poca agua y puede ser salada.

19.5.5 El viento. La velocidad aumenta con la altura sobre el suelo, el viento oscila de izquierda a derecha, hacia arriba y hacia abajo pero su tendencia general es el ascenso, al 1/30 del diámetro de las partículas por encima del suelo no se mueve el aire, construyéndose así una barrera que impide la erosión, hay dos tipos de tormentas: de arena y de polvo.

Las de arena tienen un metro de altura, casi toda la cargan en los primeros 45 cm, los granos van en saltación y rodamiento. En las tormentas de polvo, el polvo viaja en suspensión porque el aire es turbulento; el tamaño de las partículas depende de las velocidades terminales de los granos levantados.

19.6. EROSIÓN EN EL DESIERTO

En los climas áridos predominan dos procesos, abrasión (corrasión) y deflación. La energía del viento determina el tamaño máximo de las partículas a transportar; de esta manera se realiza una selección y un transporte de materiales denominado deflación, mientras que las partículas que viajan en suspensión al chocar contra masas rocosas realizan una labor erosiva que se denomina corrasión. La corrasión o abrasión origina superficies pulidas, corredores, rocas en forma de hongo y cantiles a contraplomada. Además remarca las diferencias de litología, cementación, etc. existentes en las rocas.

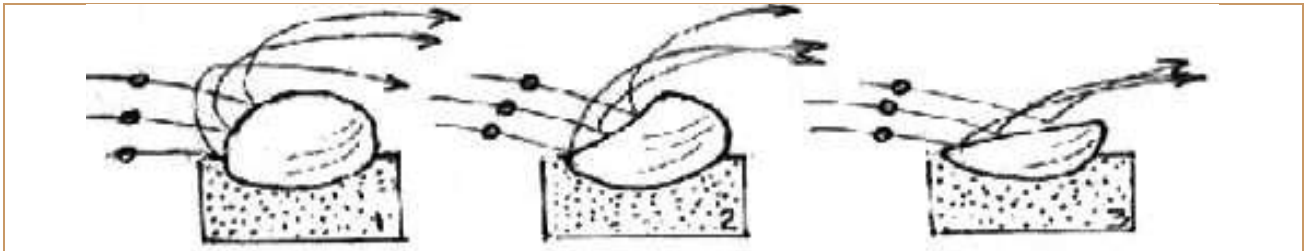


Figura 149. Formación de un ventifacto. Los ventifactos son bloques labrados, con brillos, facetas y formas caprichosas, por los granos que arrastra el viento. Adaptado de Longwell-Flint y Leet-Judson, Geología Física.

19.6.1 Abrasión (corrasión). Es el fenómeno de lija, para las tormentas de arena esa lija tiene 45 cm de espesor, los principales productos de ese proceso son los yardang y ventifactos; los yardang son minúsculos valles en U (ver figura 155) a modo de surcos pulidos en la roca al piso.

19.6.2 Deflación. Es la acción erosiva en la cual el viento transporta y clasifica depósitos no consolidados; los productos del proceso son dos: las cuencas de deflación y los pedestales. Estos últimos se explican por la acción combinada del viento y la lluvia (ver figuras 151 y 155).

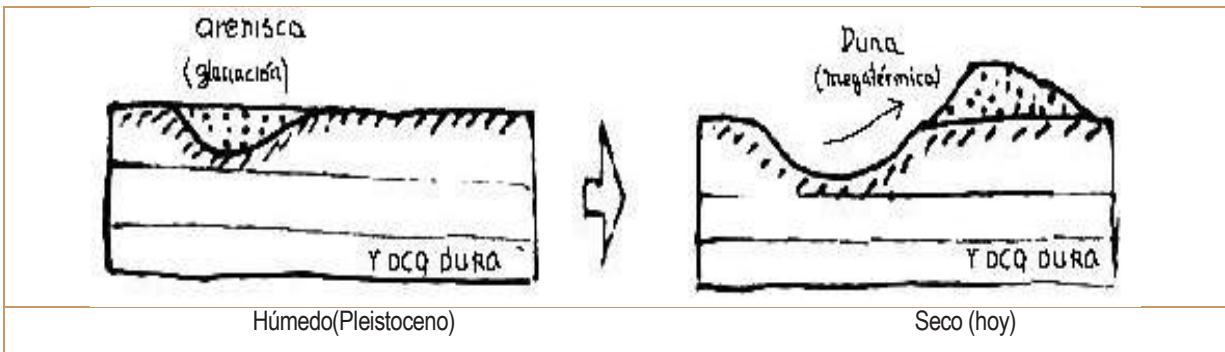


Figura 150. Formación de una cuenca de deflación: 1. en la edad del hielo una arenisca por acción de la humedad pierde su material cementante, 2. posteriormente esa arena emigra como una duna y abandona la cuenca de deflación. Según Leet y Judson, Geología Física.



Figura 151. Pedestales: son pilares en forma de hongo, resultado de la erosión diferencial de la lluvia y el viento en paisajes áridos. Tomado de La Tierra Planeta Vivo, Salvat.

19.6.3 Depósitos de viento. Son de dos tipos: loess y Dunas.

- **Loess.** Son depósitos no consolidados de limos que no emigran, cuyos espesores van desde los centímetros hasta los 10 metros. Originalmente las partículas se formaron en antiguos pantanos cuando las condiciones climáticas del lugar fueron afectadas por procesos de glaciación. Posteriormente quedaron ubicadas en zonas desérticas y de éstas fueron sacadas por el viento. El polvo más fino de los desiertos, puede ser elevado miles de metros de altura y transportado centenares de km., de tal manera que si éste sale del desierto puede formar un loess, suelo agrícola muy fértil por no haber estado sometido a un deslavado de bases.

- **Dunas.** Son depósitos de arena móviles que al emigrar sepultan objetos, y cuya altura varía entre los 30 y 200 metros mientras su base es 5 veces mayor. El avance de la duna se da en la dirección del viento y los métodos para fijarla son: a) colocación de empalizadas en la cresta de la duna con lo que se detiene el aporte de partículas procedentes de barlovento hacia el frente de la duna; b) instalación de plantas arbustivas cuyas raíces traban las partículas; c) incrementar la humedad de la zona con la finalidad de aumentar la cohesión entre las partículas

19.6.4 Clases de dunas. Las dunas pueden ser de cuatro clases, así:

- **Barjanas.** Depósitos en forma de luna creciente, cuyos cuernos en la dirección del viento anuncian suelo duro y plano. Los barjanas suelen encontrarse en el borde del desierto donde hay una menor cantidad de arena y algo de vegetación.

- **Longitudinales.** Camellones en la dirección del viento; anuncian viento fuerte o poca arena. Estas dunas cubren una extensión mucho mayor y los largos cordones de arena están separados por bandas de roca o piedras libres de arena por la acción de los remolinos del viento.

- **Transversales.** Semejan olas transversales al viento; anuncian viento suave pero oscilante ya sea por irregularidades en el suelo o variaciones dinámicas en la masa del aire. Un tipo particular es la duna de playa donde los camellones son paralelos a la playa y transversales a la dirección del viento.

- **En U.** Dunas dispuestas al contrario de los barjanas y que anuncian obstáculos longitudinales. Se diferencian de aquellos por tener la cara de deslizamiento en la parte convexa.

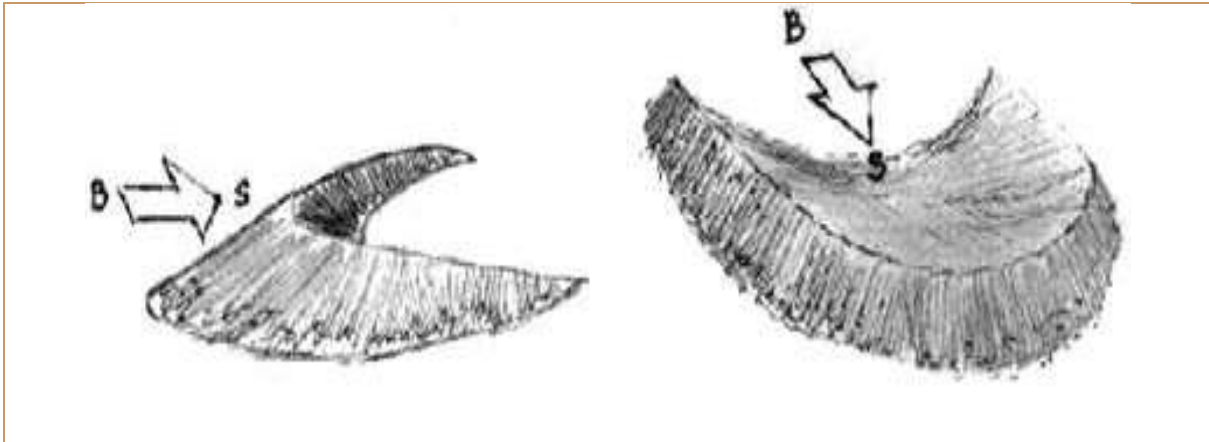


Figura 152. Barján y duna en U. La dirección del viento en una duna cualquiera la da su cara de deslizamiento. En el dibujo se ilustra un barján (derecha) y una duna en U (izquierda), ambas con la cara de deslizamiento en sotavento (S) y no en barlovento (B). Adaptado de Leet -Judson y Longwell- Flint, Geología Física.

19.6.5 Dinámica de las dunas. La fig. 153 A muestra el efecto de un obstáculo que explica la acumulación del depósito en la sombra del viento, las partículas pierden energía y se genera la turbulencia detrás del obstáculo. La fig. 153 B muestra la dinámica en el desarrollo de la duna, por la forma como evolucionan las pérdidas de energía y turbulencias señaladas. La fig. 153 C ilustra en su conjunto, como se forma la cara de deslizamiento de una duna, la que siempre aparece en sotavento, sin lo cual no podríamos diferenciar el barján de la duna en U.

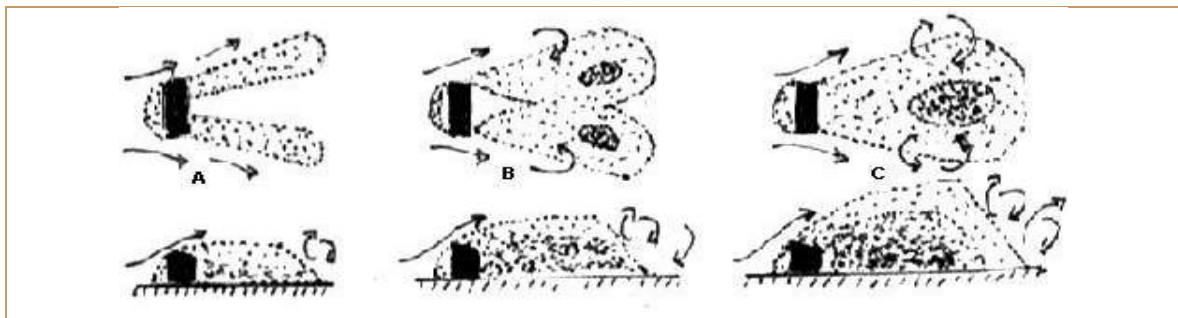


Figura 153. Dinámica de las dunas. De izquierda a derechas se muestra la secuencia temporal en el proceso de formación de una duna, a partir de un obstáculo. Arriba plantas y abajo perfiles, con líneas que muestran la trayectoria en viento y zonas de turbulencia; además de áreas oscuras en zonas de mayor concentración de material. Adaptado de Leet y Judson, Geología Física.

19.6.6 Evolución del paisaje. El paisaje árido evoluciona diferente al húmedo; en el primero se obtienen ríos escasos en meandros, una tendencia al drenaje enrejado; en el húmedo se tienen peniplanos, es decir, valles de poca inclinación, por lo tanto de ríos con meandros y con un drenaje que se inicia como dendrítico.

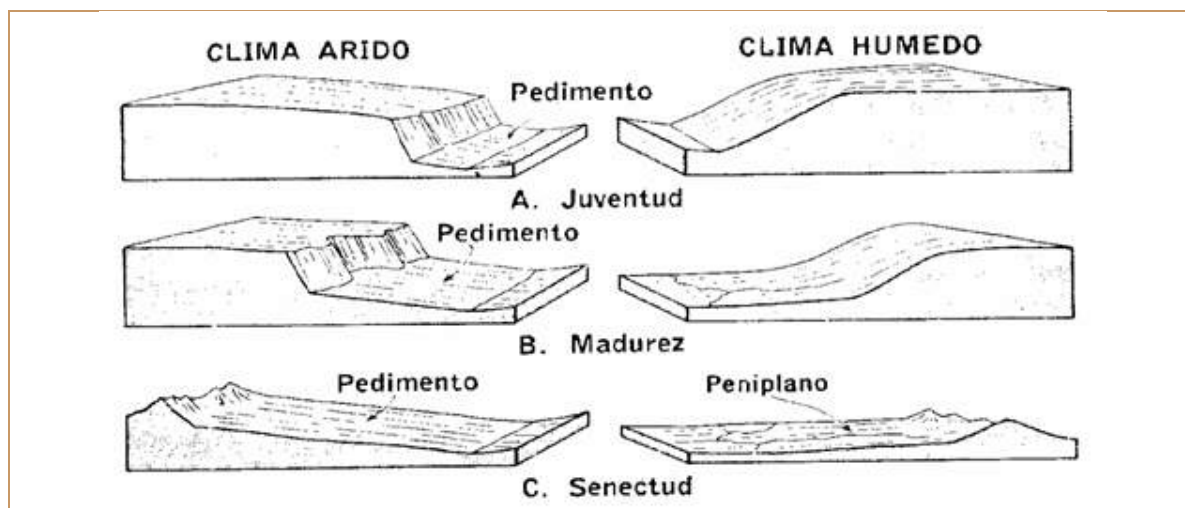


Figura 154. Evolución del paisaje húmedo y seco. A la izquierda la forma como evoluciona un paisaje árido formando un pedimento y desarrollando un drenaje paralelo; a la derecha la evolución de un paisaje formando un pedimento y desarrollando un drenaje dendrítico. Tomado de Leet y Judson, Geología Física.

19.7. DESIERTOS EN AMERICA

En América llueve todo el año en la cuenca amazónica y en las Guayanas y el Chocó. No llueve nunca en Atacama y en los desiertos de Arizona y Nevada de los Estados Unidos y Norte de Méjico. Por supuesto tampoco llueve en los polos.

En la región NW de Sur América, Colombia y Venezuela, además de los climas derivados de la latitud y la altitud, hay en la región clima tropical húmedo y tropical seco. El primero es el resultado de las influencias marinas del Atlántico, en la parte oriental y del Pacífico en la parte occidental.

La corriente ecuatorial del Atlántico empuja hacia las costas orientales de Venezuela y cuenca del Orinoco, vientos cálidos cargados de vapor de agua, los que al tomar altura sobre el continente condensan toda la humedad produciendo alta pluviosidad.

La corriente ecuatorial del Pacífico entra de frente a las costas colombianas en donde se encuentra con los aires fríos de la corriente de Humboldt, de lo cual resulta la gran pluviosidad de ésta zona.

Las zonas de clima tropical seco como es la costa norte y los llanos Orientales y de Apure, son el resultado de los vientos alisios que soplan durante medio año produciendo una estación lluviosa y otra seca. Los extremos del norte de la región, la Guajira y Coro, no alcanzan a recibir lluvias y son desérticos.

19.8. GOBERNANZA FORESTAL PARA LA ECORREGIÓN ANDINA DE COLOMBIA *

A continuación, dos notas verdes asociadas a la regulación hídrica y a la estabilidad de nuestros suelos, sobre nuestro patrimonio biótico, con la idea fundamental de crear conciencia sobre la importancia de avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua, que abarque a todos los miembros de la cadena forestal, e incluso a los consumidores finales. En relación con los bosques y con el agua, más importante que la cantidad de agua disponible y extensión de las forestas protegidas, lo que importa es su gestión y la conciencia social sobre su valor estratégico para la biodiversidad y la calidad de vida de los colombianos.

Los temas a tratar, son: Primero, para hacer un llamado sobre el deterioro de nuestros bosques andinos y selvas tropicales, consecuencia de la deforestación y del comercio ilegal de la madera, entre otras acciones que se constituyen en severa presión antrópica sobre estos frágiles y vitales ecosistemas. Y segundo, la guadua, planta emblema de caldas y recurso fundamental nativo de la región andina, que por sus múltiples usos en el hábitat rural y urbano, se constituye en un elemento estructurante de nuestra cultura y en una impronta del paisaje de la ecorregión cafetera colombiana.

Ambos se han tomado de un par de columnas, surgidas de un ejercicio académico en el que he participado con Carder y Aldea Global, para producir un par de textos relacionados con el proyecto de Gobernanza Forestal en Colombia: Ver en: <https://godues.wordpress.com/2014/10/30/>



Imagen 104: Selva tropical andina y Guadual de la ecorregión cafetera, en Wikipedia y Villegas Editores.

El ocaso del bosque andino y la selva tropical

Dos problemas estructurales íntimamente ligados, la deforestación y el comercio ilegal de la madera, han sido las causas primeras del gradual ecosidio cometido sobre un patrimonio fundamental para el agua y la biodiversidad, como lo son nuestros bosques andinos y selvas tropicales. Si en Colombia la tasa anual de deforestación en 2013 llegó a valores superiores a 300 mil hectáreas, también en la Ecorregión Cafetera, un territorio biodiverso que alberga al 7% de las especies de plantas y animales del país donde el paisaje estuvo dominado por bosques, ahora solo se conserva menos del 20% de dicha cobertura.

Para el Ideam, mientras la cifra entre 1990 y 2010 llegó a 310 mil hectáreas-año, y en el Chocó se pierde la batalla contra la deforestación: la Región Andina fue la zona más afectada, seguida de la Amazonía. En cuanto a los principales procesos de destrucción de bosques y selvas de Colombia durante los últimos 60 años, Julio Carrizosa Umaña señala la colonización con propósitos de ganadería extensiva cuando se ofrecieron como alternativa a la reforma agraria, luego el uso de estos como protección de grupos armados y más tarde la presión sobre estos ecosistemas como soporte de cultivos ilícitos. Indudablemente, faltarían la expansión urbana, la palma africana y la actividad minera. La tala ilegal en Colombia cuya cuantía alcanzó al 42 por ciento de la producción maderera según el Banco Mundial (2006), cantidad equivalente a 1.5 millones de metros cúbicos de madera que se explota, transporta y comercializa de forma ilegal, evidencia una problemática que amenaza la sostenibilidad de los bosques nativos, y la subsistencia de especies maderables apreciadas en el mercado, como el abarco, el guayacán y el cedro, para lo cual las Corporaciones Autónomas aplican nuevos modelos y ajustan los existentes, para hacerlos más efectivos.

El Eje Cafetero, donde los paisajes están dominados por potreros, cafetales, plantaciones forestales, plataneras y cañaduzales, también la infraestructura y uso de agroquímicos, le pasa factura a los ecosistemas boscosos. Aún más, de un potencial del suelo que es del 4% para potreros, dicha cobertura en 2002 llegó al 49%; de un potencial del suelo para usos forestales del 54%, en 2002 los bosques del territorio solo llegaban al 19%; y de unos usos agrícolas y agroforestales cuyo potencial es del 21% y 20% en su orden, la cobertura agrícola en 2002 subía al 30%. Y respecto a los bosques naturales de guadua, una especie profundamente ligada a nuestra cultura que se expresa en el bahareque, cuyo óptimo desarrollo se da entre 1000 y 1600 msnm, afortunadamente las CAR de esta ecorregión han logrado mitigar la tendencia a su pérdida mediante la implementación de la Norma Unificada para su manejo, aprovechamiento sostenible y establecimiento de rodales y la combinación de dos estrategias: el proceso de Certificación Forestal Voluntaria, cuyo objeto es la apropiación del guadual por parte del propietario para lograr la articulación de los planes de manejo y de cosecha, y la zonificación de las áreas potenciales y el inventario de áreas cubiertas con guadua.

A pesar de los esfuerzos que históricamente se han hecho desde el Estado colombiano para combatir el delito de la ilegalidad forestal y la preocupante pérdida de los bosques naturales, dos flagelos que podrían acabar con los recursos forestales del país en cien años, se requiere avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua que abarque a todos los miembros de la cadena forestal, e incluso a los consumidores finales. Para el efecto se requiere fortalecer los aspectos técnicos, normativos, operativos y financieros en los instrumentos y estrategias de las autoridades ambientales responsables del control y vigilancia forestal y del cuidado de los recursos naturales; y desarrollar campañas orientadas al conocimiento de la normatividad sobre legalidad forestal y a la sensibilización sobre la importancia del bosque; y segundo, desarrollar políticas públicas que enfrenten esta problemática como una estrategia de adaptación al cambio climático, con directrices que contemplen el ordenamiento de cuencas, establecimiento de corredores de conectividad biológica e implementación de modelos agroforestales y silvopastoriles, para resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo, lo que obligaría a replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica.

Un SOS por la bambusa guadua

Cuando esta “aldea encaramada” de trama urbana reticulada superaba los 10 mil habitantes y soportaba su economía en el café y en la arriería de cientos de bueyes y mulas, tras los pavorosos sismos de 1878 y 1884 que derrumban el templo principal, surge el bahareque al cambiar la tapia pisada por una “estructura temblorera” configurada por una cercha de arboloco y guadua, con paneles de esterilla cubiertos por una mezcla de estiércol de equinos y limos inorgánicos, o por láminas metálicas, arquitectura cuyo mayor exponente era la Catedral de Manizales que se incendia en 1926.

Si en algún lugar de Colombia la guadua ha sido factor fundamental del paisaje natural y del patrimonio arquitectónico nativo, es en la ecorregión cafetera donde la gran riqueza de su construcción vernácula se basa en el uso de esta bambusa, en cuyo estudio se han ocupado la Universidad Nacional de Colombia y la UTP abordando los ámbitos socio-económicos, tecnológicos y arquitectónicos de los sistemas constructivos, como la Universidad de Caldas y la CRQ en las componentes agronómica y biótica de la guadua. Además de la utilidad que presta el rodal como regulador hídrico de las quebradas, en el control de la erosión del suelo y como hábitat de la biodiversidad, este “acero vegetal” liviano de rápido crecimiento, resistencia y manejabilidad, ha servido como material de construcción en formaletas, andamios o como elemento estructural en columnas y vigas, y usado para muebles, herramientas, artesanías, canales de conducción de agua, trinchos, postes, juegos e instrumentos musicales, o para materia prima del papel y leña, entre otros.

Cualquier cafetero por sus vivencias exitosas asociadas a los beneficios cotidianos de la guadua, sabe que en lugar de llevar los cafetales hasta la quebrada debería recuperar los bosques de galería sembrando guaduales para proteger los cauces. Y hoy podría hacerlo soportado en las acciones de las autoridades ambientales orientadas a incidir en un modelo agropecuario y ambiental que reconoce la importancia de la guadua como alternativa económica y cultural para el desarrollo rural, e inspiradas en una política ambiental que busca prevenir la deforestación y propiciar el uso y manejo de los rodales naturales de guadua en el marco de la adaptación al cambio climático y la problemática del agua. Actualmente las CAR de la región cafetera, han construido y consolidado un esquema de gobernanza forestal, soportado en cuatro elementos: 1) el acompañamiento técnico brindado a los actores forestales, 2) los ajustes normativo para el acceso legal a los aprovechamientos, 3) la atención a los usuarios buscando la reducción del tiempo en los tramites, y 4) el fortalecimiento del mercado legal no sólo de la guadua sino de la madera.

Lo anterior lo consignamos en las “Lecciones aprendidas entorno a la legalidad y sostenibilidad de la guadua” (2012), publicación de la Corporación Autónoma Regional del Risaralda CARDER elaborada en el marco del proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia, donde se trata la problemática de la legalidad y de la sostenibilidad de esta preciosa gramínea, una de las especies nativas más representativas de los bosques andinos, declarara planta emblema de Caldas según Decreto 1166 de octubre 20 de 1983. Similarmente, la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS y la Cámara de Comercio de Manizales, en el trabajo “Microclúster de la guadua” (2003), su prólogo “El milagro de la guadua” de Mario Calderón Rivera, recuerda que esta especie que formó no solo el hábitat que creó la gesta colonizadora, sino todo un universo cultural, por la captura de CO2 podría jugar un papel de primer plano en el desarrollo del protocolo de Kioto.

Pero, así Jorge Villamil haya visto los guaduales “danzar al agreste canto que dan las mirlas y las cigarras” y Simón Vélez con el empleo estético en sus notables creaciones arquitectónicas haya exaltado las virtudes sismo-resistentes de la guadua, no hemos sabido valorarla: de conformidad con lo consignado en ambos documentos, en los últimos dos siglos la extensión de guaduales en el país se redujo ostensiblemente: se pasa de unos doce millones de hectáreas a sólo cincuenta mil, de las cuales cerca de 20 mil hectáreas están en la zona cafetera y 6 mil en Caldas.

* Ref. Revista Civismo N° 461 de la SMP de Manizales <http://spm-manizales/galeon.com>

19.9. CLIMA EXTREMO, DESASTRES Y REFUGIADOS



Imagen 105: Sequía en el Cuerno de África y Tsunami de Japón, año 2011.

Con la incidencia de los fenómenos climáticos extremos ahora exacerbados por el calentamiento global, la posibilidad de tener desplazados es un 60% mayor que hace cuarenta años; según el Consejo Noruego para los Refugiados, a causa de los desastres naturales cada segundo una persona está siendo desplazada; en 2014 los desplazados internos del mundo sumaron 19,3 millones, de los cuales 17,5 lo fueron a causa de siniestros relacionados con el clima. Con 23.000 víctimas, las catástrofes naturales de 2015 costaron más vidas que en 2014; contrariamente, dichos siniestros en 2015 generaron pérdidas económicas por U\$90 mil millones, cuantía no sólo inferior a las pérdidas por U\$110 mil millones alcanzadas en 2014, sino también a la media anual de U\$130 mil millones para los últimos 30 años.

El informe 'Estado de la población mundial 2015, un refugio en la tormenta', además de advertir que "Vivimos en un mundo en el que las crisis humanitarias arrebatan una cantidad cada vez mayor de recursos a las economías, las comunidades y los individuos", señala cómo en los últimos 20 años los damnificados por desastres naturales sumaron en promedio cerca de 200 millones por año. A esta cifra habrá que sumar 65 millones de víctimas por epidemias, adversidades tecnológicas y conflictos armados, como el caso de Siria donde 7 millones de desplazados internos y 4 millones de refugiados, expresan la peor crisis humanitaria de la época.

En lo corrido del siglo, 8 eventos climáticos y 8 telúricos comparten el ranking de los desastres naturales memorables: el Sismo de Nepal en 2014, el Tifón Haiyan de Filipinas en 2013, el paso del Huracán Sandy por el Caribe y Norte América en 2012, el Terremoto y Tsunami de Japón en 2011, la Sequía y hambruna del Cuerno de África en 2011, el Sismo de Haití en 2010, la Ola de calor en Rusia durante el 2010, el Terremoto y tsunami de Chile en 2010, los Huracanes Ike y Gustav por el Caribe y EE.UU. en 2008, el Huracán Nargis de Birmania en 2008, el Terremoto de Sichuan (China) en 2008, el Terremoto de Ika en 2007, el Huracán Katrina por centro América y el Caribe en 2005, el Terremoto de Cachemira en 2005, el Tsunami de Indonesia en 2004, el Terremoto de Bam (Irán) en 2003, y la Ola de calor en Europa el 2003.

Al examinar estas catástrofes con sus causas y consecuencias, pareciera que la problemática radicaría, más que en las amenazas que no siempre pueden ser intervenidas, en la vulnerabilidad de las comunidades expuestas, porque no están siendo preparadas ni mitigada la susceptibilidad del hábitat a los desastres con medidas integrales previas suficientes para reducir el riesgo. Si décadas atrás, dado el hacinamiento en las grandes urbes del tercer mundo ubicadas sobre áreas geológicamente activas, los esfuerzos en la mitigación del riesgo sísmico fueron precarios, ahora con el cambio climático también habrá que gestionar el riesgo hidrogeológico, corrigiendo el uso conflictivo del suelo para prevenir los crecientes desastres ambientales originados por la ocurrencia cada vez más frecuente de eventos climáticos extremos, causantes de incendios forestales y hambrunas en tiempos de sequía, e inundaciones y deslizamientos en períodos invernales.

Para el caso colombiano, según el Departamento Nacional de Planeación DNP, entre 2006 y 2014 uno de cada cuatro colombianos resultó afectado por desastres climáticos con detonantes naturales, como fenómenos hidrogeológicos asociados a pasivos ambientales, conexos a factores antrópicos como la deforestación y el calentamiento global. Esto significa un total de 12.3 millones de damnificados en dicho período, de los cuales 9.4 se vieron afectados por deslizamientos e inundaciones. Ahora, en el marco territorial, dada la alta exposición de las zonas pobladas a las amenazas y deterioro ambiental causado por actividades conflictivas, según el DNP, la más afectada en esos catorce años fue la Región Andina, seguida de otros departamentos, así: por departamentos y por vidas perdidas, lo fueron Antioquia, Cundinamarca, Caldas, Tolima, Cauca y Santander con el 52% de las 3181 vidas perdidas; en cuanto a viviendas destruidas, el mayor nivel con un 47% de las pérdidas, se dio en Nariño, Chocó, Bolívar, Boyacá, Cundinamarca y Santander; y por infraestructura vial afectada, puntuaron Huila, Nariño, Cundinamarca, Santander y Cauca, con el 66 % del total.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015.01.18]

19.10. EL TORTUOSO CAMINO DE LOS ACUERDOS CLIMÁTICOS

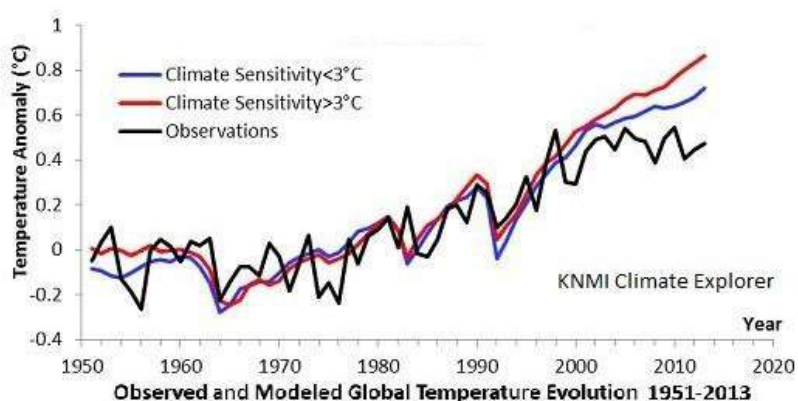


Imagen 106: Evolución Observada y Modelada de la Temperatura Global, 1951-2013. Fuente: KNMI Climate Explorer.

Urge mitigar las concentraciones de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, acordando en París (2015) llevarlas en un período suficiente de tiempo a un nivel que impida las interferencias antrópicas en el sistema climático global, para no poner en riesgo la adaptación natural de los ecosistemas, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico sostenible. ¿Se logrará acaso que para ese momento las naciones anuncien su compromiso de reducir entre el 40 y 70% dichas emisiones antes del 2050, cuantía necesaria para limitar a 2 grados centígrados el incremento de la temperatura del planeta? El problema en el fondo, es ético: en la Cumbre de la

Tierra celebrada en Johannesburgo (2002), el Plan de Acción propuesto fracasó, primero por la solicitud del Norte al Sur para afianzar el respeto a los derechos humanos y la lucha efectiva contra la corrupción, y segundo por el establecimiento de nuevos objetivos para la reducción de la pobreza.

Con el cambio climático, se han calentado más los continentes que los océanos, generándose graves consecuencias para las regiones mediterráneas, como ya lo advertimos con los eventos de La Niña 2010/11 en Colombia, y también se han afectado los litorales tanto en zonas costeras como en plataformas continentales, donde se empieza a observar la acumulación perjudicial del material erosionado del continente, transportado por los ríos hasta el mar. A modo de ejemplo: mientras El Niño en nuestra región andina trae prolongadas e intensas sequías agravadas por la deforestación, a lo largo del desértico litoral del Pacífico sudamericano éste fenómeno se expresa con copiosas lluvias, que exacerban la erosión hídrica y generan turbias crecientes en los ríos, que con los sedimentos llevados hasta el mar, reducen la fotosíntesis menguando las poblaciones de peces y aves marinas productoras de guano costero.

Pero el Acuerdo del Clima en Lima COP20, se ha quedado corto: aunque pone fin a la división entre países pobres y ricos, al no haber logrado sentar las bases requeridas para un pacto global en París (2015), se queda en “el mínimo común denominador más bajo”, según los expertos. Pareciera que el modelo actual de desarrollo centrado en el consumo, le seguirá cerrando puertas a la sustentabilidad, donde economía ecológica, erradicación de la pobreza y políticas públicas ambientales, son claves, al igual que reconocer el impacto sobre el clima, fruto de la contaminación industrial, de la deforestación y del actual modelo agropecuario basado en usos altamente conflictivos del suelo. Algo similar a lo de Lima había ocurrido en Brasil (2012), cuando en la conferencia de desarrollo sostenible “Rio+20”, se alcanza el acuerdo consignado en la decepcionante declaratoria “El futuro que queremos”, producto de un evento donde brillaron por su ausencia Estados Unidos, Alemania y el Reino Unido.

Como antecedente, en Bali (2012) COP18 había establecido un segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kyoto, entre 2013 y 2020, logrando comprometer sólo a la Unión Europea, a Australia y a un puñado de países en desarrollo, y señalando las metas concretas al 2020, en el marco de un proceso que mostró el pálido compromiso de grandes potencias industriales, como Estados Unidos, Rusia, Canadá y Japón, quienes no respaldaron la prórroga. Contrariamente, la Unión Europea se había comprometido en 2008 con una reducción en un 8% del nivel de emisiones totales alcanzadas en 1990, para el 2012. Posteriormente, en Varsovia (2013) COP19 dejó muchos temas abiertos para resolver en Lima con COP20, evento que acaba de concluir.

Si bien el Protocolo de Kioto (1997) adoptado para entrar en vigor en 2005 y ratificado en 2009, sólo afectó al 15% de las emisiones mundiales, ya en Lima (2014) con COP20 se lograron consensos fundamentales al confirmarse la buena disposición de los países más contaminantes, para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Ahora cuando queda el reto de hacer compatibles los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones fijados por la Unión Europea, la siguiente cumbre del clima será una prueba para la diplomacia del viejo continente: ¿Se podrá alcanzar en París con COP21 un acuerdo vinculante para limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 o 2 grados centígrados, y establecer controles que verifiquen su cumplimiento? [Ref.: La Patria, Manizales, 2014.12. 22]

19.11. IRMA ARRASA LAS ANTILLAS MENORES

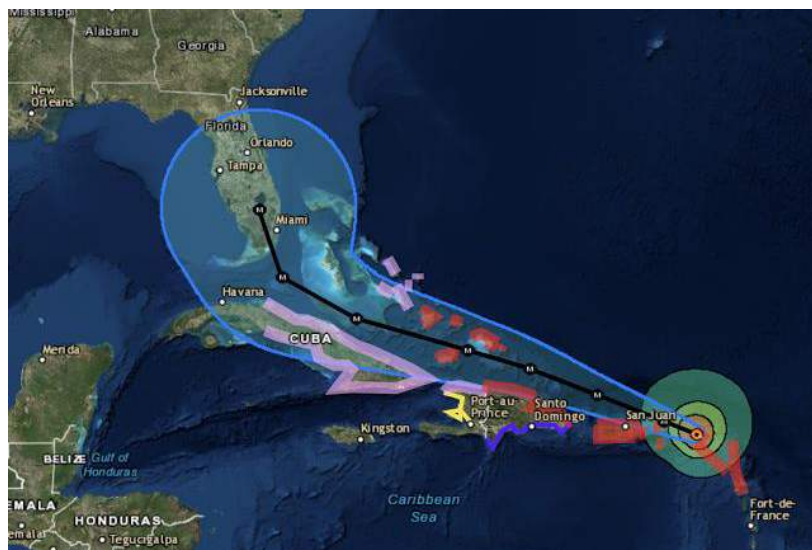


Imagen 107: Ruta del ciclón Irma, transitando el Caribe, según NHC NOAA.

Se escribe esta columna, cuando uno de los huracanes más fuertes y duraderos registrados en el Atlántico, denominado Irma, ha llevado muerte y destrucción al Caribe para continuar sobre la zona costera desde La Florida hasta Georgia, donde se debió declarar el estado de emergencia desde mediados de la pasada semana. Inicialmente, con sus vientos de más de 297 kilómetros por hora, dicha tormenta que logra alcanzar categoría 5, tras la devastación que provoca a su paso por Barbuda y San Martín, al surcar por el norte de República Dominicana dejando atrás a Puerto Rico, disminuye levemente su intensidad hasta convertirse en categoría 4, para continuar sobre la ruta prevista afectando a Haití y Cuba que quedaron al sur de la trayectoria directa del huracán.

Harvey, Irma y José además de otras tormentas en formación, confirman el pronóstico que meses atrás hacía el Centro de Predicción Climática adscrito a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos, cuando anticipaba la posibilidad de que la

temporada prevista para el segundo semestre de 2017, con un estimativo de dos a cinco huracanes fuertes en el Atlántico podría ser la más intensa desde 2010. La llegada de Irma al sur de Florida ha provocado evacuaciones masivas de miles de residentes de zonas costeras o en la probable ruta del ojo del huracán, generando inmensas colas en las autopistas que van al norte: el pasado viernes, luego de que el pronóstico del Centro Nacional de Huracanes indicara que era más probable que el fenómeno tocara tierra en el sur del estado, se dio la mayor evacuación conocida desde los cayos y ciudades peninsulares.

La escala Saffir-Simpson, que califica el poder destructivo de un huracán valorándolo de 1 al 5, asigna categoría 1 al evento ciclónico cuyos vientos alcanzan velocidades entre 119 y 153 kilómetros por hora y olas que pueden llegar a 1,5 metros de altura; y grado 5 a una tormenta en la cual ya los vientos sostenidos superan 250 kilómetros por hora y las olas pueden superar los 6 metros. Dado que la intensidad de los ciclones varía con el cuadrado de la velocidad de sus vientos, se puede inferir el daño que puede ocurrir cuando el fenómeno natural toque tierra: mientras que en categoría 1 pueden darse inundaciones en zonas costeras y daños menores, en categoría 5 colapsan techos de viviendas, al tiempo que escombros y objetos derruidos son arrastrados por vientos severos.

En la mitología griega, la deidad asociada a estos fenómenos es Tifón hijo de Gea, quien intentó destruir a Zeus por haber derrotado a los Titanes; un monstruo que además de erupcionar lava, con el batir de sus enormes alas crea huracanes y terremotos. De ahí que al hablar de vientos extremadamente fuertes, consecuencia del giro del aire alrededor de una región de baja presión, se aluda de igual manera a tifones y huracanes según estemos en regiones del Pacífico o del Atlántico, para luego asignarles una denominación específica según las diferentes regiones del planeta, dándoles nombres de personas y siguiendo en todos los casos criterios unificados para evitar confusiones: esto a diferencia de lo que ocurría antes, cuando el fenómeno atmosférico ciclónico lo bautizaba quien lo descubría.

Al recordar que también huracanes de categoría 5 -como Camille que llegó a tierra en Mississippi con vientos sostenidos de 305 kilómetros por hora en agosto de 1969, Andrew reconocido como uno de los ciclones tropicales más destructivos del siglo XX sucedido en agosto de 1992, o Katrina en 2005 con un saldo de 1.833 víctimas mortales en Nueva Orleans-, pese a las medidas de prevención siempre llevan sus consecuencias fatales a países que se han preparado, también debemos tomar previsiones en Colombia: así como Irma se constituye en el primer huracán que azota las Antillas Menores con esa intensidad, en San Andrés y Providencia por ser nuestro escenario más expuesto deberemos ser conscientes, de que frente a esta amenaza climática ahora exacerbada por el calentamiento global, se debe trabajar en la prevención anticipada dado el alcance espacial y ruta incierta que presentan dichas tormentas, como generadoras de lluvias copiosas, marejadas y vendavales, asociados a sus extensos brazos que también traen inundaciones, riadas y deslizamientos, como eventos secundarios. {Ref. La Patria. Manizales, 2017/09/11}

19.20. AIRE CONTAMINADO... ¿QUE HACER?

RESUMEN: Según la Organización Mundial de la Salud, el 92% de los humanos respira aire contaminado. Si el uso del carbón en la industria es una de las causas, también el transporte público como emisor de sulfatos, nitratos y hollín, genera el 68% de la contaminación del aire. Mientras la exposición humana al hollín vertido por los automotores provoca en el mundo alrededor de 3 millones de muertes por año, en Bogotá donde el 53 por ciento de los vehículos del SITP estarían evadiendo la revisión técnico-mecánica, y en Medellín donde el 48 por ciento de los vehículos no pasarán la prueba de emisión de gases, en lugar de combatir la corrupción y de exigir filtros en las fuentes contaminantes, se aplican medidas que afectan la movilidad y la economía. Aunque la Resolución 2154 de 2010 del MinAmbiente obliga a que los municipios de más de 50.000 habitantes instalen sistemas de monitoreo del aire, muchas ciudades de Colombia aún no han implementado las mediciones.



Imagen 108. Colombia: contaminación en centros urbanos con PM10. El Tiempo.

La contaminación del aire por industrias y vehículos, en especial por automotores de motor diésel sin filtro ni control, es un problema que afrontan muchas ciudades del mundo, y que ahora preocupa en Colombia dada la problemática de Bogotá y Medellín exacerbada por la carencia de lluvias, y en la Guajira por el polvillo de carbón. Los indicadores ambientales que valoran el material

particulado por metro cúbico de aire son el PM_{2,5} y el PM₁₀, que en su orden miden la masa de partículas menores o iguales a 2,5 y a 10 micras en suspensión como causa de efectos negativos para la salud humana, especialmente para la población infantil y de adultos mayores.

La norma internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS) al establecer límites por dicha contaminación considerando el riesgo de afectación antropogénica irreversible del tracto respiratorio, fija las siguientes cuantías en microgramos por metro cúbico: para el PM₁₀ donde el 75% de las emisiones se relaciona con la ignición ineficiente de combustibles fósiles: 20 µg/m³ (media anual) y 50 µg/m³ (media diaria); y para el PM_{2,5} en el cual la problemática comúnmente se asocia a partículas ácidas provenientes de combustibles fósiles con una participación del 81%, y de la producción manufacturera y quema agrícola con el porcentaje restante: 10 µg/m³ (media anual) y 25 µg/m³ (media diaria).

Si Colombia en la norma para la media diaria fija 70 µg/m³ como límite en el PM₁₀ y 37 µg/m³ para el PM_{2,5}, aunque algunas ciudades como Bogotá y Medellín o regiones como la Guajira y lugares puntuales, no sólo superan dichos límites más tolerantes que los de la OMS, en el caso de Manizales donde el volcán del Ruiz hace un aporte natural con ceniza y por fortuna se cuenta con la Red de monitoreo operada por la U.N. y Corpocaldas, aunque las medias son buenas en vecindades de zonas industriales y en el Centro con algunos vehículos que vertiendo hollín transitan como “chimeneas”, el asunto amerita atención dado que ya se reportan anomalías ocasionales.

Los niños que viven en áreas contaminadas del país buscan más atención médica por síntomas respiratorios y crisis de asma: en el sector portuario carbonífero de Santa Marta, donde las concentraciones excedieron los 70 µg/m³ de PM₁₀ en Gaira (83,7 µg/m³) y Pescaíto (74,7 µg/m³), un estudio descriptivo sobre el asma identificó alérgenos intradomiciliarios y presencia de sintomatología en niños. Similarmente, en Bogotá, otro estudio con población infantil estableció una asociación significativa entre la enfermedad respiratoria aguda y la concentración de PM₁₀.

Si bien la exposición prolongada a lugares de aire contaminado por dichas partículas puede causar desde irritación en los ojos, reacciones alérgicas hasta cáncer, también habrá que considerar que este es un problema de salud pública con consecuencias de morbilidad y mortalidad dadas las afectaciones en las vías respiratorias superiores -congestión nasal, sinusitis y tos- que se suman a las producidas en las vías respiratorias inferiores -bronquitis crónica, exacerbación del asma preexistente, enfisema y enfermedades cardiopulmonares-.

Según el Min-Ambiente, entre los focos de emisión en Colombia, donde el transporte contribuye con el 80% de la contaminación del aire, las mayores concentraciones registradas se han presentado así: por PM₁₀, en Carvajal – Sevillana en Bogotá, Las Américas en Yumbo (Valle del Cauca), Tráfico Centro en Medellín, Molinos en Santa Marta y Éxito San Antonio en Medellín; y por PM_{2,5} en Tráfico Sur en Sabaneta, Tráfico Centro en Medellín, Carvajal-Sevillana en Bogotá, Facultad de Minas en Medellín y Corporación Lasallista en el municipio de Caldas.

Finalmente, si se desea un ajuste estructural habrá que exigir el filtro del diésel y fortalecer controles semaforizados con calcomanías ambientales roja, amarillo y verde para acceder selectivamente zonas urbanas críticas: dicha medida de mayor impacto ambiental y menor costo social por no afectar la movilidad ni la economía, sería más efectiva que el “día sin carro” implementado en Bogotá para inmovilizar 1.700.000 carros y 480.000 motos entre las 5:00 am y las 7.30 pm, así se hayan generado más de 2.000.000 de viajes en bicicleta; o que las de Medellín para sustituir el “pico y placa ambiental” de 7:00 a 8:30 am y de 5:30 a 7:00 pm en su Área Metropolitana donde circulan más de 1.300.000 carros. [Ref.: La Patria. Manizales, 2018-02-24]

Lecturas complementarias

Redes de flujo.

El flujo subterráneo en un acuífero se puede representar mediante redes de flujo. Las líneas de flujo son perpendiculares a las superficies equipotenciales. Las líneas de flujo y las líneas equipotenciales, forman una red de flujo de rectángulos curvilíneos. Estudio del flujo ascendente y descendente en permeámetros, y del Flujo bidimensional. Cálculo de subpresiones y de estabilidad en presas y tablestacados.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/flujoedeaguaenelsuelo.pdf>

Cultura y Turismo en Caldas.

El bioturismo: un servicio que se soporta en lo autóctono y en la biodiversidad, y en "vías lentas con poblados lentos" para la oferta de bienes culturales y servicios ambientales, además de ser una estrategia que permite enfrentar el calentamiento global, contribuye a la viabilidad del proyecto del Paisaje Cultural Cafetero ajustado a las determinantes de la declaratoria de la UNESCO (2011), para resolver con ello los dos mayores desafíos del sector, el económico y el ambiental, para las siguientes décadas: Ver en: <https://youtu.be/vVnMSgh8qFw>

El territorio caldense, ¿un constructo cultural?

Esta ponencia que trata de las complejas y frágiles relaciones dialécticas de simbiosis y parasitismo entre las comunidades que lo habitan y los frágiles ecosistemas con su particular estructura ecológica de soporte, y de los activos naturales y bienes culturales de la región, subraya los desafíos caldenses que tenemos para hacer de Caldas un “constructo cultural”, bajo la siguiente premisa: "Un espacio geográfico en sí, no es el territorio, entendido éste como una construcción social e histórica, donde la cultura es el fruto de la Interacción de dos sistemas complejos: el natural y el social". Ver en: <https://youtu.be/Cp4tDLfH2cA>

De la Cumbre de Durban al desastre de Colombia.

Mientras Colombia incluye el tema del calentamiento global en su Plan de Desarrollo 2010-2014, los ciudadanos del planeta deberemos esperar ocho años más, por cuenta de los países contaminantes. En Colombia se calentará menos la zona Andina (2° a 3°C), que las dos costas, la Orinoquía y la Amazonía (3° a 4°C). Y aunque las causas se detengan desde ahora, la recuperación del ecosistema global tardará décadas, pero los daños serán irreversibles. Ver en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8813/gonzaloduqueescobar.201182.pdf>

Río Blanco, cuna de vida...

En el caso de La Aurora, con la "jungla de concreto" usurpando el anillo de contención de la Reserva Protectora de Río Blanco, se violaron los derechos ambientales bioculturales en el territorio de una reserva estratégica para la Nación y para Manizales, por las especies endémicas que protege y por los servicios ambientales que le provee a la ciudad. Añadido a lo anterior, que las decisiones del POT y licencias expedidas, por violar los artículos 1 y 78 de la Carta, la Ley Ambiental General (Art 1) y los principios rectores de la Ley 388 del Ordenamiento Territorial (Art 2), son ilegales, razón por la cual invoco la aplicación del Principio de precaución contemplado en el Art 1 Numeral 6 de la Ley 99 de 1993. Ver en:

https://youtu.be/HPU_NT4zaag

LA GOBERNAZA FORESTAL

<p><u>Aqua como bien público.</u> <u>Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente.</u> <u>Acuerdo sectorial ganadero.</u> <u>Aqua y Clima en la Ecorregión Cafetera.</u> <u>Árboles, poblaciones y ecosistemas.</u> <u>Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.</u> <u>Bosques en la cultura del agua.</u> <u>Bosques para la Estabilidad del Medio Ambiente.</u> <u>Calentamiento global.</u> <u>Cambio climático y gestión ambiental en Caldas.</u> <u>Clima, deforestación y corrupción.</u> <u>Clima: las heladas.</u> <u>Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos.</u> <u>Colombia, país de humedales amenazados.</u> <u>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</u> <u>Ciencias Naturales & CTS.</u> <u>Cuatro PNN, patrimonio natural de la Ecorregión Cafetera.</u></p>	<p><u>Daño a reserva forestal que protege a Manizales.</u> <u>Desarrollo urbano y huella ecológica.</u> <u>Ecorregión Cafetera y Bioturismo.</u> <u>El inestable clima y la crisis del agua.</u> <u>El llanto de Yuma bajo el cielo de Guarinocito.</u> <u>El ocaso del bosque andino y la selva tropical.</u> <u>El Paisaje Cultural Cafetero: ¿sujeto de derechos?</u> <u>El Río Grande, su ecosistema y la hidrovía.</u> <u>Gestión y política pública ambiental, en Colombia.</u> <u>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</u> <u>La actividad minera solicitada en Planalto, es incompatible con el medio ambiente.</u> <u>La Aurora V.S. la Reserva Río Blanco.</u> <u>La historia del Cerro Sancancio.</u> <u>Lecciones de Río Blanco: más ecosistemas.</u></p>	<p><u>Legalidad y sostenibilidad de la quadua en la ecorregión cafetera.</u> <u>Nuestros bosques de niebla en riesgo.</u> <u>Paisaje y Región en la Tierra del Café.</u> <u>Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera.</u> <u>Plan de ordenación y manejo ambiental cuenca del río Guarínó: fase prospectiva.</u> <u>Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC.</u> <u>Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina.</u> <u>¿Réquiem por la Reserva de Río Blanco?</u> <u>Río Blanco, cuna de vida...</u> <u>Por La Aurora, invocando el principio precautorio.</u> <u>Río Blanco: el legado de Conrado Gómez Gómez.</u> <u>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</u></p>
--	--	---

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

[A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.](#)



Valle glaciar PNN de los Nevados, Colombia. Carlos E. Escobar Potes.

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 20

GEOMORFOLOGÍA

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se institucionalizó a finales del siglo XIX y principios del XX y sus haberes se asientan en los saberes acumulados por las demás ciencias de la Tierra que se sistematizaron a partir de la actitud ilustrada respecto de la naturaleza y sus complejas consecuencias en nuestra cultura.

Pero la Tierra es amplia, diversa y desigualmente conocida, lo cual plantea problemas a los científicos por la gran variedad y aparente dispersión de hechos y procesos, por su dependencia de múltiples factores y por la dificultad de encontrar en su generalidad las leyes que los rigen.

Estos hechos y procesos pueden ser microscópicos y aparecer aislados, pero las formas del relieve sólo pueden entenderse de modo global como pertenecientes a la totalidad del planeta e integradas en la totalidad de la naturaleza donde participan de múltiples relaciones. Conocer las causas es explicar las geoformas, pues la geomorfología tiene que dar cuenta de la génesis del relieve y tipificar sus geoformas: explicar fuerzas y procesos y clasificar resultados.

20.1. LA GEOMORFOLOGIA COMO CIENCIA

La geomorfología se especializa en estructural (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

20.1.1 Conexión con geología, climatología, hidrología y biogeografía. La geomorfología tiene que contar prioritariamente con el factor geológico que explica la disposición de los materiales. Las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología configuran frecuentemente los volúmenes del relieve de un modo más o menos directo.

El clima introduce modalidades en la erosión y en el tipo de formaciones vegetales, de modo que la morfogénesis adquiere características propias en cada zona climática. La elaboración de geoformas también depende de los paleoclimas que se han sucedido en un determinado lugar.

De las condiciones climáticas, biogeográficas, topográficas y litológicas, depende la eficacia erosiva de los cursos de agua y de otros modos de escorrentía. Aquí habrá que considerar el conjunto de la red hidrográfica.

La cobertura vegetal introduce un tapiz protector en la interfase atmósfera-litósfera, razón por la cual la biogeografía da claves importantes en el análisis de las geoformas y de los procesos que las modelan. Pero esta cobertura no depende sólo del clima y del sustrato rocoso, sino también de la acción antrópica.

20.1.2 Geoforma. Una geoforma es un cuerpo tridimensional: tiene forma, tamaño, volumen y topografía, elementos que generan un relieve. Se han clasificado treinta y seis (36) **geoformas**; el primer paso es identificar las geoformas con su topografía, drenaje, textura, tono, vegetación natural y uso del suelo.

Una geoforma está compuesta por materiales que le son característicos: como arenas, gravas, arcilla o cuerpos masivos; tiene una génesis y por lo tanto una dinámica que explica los materiales que la forman.

Como geoformas las rocas son lechos rocosos; los deltas, abanicos, terrazas y llanuras de inundación, son materiales transportados. Los suelos residuales están asociados a los lechos rocosos.

Utilizando fotografías aéreas se puede inferir que **el tono y la textura** dependen de la vegetación, que el uso del suelo permite hacer asociaciones con aptitudes, que las formas de erosión anuncian si el material es arenoso o rocoso. La topografía a su vez, está relacionada con la pendiente, y puede ser: plana, ondulada, quebrada o escarpada; donde existen entrantes o salientes del terreno son factibles los cambios litológicos.

El **drenaje** está caracterizado por una forma o patrón modelo, donde el índice de erosión o remoción es muy importante y la textura es el grado de espaciamiento entre los canales del drenaje. La textura en rocas puede ser gruesa, media o fina, y la erosión, laminar, por surcos o por cargas.

La **vegetación** puede ser natural y su altura anuncia la profundidad del suelo, cuando hay densidad. Las variaciones en la densidad de la vegetación se asocian con presencia de aguas subterráneas. Si es artificial se considera ya un uso del suelo. En un abanico aluvial los bosques de galería anuncian el drenaje y la vegetación es más alta en su pie que en el ápice a causa del nivel freático.

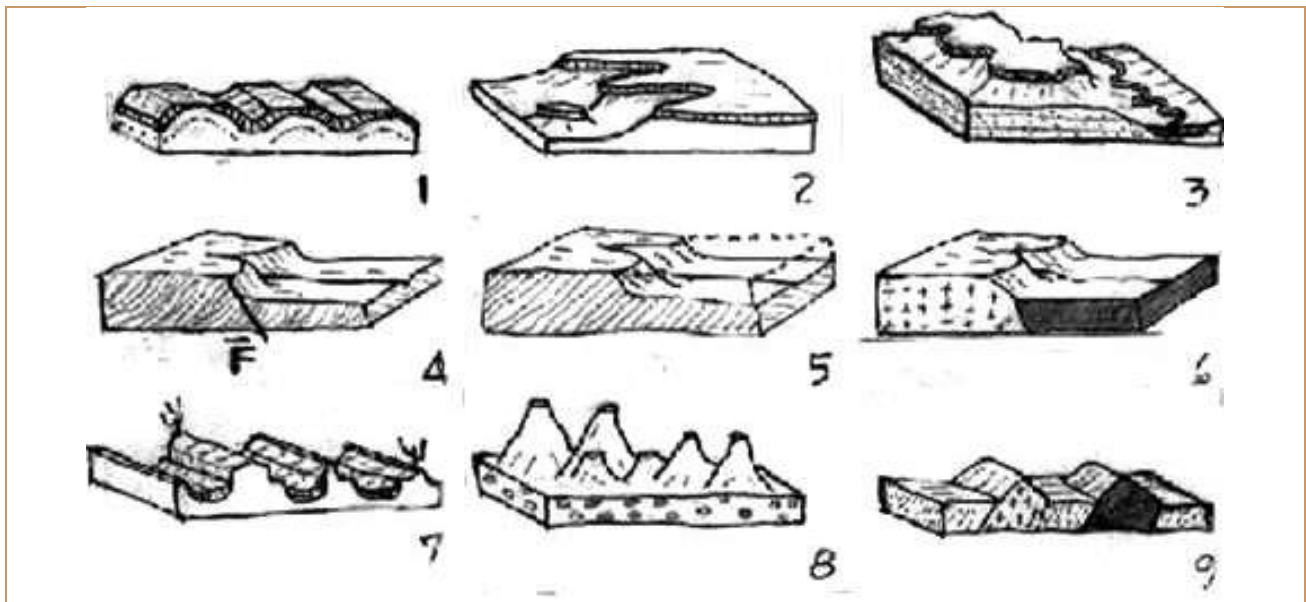


Figura 155. Paisajes con diferentes situaciones litológicas, estructurales y ambientales: 1. Relieve apalachinado (plegamiento erosionado), 2. Aspecto de una cuesta estructural subhorizontal. 3. Relieve aluvial invertido, (construcción y destrucción de un valle), 4. Escarpe tectónico (falla normal), 5. Escarpe de erosión m(obsérvese el descenso del relieve), 6. Escarpe litológico (el escarpe marca el contacto), 7. Paisaje árido en suelo fino (formación de yardang), 8. Paisaje árido en conglomerado (formación de mesas basculantes y pilares), 9. Afloramientos duros (diques intruyendo rocas más blandas). Adaptado de Max Derruau, Geomorfología.

A continuación se presenta una tabla de claves fotogeológicas para la identificación de las diferentes rocas y fallas, de acuerdo a tres aspectos fundamentales: tonos, texturas y drenaje.

20.1.3 Conceptos básicos de geomorfología

1. Los **procesos** físicos de hoy operaron en el pasado geológico.

2. La **estructura** geológica condiciona las formas del relieve.
3. El proceso geológico se expresa en la **geoforma**.
4. Cuando los diferentes **agentes** modelan la corteza se produce la secuencia que evidencia tales etapas.
5. La **complejidad** es más común que la simplicidad en las geoformas.
6. La geología del **cuaternario** domina la topografía.
7. La adecuada interpretación del paisaje exige conocer **los cambios** geológicos y climáticos pasados.
8. La presión y temperatura del **clima** regional son necesarias para entender los procesos geológicos.
9. Se debe mirar la geomorfología de hoy en **el contexto** de las geoformas pasadas.

20.2. CLAVES DE FOTOINTERPRETACION

Se mostrará en el siguiente cuadro las claves fotogeológicas atendiendo como aspectos relevantes, tonos, texturas y drenajes, tanto de las rocas como de las estructuras geológicas.

Cuadro 24. Claves fotogeológicas.

ASPECTOS	ROCAS INTRUSIVAS	ROCAS VOLCANICAS	ROCAS CLASTICAS
TONOS	- Claros salvo humedad (gris) - Oscuros en ultramáficas - Claros a oscuros en hipoabisales y diques	- Oscuro en las jóvenes, en las meteorizadas es claro. - Claros en conos de ceniza y lavas viejas, secas y sin cobertura	- Claros en conglomerados, areniscas maduras y lodolitas de desiertos. - Oscuro en areniscas maduras y lodolitas, por humedad. - Oscuros en estructuras
TEXTURAS	- Homogéneas masiva	-Finas en tefras (tobas, cenizas). - Rugosas en lavas, flujos o bloques	- Gruesas en conglomerados y areniscas. - Finas en lodolitas (dan flatiron)
DRENAJE	- Dendrítico, pinzado o radial y puede variar con el diaclasamiento y la composición - Radial-anular en hipoabisales	- Paralelo en basaltos. - Dendrítico en tobas y depósitos piroclásticos - Anular en domos. - Radial en volcanes - Anómalo en lagunas y canales discordantes	- Rectangular, paralelo y subparalelo en conglomerados y areniscas maduras - Subparalelo y subdendrítico en areniscas inmaduras - Subparalelo a dendríticas en lodolitas

ASPECTOS	ROCAS NO CLASTICAS	ROCAS METAMORFICAS	FALLAS
TONOS	- Claros casi siempre - Oscuros si hay materia orgánica o humedad, bandeados si hay interestratificación	- Oscuros generalmente pero no intensos - Claros en cuarcita - Claros a semioscuros en gneises	Cambios bruscos y oscuros por agua o claros si hay exceso de drenaje
TEXTURAS	El del relieve (ejemplo paisaje cárstico). No da flatiron	- Finas pizarras - Medias a gruesas, gneises. - Esquistosidad	Cambios, anomalías e irregularidades
DRENAJE	- Discontinuo y con sumideros en karst.	- Dendrítico a rectangular en pizarras y filitas.	- Desviación sistemática - Controles anómalos.

ASPECTOS	ROCAS NO CLASTICAS	ROCAS METAMORFICAS	FALLAS
	- Controlado por fracturas subterráneas	- Variable en esquistos - Colector con poco drenaje secundario en cuarcitas - Dendrítico a rectangular en gneis	- Alineado y con dirección perpendicular

FUENTE: Mónica Dunóyer. Posgrado de Geotecnia, Universidad Nacional, 1995.

20.2.1 Claves de fotointerpretación de rocas plutónicas

- Los contactos de intrusiones graníticas con rocas encajantes son discordantes, nítidos y sencillos.
- Los cuerpos graníticos tienen grandes dimensiones.
- Los tonos son claros (buena reflectancia), salvo en condiciones de humedad.
- La textura es homogénea, pues su aspecto es masivo.
- El drenaje es normalmente dendrítico-pinzado o radial, en caso de domos.
- Si hay muchas diaclasas el patrón es rectangular.
- El tono y drenaje puede variar con la composición, densidad de diaclasas y humedad.
- La topografía se presenta en cerros con forma de A o macizos redondeados.
- Presentan más fracturamiento cuando tienen mayor antigüedad.
- En el trópico desarrollan saprolito profundo.

20.2.2 Claves de fotointerpretación de rocas volcánicas

- Son reconocibles si no están erosionadas.
- Las geoformas dependen del tipo de lava y su actividad.
- Los basaltos presentan columnas, drenaje paralelo grueso y suave topografía.
- Los cráteres de ceniza son claros y con pendientes altas (ángulo de fricción $f = 35^\circ$).
- Las lavas viscosas son lenguas de pared abrupta y tienen formas en pata de elefante.

- Los depósitos lávicos forman colinas de cresta aguda.
- Muy disectadas por drenaje dendrítico y fino cuando son recientes, además presentan tonos claros y laderas verticales y uniformes.
- Presentan tonos oscuros en lavas jóvenes, aunque la vegetación las aclara algo.
- Los patrones de drenaje son dendríticos en depósitos piroclásticos y tobas; anular, en edificios volcánicos; radial, en la base de los volcanes, anómalo con lagunas y canales discontinuos, en los flujos.
- La vegetación es escasa si el material es reciente, y la porosidad y permeabilidad son altas, aunque disminuyen con la meteorización.

20.2.3 Claves de fotointerpretación de rocas sedimentarias clásticas

- Estas rocas son las que más información arrojan.
- Las rocas sedimentarias forman estructuras secundarias (pliegues, fallas, diaclasas) que se evidencian por alineamientos de cualquier tipo (tonos más oscuros, drenajes controlados, cordones vegetales).
- Las geoformas que más las delatan son los flatiron (planchas), que se desarrollan sobre las rocas sedimentarias duras (areniscas compactas) y son las geoformas fruto de la erosión diferencial.
- Generalmente la pendiente topográfica corresponde a la pendiente estructural que es larga y suave.
- En la contrapendiente hay escalonamientos por el contraste entre estratos duros y blandos que se alternan.

En la fig. 156 se dibujan tres geoformas, con elementos explicativos, típicas en rocas sedimentarias.

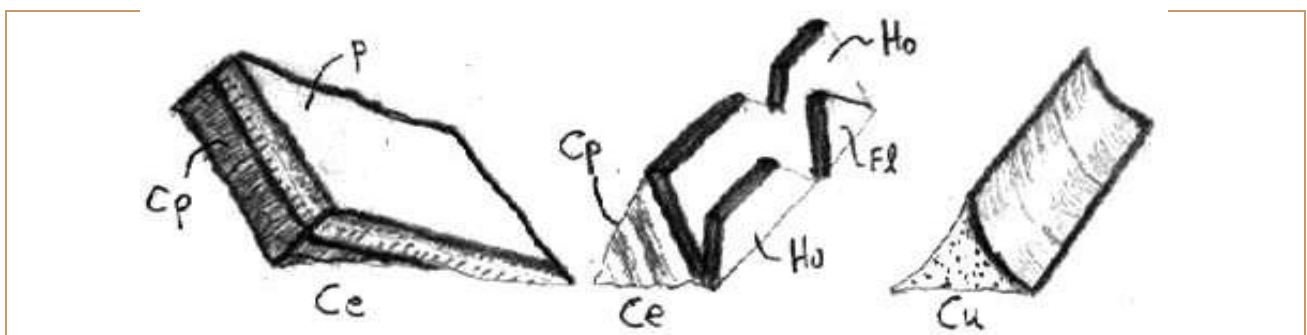


Figura 156. Geoformas en rocas sedimentarias: Ce. Cuesta estructural (asimétrica), Cp. contrapendiente, P. pendiente, Ho. y Fl. Hogback y flatiron (desarrolladas sobre la pendiente estructural), Cu. Cuchilla estructural (cóncava). El Hogback es un estrato en altorelieve, con forma trapezoidal, formado sobre la pendiente estructural. Según Mónica Dunóyer y Antonio Manrique, curso de fotointerpretación U. de Caldas.

- Los conglomerados muestran tono claro a medio; textura gruesa; a muy gruesa, drenaje rectangular, subparalelo o paralelo; vegetación escasa y arbustiva; escarpes verticales en la contrapendiente, y crestas agudas rectilíneas y de gran continuidad.
- Las areniscas pueden ser maduras o inmaduras; las intermedias tienen rasgos que oscilan entre los extremos de estas.
- Las areniscas maduras muestran tono claro a medio, textura gruesa a media, drenaje rectangular a subparalelo, canales en V cerrada, vegetación escasa a media, escarpes escalonados y excelentes niveles guías.
- Las areniscas inmaduras son oscuras y de textura gruesa, drenaje subparalelo o subdendrítico, vegetación buena a excelente y morfología ligeramente escarpada a suave en la contrapendiente estructural y ondulada en la pendiente.
- Las lodolitas son de tono oscuro en clima húmedo y claro en desiertos, textura fina, drenaje dendrítico o subparalelo y vegetación exuberante si el clima es húmedo, morfología deprimida con desarrollo lineal extenso, excelente contraste con unidades duras y malos niveles guías.

20.2.4 Claves de las rocas sedimentarias químicas

- No dan flatiron (estratos en altoprelieve triangular sobre la pendiente) y muestran fracturas bien desarrolladas que controlan la vegetación y dolinas y sumideros cuando siendo carbonatadas resultan afectadas por la disolución.
- Normalmente la vegetación es poca y alineada con las fracturas. En el trópico ésta puede ser densa.
- El relieve es función del clima y de la composición de la caliza. Los tonos son claros.
- En clima árido se presentan crestas empinadas y tonos claros, nunca oscuros.
- En climas húmedos el paisaje es cársico: bosques de mogotas o colinas puntiagudas. Además se desarrollan dolinas, poljes (depresiones cerradas) y sumideros.
- El drenaje se pierde por los sumideros resultando interrumpido.
- El relieve es más suave que en zonas áridas y entre más pura y cristalina sea la roca, más abrupto resulta el relieve.
- Si se encuentra materia orgánica y humedad, los tonos son oscuros.

20.2.5 Claves de fotointerpretación de rocas metamórficas

- Son las rocas más difíciles de identificar.
- A mayor grado de metamorfismo, más desaparecen los rasgos litológicos y estructurales.
- El metamorfismo iguala la resistencia de la roca, resultando una topografía más masiva.
- La esquistosidad es el principal elemento de fotoidentificación; le da al paisaje una sensación de paralelismo (control de cárcavas, drenaje, etc.).

- En rocas metasedimentarias se alcanza a insinuar la estratificación con algo de flatiron.
- El tono es generalmente oscuro pero no intenso.
- El drenaje tiende a ser uniforme y constante tendiendo a dendrítico o rectangular.
- Cuando provienen de rocas ígneas, su aspecto es masivo y no presentan foliación.
- Desarrollan relieve de cualquier tipo por lo que aquél no es guía.
- Muestra colinas alineadas con crestas o cuchillas.
- Las pizarras y filitas muestran textura fina, drenaje dendrítico rectangular, vegetación escasa (y a veces alineada), y no muestran estructuras falladas aunque conservan la estratificación de la roca madre. En la morfología se presentan crestas agudas y laderas empinadas no muy altas.
- Los esquistos tienen clara orientación, buena foliación, tono gris uniforme (de medio a oscuro), drenaje variable, según el clima, pero controlado por la foliación, morfología con planos de esquistosidad planos y cárcavas paralelas.
- Las cuarcitas dan tonos claros, crestas empinadas, drenajes colectores, poco drenaje secundario, crestas filudas, fracturas controlando el drenaje, los contactos con otras rocas tienen fuerte contraste y la vegetación es escasa, está alineada y es de tipo arbustivo.
- Los gneises tienen aspecto masivo y muestran fracturas bien desarrolladas (fallas) que controlan el drenaje. Las lomas son alargadas con cimas suaves pero altas y pendientes. Su tono es claro a semioscuro y la textura rugosa.
- El drenaje es dendrítico a rectangular con textura media a gruesa. Las lomas desprovistas de capa vegetal desarrollan poco suelo y poca vegetación dando posibilidad a la observación de los diques que las cortan.

20.2.6 Claves diagnósticas para caracterizar movimientos en masa

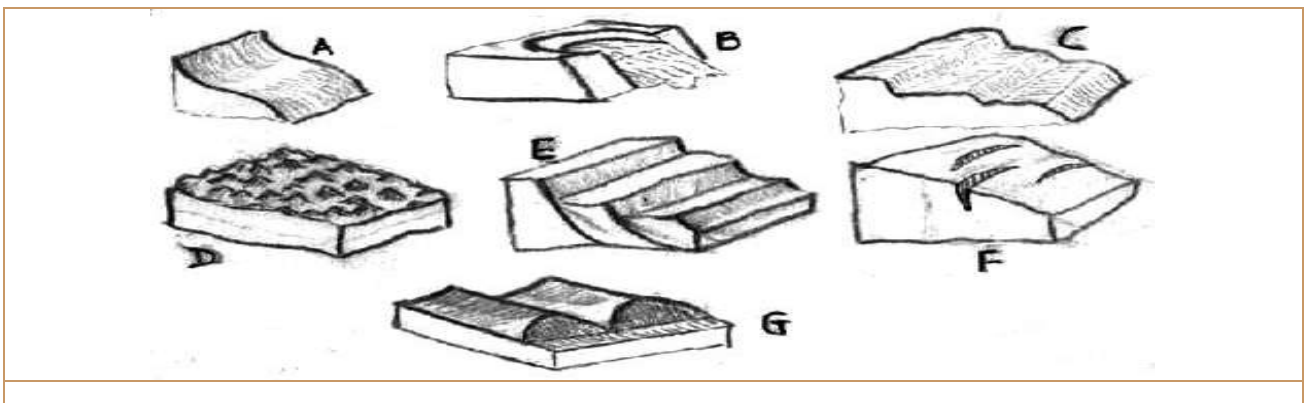


Figura 157. Morfología para diagnóstico: A. formas cóncavas y convexas, B. nichos semicirculares, C. pendientes escalonadas, D. relieve irregular (hummocky), E. bloques inclinados, F. grietas, G. cambios abruptos de pendiente. Según Mónica Dunóyer y Antonio Manrique, curso de fotointerpretación U. de Caldas.

- **Características morfológicas.** Pendientes cóncavas y convexas, nichos semicirculares, pendientes escalonadas, bloques inclinados, relieve irregular (hummocky), formación de grietas y cambio súbito de pendiente.

-**Características de la vegetación.** Vegetación desordenada y parcialmente muerta, cambios en la vegetación coincidentes con escalones morfológicos, zonas con vegetación menos abundante, (elongadas y claras), diferencia de vegetación dentro y fuera del deslizamiento y cambios de vegetación asociados a condiciones de drenaje.

- **Características del drenaje y medidas de estabilización.** Drenaje desordenado con líneas interrumpidas, anomalías en los patrones de drenaje, zonas de acumulación de agua, zonas de infiltración o nacimientos (tonos oscuros), zonas excesivamente drenadas (tonos claros). Si hay intervención, canalización de aguas y terracetos en pendiente con canales en curvas de nivel.

- **Otras características o elementos.** Ausencia de vegetación, escarpes en forma de pinza, concavidades elongadas, depósitos elongados, acumulaciones en quiebres de pendiente, facetas triangulares, cuerpos coalescentes (masas contiguas dislocadas), escarpes elongados y lóbulos de flujo.

20.2.7 Claves para identificación de rasgos estructurales

- **Monoclinales.** En la cuesta (pendiente suave), el drenaje es dendrítico o paralelo, el suelo es grueso o potente, hay buen desarrollo de la vegetación y drenaje es poco denso. En la contrapendiente el drenaje es denso, subdendrítico, se presentan movimientos en masa y a veces la topografía es cóncava, el suelo es casi nulo y es notoria la poca acumulación de agua y poca la vegetación.

- **Hogback y cuchillas estructurales.** El hogback es un bloque donde la pendiente y la contrapendiente tienen la misma inclinación. Uno de los estratos conforma en la pendiente una capa de cubierta dura que presenta erosión en cárcavas con pobre desarrollo de la vegetación, poco suelo y poca agua.

La cuchilla estructural es una forma masiva que corresponde a un afloramiento de capas duras. La pendiente y la contrapendiente son simétricas y el drenaje por ambos lados es paralelo; las superficies muestran cárcavas y no se desarrolla suelo ni vegetación en ningún flanco.

- **Pliques.** Los anticlinales muestran drenaje radial poco denso (según la litología expuesta); si está erosionado, muestra el núcleo y la roca es estratificada, además hay poco suelo por la pendiente de la geoforma y poca agua, pues es mal acuífero. El sinclinal muestra drenaje centrípeto, núcleo deprimido, estratos que buzcan hacia el centro del pliegue y humedad y vegetación buena en su núcleo, pues se trata de un buen acuífero.

- **Fracturas.** Las diaclasas muestran un drenaje cuya intensidad depende de la roca. En la diaclasa hay agua, vegetación y erosión. El suelo es profundo si la vegetación es intensa y la pendiente favorece su estabilidad.

Las fallas muestran fuerte meteorización y suelos pobres en los escarpes, aunque buenos en los pies. En el escarpe no hay vegetación pero sí en los bajos donde se almacena la humedad.

Los indicadores de las fallas son los desplazamientos de las capas horizontales o verticales, los cambios abruptos en el rumbo y buzamiento, los escarpes, facetas triangulares y cañones en V cerrada, los cambios bruscos de tono y vegetación, los tonos oscuros por agua y drenaje alineado, las desviaciones sistemáticas del drenaje, el diaclasamiento intenso o brechamiento y los movimientos en masa sistemáticos.

20.3. GENERALIDADES DEL AREA DE MANIZALES Y CHINCHINA

Por la importancia la precisión de los resultados, se hace una presentación sumaria de los aportes del Dr. Antonio Flórez, 1986 consignados en su estudio del medio ecosistémico de esta región.

20.3.1 Localización. El área se ubica sobre la Cordillera Central, entre los 4° 58' N y los 5° 18' N y entre los 75° 10' W y los 75° 45' W.

La superficie es de 2430 Km.², 2/3 de los cuales se localizan en el flanco occidental de la cordillera desde los 4150 a los 700 msnm en el río Cauca, y el 1/3 restante sobre el flanco oriental hasta los 1500 msnm en la vertiente del Magdalena. Administrativamente la mayor parte del territorio pertenece al departamento de Caldas y en menor extensión al del Tolima.

20.3.2 Geología y geomorfología. Entre las cordilleras de los Andes colombianos aparecen depresiones tectónicas como las del Magdalena y el Cauca. El área de Manzales-Chinchiná se ubica sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central.

Las formaciones geológicas se distribuyen de norte a sur en bandas paralelas al sistema de Romeral, umbral entre las cortezas continental y oceánica y cicatriz de una antigua zona de subducción.

La cordillera, que constituye básicamente el conjunto continental, está compuesta por un núcleo de esquistos principalmente Paleozoicos entre los cuales se intruyeron batolitos y stocks mesocenoicos. Al norte del área se encuentra una cobertura continental Jurásica. En la fosa del Cauca se presenta un conjunto oceánico, a ambos lados del sistema Romeral, que incluye las formaciones del complejo del Cauca del Cretáceo inferior, además de los esquistos y la formación metasedimentaria volcánica relacionada con el emplazamiento del complejo ofiolítico y el cinturón magmático mio-plioceno de la fosa del Cauca. Según A. Flórez, a partir del Mioceno medio se cubrieron los conjuntos continental y la parte inferior Cretácea del oceánico, con una cobertura sedimentaria y volcánica de edad Terciaria y Cuaternaria.

También se da un levantamiento principal en el Plioceno asociado a fallas inversas que generan un escalonamiento de bloques.

Antes del levantamiento principal de la cordillera por sus dos flancos, se modelaron superficies de aplanamiento que resultaron disectadas por los movimientos del Plioceno. El levantamiento y vulcanismo evidencian actividad reciente.

De las nieves perpetuas hacia los cañones de los ríos mayores se diferencia un eje volcánico con modelado glaciar, alvéolos de disección en rocas metamórficas y plutónicas, un sistema de cuchillas residuales de superficies de aplanamiento antiguas y la depresión del Cauca con su relleno vulcano-sedimentario.

Las características más sobresalientes del área de estudio son su relieve montañoso con un modelado de disección profunda, activa y controlada estructuralmente, aspectos que influyen la fuerte inestabilidad de las vertientes manifiesta en los abundantes movimientos en masa.

20.3.3 Desarrollo morfoestructural. Según A. Flórez, el basamento es un conjunto metamorfoseado en varios eventos desde el precámbrico hasta el mesozoico. Los esquistos del núcleo de la cordillera resultan de los movimientos tectónicos del paleozoico durante la orogenia herciana. Durante el Jurásico-Cretácico intruyen varios stocks y batolitos causando un levantamiento de la cordillera.

En la observación de los diferentes elementos estructurales del actual relieve infieren eventos tecto-orogénicos del cretáceo-cenoico, A Flórez identifica cuatro fases, así:

- En la **fase I**, partiendo de un plegamiento y de la depresión del Cauca limitada por fallas inversas, ocurre el movimiento principal de las grandes fallas de rumbo de los sistemas Romeral y Palestina. Por el plegamiento de los esquistos y materiales sedimentarios se forma un relieve en crestas monocinales, el graben se convierte en una cuenca de sedimentación intramontaña y sobre la superficie se desarrolla luego una red de drenaje que transporta detritus hasta el graben del Cauca.

- En la **fase II**, hacia el mioceno medio, se presenta vulcanismo inicial cuyo detritus y cuyo piroclastos cubren las superficies de aplanamiento a ambos lados de la cordillera.

- En la **fase III**, un evento tecto-orogénico de gran importancia sucede al vulcanismo. A este evento se asocia el plegamiento de los sedimentos, un fuerte desplazamiento horizontal de la falla Romeral y un escalonamiento de fallas inversas en la cordillera. También hay intrusión de stocks porfídicos sobre los sedimentos oligo-miocénicos de la fosa del Cauca para formar relieves piramidales.

- En la **fase IV**, después del levantamiento señalado, el vulcanismo tiene su mayor auge y permite la formación de la cobertura de lavas en el eje de la cordillera. Este vulcanismo, aunado al potencial de disección generado por el levantamiento y los cambios climáticos hacia condiciones más húmedas, según Flórez, convergen para facilitar las formaciones vulcano-sedimentarias plio-cuaternarias.

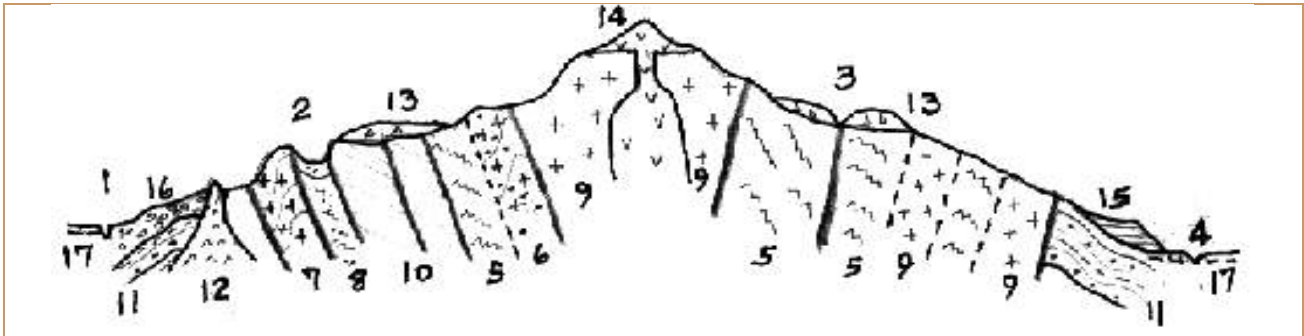


Figura 158. Perfil morfoestructural (esquema según Flórez, 1986). 1. Río Cauca; 2. Sistema Romeral; 3. Falla Palestina; 4. Río Magdalena; 5. Esquistos Pz; 6. Gneises intrusivos Pz; 7. Complejo ofiolítico K; 8. Esquistos K; 9. Stock granítico Mz-T; 10. Complejo metasedimentario volcánico K; 11. Sedimentos oligo-mioceno; 12. Stock andesíticos mio-plioceno; 13. Formación Manizales mioceno medio; 14. Rocas volcánicas Tq; 15. Sedimentos pliocenos; 16. Terraza poligénica de Chinchiná; 17. Piedemonte aluviotorrencial Q. Según Antonio Flórez, Cartografía del medio ambiente de Manizales-Chinchiná.

Con relación al relieve volcánico, característica principal del paisaje geomorfológico de la cordillera Central, las formas constructivas se sitúan sobre su eje y los flancos superiores, para constituir una cobertura resistente con relación al basamento metamórfico y granítico fracturado y alterado. Los flujos de lavas procedentes de los estratovolcanes, forman patrones radiales divergentes que en ocasiones presentan coalescencias (choques) con flujos de otras fuentes. Flórez señala nuevas estructuras vulcanogénicas al norte del Ruiz, como los volcanes Romeral, El Retiro, La Ermita, Santa Cecilia, La Cumbre, La Plazuela, El Colmillo, El Ciervo, Peñas Blancas, El Gualí y la Tribuna, al lado de los ya conocidos, El Contento y Cerro Bravo.

20.3.4 Consecuencias del desarrollo morfoestructural. El desarrollo de la cordillera imprimió las principales características de los relieves actuales y condicionó gran parte de los procesos externos y de la dinámica de las vertientes. Tales características, según Flórez, son:

- La dinámica de compresión entre las placas tectónicas generó bloques levantados y hundidos separados entre sí por escarpes tectónicos con pendientes abruptas generalizadas.
- El levantamiento de la cordillera generó un enorme potencial gravitatorio.
- Los diferentes eventos tectónicos causaron fallamiento y fracturamiento generalizado de las rocas y una fuerte actividad hidrotermal, hechos que han facilitado la alteración del sustrato para facilitar su disección.
- El área continúa afectada por una tectónica activa y una reconocida actividad sísmica.
- La cobertura volcánica reciente que cubre el sustrato fracturado y alterado se constituye en un factor de resistencia diferencial de las rocas.
- Las reactivaciones volcánicas son factores actuales que modifican el paisaje.

- La espesa cobertura piroclástica, dados su peso, las fuertes pendientes y el clima húmedo, contribuye a la inestabilidad de las vertientes.

20.3.5 Clima. La localización del área, sobre los 5° de latitud norte, se ajusta a la posición media de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), lo que explica lluvias abundantes con un régimen de distribución bimodal, alto contenido de humedad del aire y un régimen térmico poco contrastado, todas ellas características de un clima ecuatorial típico.

Los parámetros climáticos que varían con la altitud son, gradientes térmicos en las vertientes occidental y oriental de 0,54 y 0,62_°C para la temperatura estabilizada del suelo y de 0,60 y 0,64°C para la temperatura media anual del aire (Flórez). Hay una disimetría térmica entre las dos vertientes siendo mayor la temperatura media anual del aire en el occidente en menos de 1,5 °C. Las isotermas de 0° para el suelo y el aire están localizadas a 5000 y 4500 msnm respectivamente.

La precipitación es inferior en la vertiente occidental donde los máximos se dan sobre los 1500 msnm con 2900 mm anuales y los 2750 msnm con 2500 mm anuales, pues por el oriente los máximos se localizan a 1150 msnm con 4100 mm y a 2400 msnm con 3200 mm.

La humedad relativa varía entre el 80 y 85% por debajo de los 1700 msnm y entre el 85 y 90% para alturas superiores. La evapotranspiración potencial ETP es excedida por la precipitación, aunque a nivel mensual puede presentarse un balance negativo en julio o agosto. Junto al río Cauca enero también es un mes seco.

Lo anterior permite deducir que el clima es cálido-húmedo en el área, con una precipitación distribuida que permite permanente humedad de las formaciones superficiales para favorecer los procesos hidrogravitatorios. Sólo una pequeña área al norte del río Guacaica y junto al Cauca, por debajo de los 1000 msnm según Flórez, presenta características ambientales de estacionalidad marcada. Como de diciembre a marzo y julio a septiembre son secos, los procesos hidrogravitatorios son escasos y dominan los de escurrimiento superficial y difuso concentrado.

El clima lluvioso genera una densa red de drenaje, caudalosa y permanente durante todo el año, dominada, por la red estructural. Los ríos mayores avanzan de sur a norte ocupando las depresiones tectónicas a los dos lados de la cordillera, mientras sus afluentes drenan el agua controlados en gran parte por un fallamiento E-W cuasiperpendicular a las fosas tectónicas. Hacia el Magdalena fluyen los ríos Guarínó, Aguacatal, Cajones, Gualí y Azufrado, y hacia el Cauca los ríos Chinchiná, Guacaica, Tapias, Tareas y La Honda.

20.3.6 Suelos. La mayoría de los suelos están desarrollados a partir de piroclastos que muestran una diferenciación alrededor de los 2000 msnm, pues a mayores alturas se da una alternancia de capas de pómez, lapilli, arenas y cenizas mientras por debajo domina la fracción ceniza. Se exceptúan de lo anterior los flancos abruptos de los valles en V del drenaje principal donde aflora el sustrato y los suelos son líticos, y las vertientes bajas, por debajo de 1200 msnm donde las cenizas han desaparecido o están en avanzada meteorización y los suelos de carácter vértico (por su aspecto arcilloso y el agrietamiento que presentan al secarse) se han desarrollado a partir de alteritas (suelos alterados) asociadas al sustrato o a cenizas.

Entre 4000 y 1800 msnm dominan los andosoles húmidos, de 1800 a 1200 msnm los ferrisoles ándicos y por debajo de los 1200 msnm los suelos ferralíticos de carácter vértico. El contenido de materia orgánica aumenta con la altitud y la cantidad de arcilla disminuye con ésta. La densidad aparente disminuye con la altura mientras la porosidad y permeabilidad aumentan debido a la disminución de arcilla en los suelos.

20.3.7 Efectos de la antropización. Por la inestabilidad potencial del área las formaciones superficiales son susceptibles a la pérdida del equilibrio dinámico por la acción humana. Los efectos más visibles y evidentes se relacionan con la generación o aceleración de movimientos en masa superficiales, para propósitos de construcción de vías o urbanizaciones, y por la deforestación.

Los suelos tropicales andinos son jóvenes. Las laderas, que son las cuevas naturales del terreno, a pesar de su frágil equilibrio, están adaptadas a las condiciones pluviométricas y tectónicas extremas del medio ecosistémico, como las lluvias y sismos de gran intensidad. No obstante, la acción antrópica ha logrado acelerar los ritmos de degradación, por lo que los desastres asociados a amenazas naturales se hacen más viables en los escenarios urbanos. A las lluvias excepcionales o a los sismos intensos suceden escurrimientos superficiales y deslizamientos de tierra, y a estos los flujos de escombros y de lodo.

Ya en el área de estudio, para Flórez resultan de especial importancia las microformas en graderías generalizadas, porque afectan específicamente a los suelos. Aunque las graderías ocurren en condiciones naturales, éstas se intensifican como consecuencia de la deforestación y posterior actividad agropecuaria.

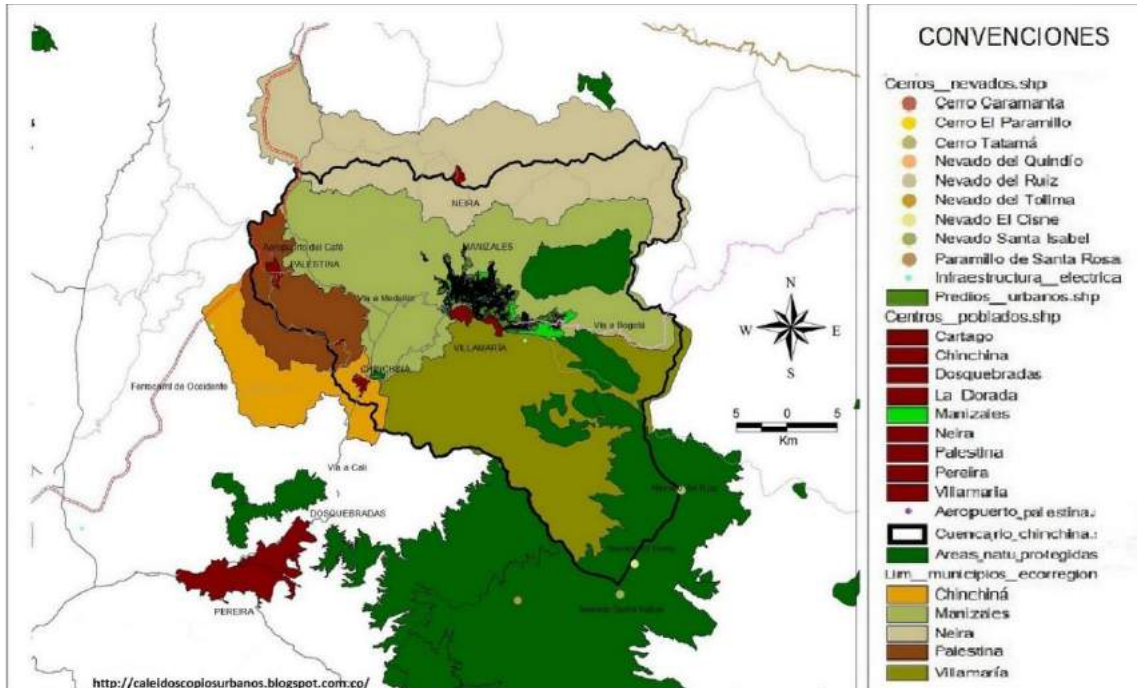


Imagen 109: La cuenca del Chinchiná en el territorio de la Ecorregion Cafetera. Fuente: Blog <http://caleidoscopiosurbanos.blogspot.com.co/>

La construcción de vías en la zona se ha caracterizado por la entrega defectuosa de aguas. Dominan los cortes a media ladera afectando estratos de bajo nivel de cohesión. En el caso de los rellenos en zonas urbanas, los hidráulicos han mostrado mejor comportamiento y más adecuadas prácticas, pero la magnitud de los mismos puede estar causando modificaciones importantes en los esfuerzos asociados al flujo de aguas subterráneas. La tala completa de la vegetación arbórea para establecimiento de pastos y cultivos genera una inestabilidad de las formaciones superficiales que se expresa por la gran cantidad de movimientos masales del tipo golpe de cuchara.

Son frecuentes otros movimientos, desde deslizamientos y derrumbes, hasta flujos. El efecto de la tala del café con sombra, para sembrar en su reemplazo variedades como el Caturra y la Colombia, se inició en las pendientes suaves de la terraza poligénica de Chinchiná, en las cuchillas convexas y en los sectores convexo-cóncavos, para avanzar luego a las vertientes abruptas del sector cóncavo de la región.

La consecuencia de este proceso de tala fue la generación de abundantes movimientos en masa superficiales, del tipo golpe de cuchara, desencadenados en los períodos lluviosos entre dos y cinco años después, siendo más intensos donde la pendiente supera los 25°.

20.4. PERFIL AMBIENTAL DE MANIZALES Y SU TERRITORIO

A continuación, una perspectiva ambiental en su contexto regional para Manizales, una ciudad intermedia emplazada sobre abanicos aluviales de la cuenca del río Chinchiná, epicentro de un territorio pluriétnico y biodiverso sobre el cual establece sus relaciones económicas y políticas.



Imagen 110: Manizales, "Plaza del Libertador 1923". Centro de Historia de Manizales.

A1- Medio ecosistémico natural.

Gracias a las dos cordilleras, nuestro clima es bimodal: cada año, dos temporadas invernales que inician con los equinoccios, cierran con dos veraniegas cuando llegan los solsticios. Nuestro ecosistema biodiverso asociado al frágil medio tropical andino, se desarrolla en un medio montañoso de suelos jóvenes de origen volcánico, en un ambiente tectónico activo. El complejo Ruiz-Tolima, las fallas de los sistemas Romeral, Palestina y Cauca-Patía, el Cañón del Cauca, el Valle del Magdalena, los ecosistemas de páramo y bosques alto-andinos vecinos a la Mesa de Herveo, y al Tatamá y Caramanta. De las siete zonas agropecuarias de mayor productividad del país, cuatro benefician a la región: la zona cafetera, la alta Cordillera Central, el valle del Cauca y el valle del Magdalena.

En el inventario minero, de 210 explotaciones y yacimientos que posee el Gran Caldas, 120 pertenecen a Caldas y 60 al Quindío. Sobresalen: por el oro el alto Occidente; por el manganeso el Bajo Occidente; y por calizas, mármoles, uranio y un gran potencial hídrico, todo el Oriente Caldense.

A2- El medio transformado.

El proceso de ocupación y de transformación del medio natural, comienza con la presencia de comunidades amerindias organizadas en cacicazgos, distribuidos por toda la región: entre estas tenemos Irras, Cartamas, Pícaras, Ansermas, Concuyes, Pozos, Paucuras, Carrapas, Quimbayas, Palenques, Amaníes, Marquetones y Pantágoras. Luego, tras la conquista, se establecen nuevos asentamientos como Anserma, Supía, Marmato, Cartago, Arma, Vitoria, Mariquita y Honda, en los que la minería, como la principal actividad de la Colonia, se da mediante la esclavitud. Ya en el siglo XIX cambia ese modo de producción por el del colono independiente y obreros asalariados.

Similarmente, si en las Provincia del Cauca y Cundinamarca desde la colonia hasta el siglo XIX primaron las haciendas de régimen feudal, tras la colonización antioqueña ocurrida a lo largo del siglo XIX y la consecuente ocupación de grandes baldíos y tierras de Concesiones del territorio, se da la construcción del Paisaje Cultural Cafetero, soportada en una economía cuyo modo de producción es capitalista, cambio que se debe a la presencia del colono quien reza: "la tierra para quien la trabaja".

Posteriormente, a esta transformación rural le sucede la urbana caracterizada por un modelo de poblamiento bien distribuido que se explica por la estructura minifundista de la propiedad gracias al café y al proceso colonizador, el que se empieza a invertirse a partir de 1970 tras la irrupción de la Revolución Verde.

B1- Uso; transformación, flujo y disposición final de recursos.

La ecorregión cafetera es un jardín biodiverso mal utilizado que alberga el 7% de las especies de plantas y animales (Instituto von Humboldt, 1997), un patrimonio biótico hoy amenazado por procesos antrópicos como deforestación, potrerización, uso de agroquímicos y desarrollos urbanos. Antes dominada por bosques, la ecorregión ahora sólo conserva una fracción de su cobertura original, porque muchos paisajes son cafetales, plataneras, potreros, plantaciones forestales y algunos cañaduzales. Según las coberturas en 2002, de un uso potencial del suelo para usos forestales del 54% del territorio, los bosques solo llegaban al 19%; y en ganadería, mientras el potencial de la ecorregión es sólo del 4%, la cobertura llegaba al 49%; además en los usos agrícolas y agroforestales, de un potencial del 21% y 20% en su orden, la cobertura en el uso agrícola subía al 30% y la agrofostería no se implementaba.

La ciudad, toma materia y energía del entorno y tiene sus propias "excretas": Manizales genera 300 toneladas diarias de basura, y vierte 20 toneladas de carga contaminante en las aguas servidas de áreas no industriales, a sus tres distritos sanitarios (Olivares, Chinchiná y La Francia), a los que se suman cerca de 17 toneladas adicionales de las aguas de origen industrial que afectan cuerpos de agua, como la Quebrada Manizales donde se establece el principal sector industrial.

B2- Las Zonas y sus Funciones en los medios rurales y urbanos (I-R-C-S)

La Zona Industrial, que vale por su posición con respecto a los medios de transporte, por no ocupar el sector vecino al río Cauca en el occidente donde están los modos troncales (Aeropuerto del Café, Troncal de Occidente y Tren de Occidente), está mal localizada si se trata de persistir con industrias convencionales; y por quedar en la Q. Manizales presenta severos conflictos ambientales, ya por amenazas mitigables asociadas al uso conflictivo del suelo en su cuenca, ya por la afectación al ecosistema con sus vertimientos.

La Zona Residencial, que debe estimarse por su valor estético y paisajístico, muestra que las urbanizaciones más costosas de la ciudad ocupan el paisaje contaminado de su zona industrial, afectada por vertimientos industriales. Igualmente, falta desarrollar ciudadelas autosuficientes en sectores populares como la Enea, La Sultana y Bosques del Norte, bien dotadas de infraestructura social y productiva, en lugar de expandir el hábitat favoreciendo los apetitos de los urbanizadores e inviabilizando el sistema de transporte masivo, con severo perjuicio para los sectores populares.

La Zona Comercial, cuya importancia radica en que alberga el Centro Histórico en el que se soporta el carácter de nuestra ciudad y los edificios institucionales, se ha venido degradando más por la irrupción del automóvil que por la informalidad. Allí los moradores de los viejos inmuebles, no cuentan con garantías para mantener el valioso patrimonio arquitectónico e histórico.

La Zona de Servicios, que suele valer por su nivel de equipamiento, debe incrementar el potencial de generación de riqueza de la ciudad asociado al sector de los servicios: en ella, más que por el número de camas, el sistema de salud o el hotelero se deben valorar por los servicios que ofrecen para los habitantes locales; y las Universidades que deben valer por sus programas de PhD, laboratorios y producción científica, se han venido valorando como centros de docencia por el número de estudiantes que llegan a la ciudad, y no como centros de investigación y desarrollo..

C1- Conflictos y contradicciones (Sociales, Ambientales, Económicos e Institucionales)

Dada la crisis del actual modelo democrático, expresada en falta de liderazgo, desestructuración de los partidos y privatización de la cosa pública: Se debe fortalecer la sociedad civil e implementar los mecanismos de participación ciudadana con fundamento en el civismo activo, con la civilidad como valor supremo de la cultura urbana.

Dada la crisis socioeconómica que se expresa en pobreza, desempleo e informalidad: Se debe ubicar a las personas en el centro del desarrollo, priorizando la formación de capital social sobre el crecimiento económico. Se deben implementar políticas de ciencia y tecnología

imbricadas con la cultura, para resolver la brecha de productividad que sume en la pobreza los medios rurales. Se debe consolidar la Ciudad Región del Eje Cafetero, conurbar el territorio y fortalecer el transporte rural como catalizador de la reducción de la pobreza. Se debe desarrollar un nuevo modelo urbano más verde y más humano, priorizando la conformación de ciudades autosuficientes, descentralizando la infraestructura social y económica, densificando el medio urbano para desarrollar la movilidad soportada en el transporte masivo y la peatonalización en lugar del carro.

Dada la amenaza del cambio climático y la falta de políticas públicas ambientales que enfrenten la problemática de los riesgos en el medio rural y urbano: Se deben ordenar las cuencas, reforestar sus quebradas, implementar la cultura del agua, resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo y replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica, además de prevenir la especulación del suelo urbano que trafica con la plusvalía urbana y el uso del suelo.

C2- Gestión ambiental

Entre los temas socio-ambientales emblemáticos para el departamento de Caldas y para su capital Manizales, las propuestas verdes serían:

1- Una revolución educativa, con un modelo que desarrolle el talento humano, para lograr la reconversión productiva rural y el desarrollo social.

2- Más bosques y ordenamiento de cuencas, para proteger la biodiversidad y mitigar el impacto del calentamiento ambiental.

3- El desarrollo de la identidad cultural en la ecorregión, soportado en su carácter triétnico, en el marco del Paisaje Cultural Cafetero.

4- Macroproyectos como el Ferrocarril Cafetero, el Puerto Multimodal de La Dorada, Aerocafé, la Transversal Cafetera y el Tren de Occidente para articular al país por Caldas.

Un nuevo modelo urbano con "crecimiento hacia adentro", que descentralice la infraestructura social y económica, y conurbe el territorio.

6- Salvar el patrimonio material e inmaterial de Marmato y los ecosistemas de la zona de amortiguamiento del PNN de los Nevados, amenazados por las dinámicas del mercado y enclaves mineros.

[Ref.: Artículo para la Revista de la SCIA 1956-2014, en sus 58 años. Año 2014.] Créditos. Fragmento de "Manizales: un diálogo con su territorio". GDE (2014).

20.5. OPCIONES DE CALDAS EN MEDIO AMBIENTE, CULTURA Y TERRITORIO

Artículo para la Revista Año 2015 SCIA, conmemorativa de los 59 años de la Sociedad Caldense de Ingenieros y Arquitectos, filial de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, en Caldas. Los temas tratados y la bibliografía de soporte, hacen parte de las notas de apoyo para los módulos a cargo del suscrito autor, tanto en la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Físicas y Naturales como en la Maestría de Medio Ambiente y Desarrollo, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales



Los Mundos de Samoga, en: <http://samoga.manizales.unal.edu.co>

Imagen 111: Ecorregión Cafetera. Iconografía del territorio en los Mundos de Samoga, tomado de <http://samoga.manizales.unal.edu.co>

El territorio caldense, habitado por cerca de 986 mil personas, el 40% de ellas en Manizales, consta de 27 municipios cuya extensión suma 7.888 km². Mientras la participación del PIB 2010 en el Eje Cafetero, equivalente al 4,1% del PIB nacional, fue del 55% para el sector terciario, 25% para el sector secundario, 14% para el sector primario y 7% para los impuestos, por actividades la estructura del PIB de Caldas al año 2013, sólo llegó al 1,4% del total del país, dando como resultado un per cápita de US 5500, contra US\$ 8100 de la nación.

Y aunque se hayan dado crecimientos importantes en algunos momentos y para algunos sectores, como lo fue el de la construcción que presentó en Caldas una variación del 25.8% en 2012, el PIB departamental entre 2004 y 2014 creció en promedio 2,6%, contra una media nacional anual del 4,8% para el mismo período. Cabe entonces preguntarse ¿en cuáles sectores y actividades económicas, tienen la región y Caldas posibilidades de crecimiento, con qué estrategias y para cuáles objetivos?

Para empezar, eso es posible si se parte de los siguientes elementos: a- del potencial minero-energético de Caldas señalado en el respectivo Plan 2006-2016, y subrayado por 120 explotaciones y depósitos de minerales de 220 que posee el Eje Cafetero según el Inventario Minero de Ingeominas (1972), y por un recurso hidroenergético aprovechable equivalente a 2000 Mw, del cual solo se ha aprovechado la cuarta parte; b- de la posición geoestratégica de La Dorada y del Km 41 para la implementación de un sistema intermodal de carga en la región Andina, si se articulan ambos escenarios mediante el modo ferroviario; y c- de los beneficios derivados de la declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero como Patrimonio Cultural de la Humanidad como solución a la ya profunda crisis que afecta a 38 mil cafeteros caldenses.

Opciones

De conformidad con esto, entre las opciones para un crecimiento con desarrollo, estarían estas dos, la primera para el sector primario, y la segunda para los sectores secundario y terciario. Veamos:

1- En primer lugar, potenciar el sector terciario, donde la principal barrera podría ser el factor educativo, dado que el nivel de escolaridad de nuestra población sólo alcanza a superar los 4 años en la zona rural y los 10 años en la urbana, dificultad para la cual el fortalecimiento de los programas Escuela Nueva, Escuela Activa Urbana y Universidad en el Campo, resultan claves. Y a futuro, gracias a la expansión de las TIC cuya red cubre el departamento, con lo cual no sólo se crearán más oportunidades para acceder a programas de formación superior desde la provincia, sino también para la oferta de bienes y servicios desde dichos lugares. Mientras en Colombia el aporte del turismo al PIB 2005 fue del 2,3%, a nivel mundial ese aporte llegó al 10,6% generando uno de cada ocho empleos.

De conformidad con lo anterior, el propio Paisaje Cultural Cafetero PCC podría ser un factor detonante para implementar un turismo en la subregión, estableciendo como meta de mediano plazo una participación para el sector turístico del 10% en el PIB de Caldas, con dos componentes: la línea ecológica y el área de la salud.

Si ayer arrasamos el sombrío e implementamos el monocultivo del café renunciando a la caficultura orgánica, hoy para hacer viable el PCC debemos recuperar la estructura natural y simbólica de la caficultura tradicional, generar capital social y humano, y emplear a fondo la ciencia, la tecnología y la cultura como medios para resolver la brecha de productividad para cerca de 300 mil habitantes rurales, constituidos por campesinos, indígenas, pescadores y comunidades raizales de origen afro, de los cuales cerca del 50% son cafeteros.

Ahora, para alcanzar masa crítica en la oferta turística, además de inversiones en infraestructura en el sector y capacitación para la población potencialmente vinculada al sector, el contexto deberá comprender toda la ecorregión, desarrollando los respectivos íconos culturales para la identidad del territorio, considerado como una región pluricultural, con cuatro grandes escenarios, así:

- El occidente, tierra de resguardos y negritudes, una subregión panelera, con arquitectura de tapia pisada y vocación minera; en esta tierra de la cultura Umbra, su ícono musical es el Currulao.
- La zona Cafetera propiamente dicha, que es la de las chivas, el bahareque de guadua, los yarumos guadales y cables aéreos, los trenes cafeteros, el bambuco y la música de carrilera.
- El corredor San Félix-Murillo en la alta cordillera, que tiene sus propios íconos en el cóndor, el pasillo, la ruana de Marulanda, los caminos empalizados, el bahareque de tabla parada, la palma de cera, el pasillo y el sombrero aguadeño.
- El Magdalena centro, tierra de ranchos de hamacas, de chinchorros, de subriendas de bagres, nicuros y bocachicos, de la historia de los vapores por el río y de la Expedición Botánica.

Además del transporte rural como un catalizador de la reducción de la pobreza, del bahareque como arquitectura vernácula, de la salud del suelo y del agua, del sombrío para la biodiversidad, de las sanas costumbres, y de un cúmulo de elementos tangibles e intangibles de nuestro patrimonio cultural y natural, la implementación del PCC la ecorregión cafetera, requiere de un aeropuerto equipado de una pista suficiente para operar aviones tipo Jumbo con alcance mínimo de 5000 millas, para poder acceder, además de los mercados europeos y de Norte América y Sur América, a los asiáticos, de conformidad con la idea de la Dra. Ana María Londoño, dada la posibilidad de escañar los vuelos con dichas aeronaves en Hawái y Tahití, dos islas ubicadas en el Pacífico Norte sobre la ruta a Tokio y Hong Kong, y en el Pacífico Sur yendo a Sidney y Wellington.

2- Y en segundo lugar, respecto a los sectores primario y secundario, con el Ferrocarril Cafetero articulando la hidrovía del Magdalena y el Corredor Férreo del Cauca, la Ecorregión Cafetera puede emprender un desarrollo de industrias pesadas destinadas a transformar la riqueza del subsuelo, haciendo uso del potencial carbonífero e hidroenergéticos, y de los yacimientos propios y vecinos. Habrá que prospectar y valorar estos recursos mineros para garantizar por 25 años como mínimo, la materia prima para las correspondientes plantas de transformación.

Los nuevos escenarios privilegiados serían: por el poniente, el Corredor del Cauca entre La Virginia y La Felisa, que cuenta con el carbón de la cuenca carbonífera de Antioquia, el que se extiende hasta Quinchía y Riosucio, pero cuya viabilidad depende del ordenamiento de las cuencas hidrográficas, dado que el territorio es deficitario en recurso hídrico, lo que obliga a resolver su balance deficitario en agua; y por el nacimiento la región del Magdalena Centro con La Dorada, donde además del carbón, el recurso hidroenergético e hidrogeológico gracias a las precipitaciones y al gran acuífero del valle magdalenense, es excedentario.

Respecto a las materias primas, Gabriel Poveda Ramos rescata para el Plan Minero-Industrial de Caldas 2006 -2016, la existencia de filones de oro en Manizales, Manzanares, Marmato, Riosucio y Supía, Pensilvania y Samaná, de cuyas jaguas y gangas sumadas a

las de otras explotaciones se podría obtener apreciables cantidades de sulfuros de zinc, de plomo, de hierro, de cobre, de antimonio y de arsénico, o zinc metálico y sus derivados.

También considera un eventual aprovechamiento del manganeso de Apía y Viterbo, del cual existe un prospecto importante en San Félix, como de las arenas silíceas de alta pureza en cuarzo (SiO₂) existentes en Pueblo Rico, el Valle del Cauca, Antioquia y Tolima, y posiblemente en el distrito minero Riosucio-Supía-Quinchía, para implementar industrias de silicato de sodio, sílice-gel y carburo de silicio. Añade a los anteriores prospectos, los materiales calcáreos que parecen inferirse desde el centro de Tolima hasta el nordeste de Antioquia y entre Manizales y Aguadas, para proveer una industria de carburo y fosfatos fertilizantes que podría dar origen a plantas de acetileno, cianamida, cloruro químicamente puro y cemento.

De otro lado, si bien lo anterior se relaciona con la industria pesada, también la actividad productiva deberá contemplar una zona franca como motor de desarrollo, pensada para la sociedad del conocimiento y no para la sociedad industrial de ayer, en la que se centren los esfuerzos mancomunados de empresarios, gobierno y academia, para aprovechar las ventajas naturales y culturales de la Ecorregión y la Ciudad, en la construcción de sinergias entre la nueva economía de las TIC, la economía verde y la “economía naranja”, con la economía del conocimiento.

Para el efecto, Manizales y Caldas bajo ese nuevo enfoque deberán trazar una estrategia de promoción de la Ciudad, que tenga como objetivo consolidar desarrollos estratégicos relacionados con dos áreas: las Tecnologías en Información y Computación (TIC) y la Biotecnología (verde, blanca, roja y transversal), encontrando en cada área una empresa ancla como atractora, y empleando la metodología de clúster para obtener ventajas asociativas y conformar masa crítica en sendas opciones, haciendo del carácter biodiverso del territorio y del notable potencial de las instituciones científicas y universidades de la ecorregión cafetera, una ventaja competitiva.

[Ref: Revista Año 2015 de la SCIA].

20.6. GUERRA O PAZ, Y DISFUNCIONES SOCIO-AMBIENTALES EN COLOMBIA

RESUMEN: El paso de un conflicto interno a un posconflicto y luego a la paz, es un proceso social e histórico que se enmarca en la solución a contradicciones profundas de la construcción de un territorio, surgidas en la compleja dinámica de las relaciones entre una sociedad civil y un Estado: es el caso de Colombia, país que desde los albores de la República entra a las guerras civiles del siglo XIX; que de ahí en adelante vive la violencia partidista (1946-1958) que cobra más de 200 mil víctimas y dos millones de desplazados; y que tras la Dictadura y la creación del Frente Nacional (1958-1974), al no lograrse la modernización del Estado desde mediados de los años 60 padece una confrontación armada que luego se exagera con el desmonte del Estado Keynesiano y la implementación del Modelo Neoliberal (1991), conflicto cuyo cese ahora ha negociado el Gobierno con las FARC



Imagen 112: Violencia en Colombia: Guerra o Paz, obras del Pintor Colombiano Fernando Botero. <http://www.banrepcultural.org>

Si bien la firma del histórico acuerdo de la Habana no es la Paz, si es una oportunidad para crear condiciones propicias que permitan emprender los complejos procesos con que ésta se construye, a partir de una aceptación colectiva y de un cambio de actitud personal, como condiciones necesarias de soporte para las reformas estructurales, urgentes pero de largo plazo, que resolverán las disfunciones socioambientales que se han venido acumulando por más de medio siglo, como consecuencia de un Estado débil y de un modelo económico que al cooptarlo con la reforma a la Carta de hace 25 años, ha acentuado la inequidad, facilitado la corrupción y favorecido la violencia que explica cerca de ¾ de millón de víctimas mortales y más de cinco millones de desplazados, causados por el conflicto armado.

Ahora, por no haberse logrado una reforma agraria en 200 años de creada la república, ni haberse modernizado el Estado colombiano durante las dos décadas del Frente Nacional, ni con la Asamblea Constituyente de 1991, al igual que las guerras civiles del siglo XIX y la violencia partidista, sin que haya quedado base histórica alguna de logros en materia de igualdad de oportunidades en beneficio de las bases sociales y en particular para beneficiar a los campesinos, también ahora pese al acuerdo de paz concluyendo el conflicto de los últimos cincuenta años que produjo más de doscientas mil muertes, con la violencia implementada por nuevos actores armados, sumada a la desaparición sistemática de líderes sociales, a la arremetida de actividad extractiva y a las trabas políticas al proceso de paz por parte de los sectores más retardatarios que objetan la JEP, se continúa desplazando al campesino hacia las ciudades.

El solo hecho de un referendo que decide desde la ciudad el problema que agobia al campesino al auscultar la opinión, fortalece la democracia. Ahora, si pareciera que apostarle a no perpetuar el conflicto mediante la vía del perdón no fuera importante, basta considerar las consecuencias de unas relaciones asimétricas, en las que los pobres son cada vez más pobres y los ricos más ricos, y en la que se advierte la brecha entre los colombianos rurales y urbanos, lo que obliga a parar el conflicto armado para ubicar a las personas en el centro del desarrollo, en vez de persistir con la vía de las armas para mantener vigentes las políticas públicas que en beneficio del Mercado vulneran los derechos humanos, en lugar de fortalecer el Estado Social de Derecho.

Al examinar la fragmentación y la crisis social en un panorama agravado por la impunidad presente en el ejercicio de impartir justicia, por la corrupción de quienes usurpan la voluntad de los servidores públicos, por la inseguridad generalizada que siembra temor y desesperanza en las personas, por la violencia en la familia, en las escuelas y en el trabajo, y por la pérdida de confianza en las instituciones y en las personas que las representan, queda claro que siendo fundamental la desmovilización de la guerrilla, la Paz sólo es posible si entre otros asuntos, además de atender la grave problemática socio-ambiental, 1- se fortalece el Estado a través de la democracia mediante la gobernanza y el fortalecimiento de la sociedad civil; 2- se armoniza el desarrollo de los mercados internos sin doblegarlos al interés económico de las multinacionales; 3- se implementan reformas en las políticas laborales afectando variables económicas y financieras; 4- y se desarrollan políticas fiscales y monetarias que antes que conceder privilegios y reprimarizar la economía, permitan incrementar la base tributaria para financiar el gasto público destinado a programas sociales y a la construcción de la Nación.

Definitivamente, porque sin la reforma de las leyes que menoscaban el bien general, el empleo no crecerá conforme se dé el crecimiento económico, los devenires económicos generarán conflictos sociales y políticos, y el mal tiempo para la democracia afectará el clima para La Paz que todos buscamos. Veamos:

Colombia: ¿muere el país rural? (0)

Si a nivel mundial, el carácter de un territorio suele calificarse de rural o urbano, Colombia por ser un país de regiones donde el 94% de la tierra es rural y el 30% de las personas vive lejos de las urbes, aún sigue siendo un país fundamentalmente rural. Allí, donde el 80% de los propietarios son minifundistas, ya que, según el Censo Nacional Agropecuario, las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) de menos de 0,5 hectáreas representan el 70,4% del total de UPAS, tenemos que el 77% de la tierra está en manos del 13% de los propietarios, y el 30% le pertenece al 3,6% que son latifundistas. Examinemos las limitantes históricas de su desarrollo y las determinantes de la nueva ruralidad.

En primer lugar, la estructura de la propiedad de la tierra caracterizada por un Gini de la tierra del 0,88 (Oxfam, 2009), medida de la desigualdad que en lugar de bajar crece tras medio siglo de violencia y despojo de tierras, lo que se traduce en una regresión a la reforma agraria, cuya historia fallida pasa por las leyes de tierras de 1936 y de 1944, la creación del Incora (Ley 135 de 1961 y Ley 1ª de 1968 que la modifica), la Ley de Amnistía de 1982, la Ley 30 de 1988 y la Ley 160 de 1994. Con todo esto, en las dos últimas décadas, de la superficie agropecuaria del país estimada en 44 millones de hectáreas, 6,6 millones equivalentes al 15% han sido despojadas.

Y segundo, las brechas de ingresos y pobreza entre ciudad y campo, dado que el ingreso medio per cápita rural es la tercera parte del urbano; y para subrayar tal fisura, basta señalar que mientras la pobreza campesina llega al 66%, la indigencia es del 33%. Al respecto las dinámicas del empleo rural muestran hoy que el agro aporta el 20% de la población total en edad de trabajar; en dicho indicador, cacao, café, palma de aceite, banano y arroz, han sido los principales generadores de empleo, en este sector caracterizado por tasas de participación y ocupación altas y estables, pero con altos niveles de informalidad y baja remuneración.

Añádanse a este panorama, que: 1- los 7,7 millones de víctimas del desplazamiento forzado ocurrido desde 1985, según la Defensoría del Pueblo muestra una afectación desproporcionada sobre comunidades indígenas (6,2%) y afro-colombianas (21,2%); 2- la pobreza por acentuarse en los medios rurales y hacerse menos notoria en el ámbito de las mayores conurbaciones, tiene características territoriales bien definidas; y 3- el subdesarrollo rural que se relaciona con el bajo desarrollo del aparato productivo del campo, conduce a la precariedad de los indicadores sociales.

Ahora, el tema en el Plan Nacional de Desarrollo, que al olvidarse de la democratización de la propiedad de la tierra pareciera orientarse únicamente al necesario desarrollo agroindustrial, por olvidar lo fundamental del "Pacto por la equidad rural y el bienestar del campesino" fruto de una concertación, pareciera desconocer además del Acuerdo de paz, la Sentencia C077 de 2017 de la Corte Constitucional considerando a los campesinos y trabajadores rurales sujetos de especial protección constitucional, dada la deuda histórica por las condiciones de vulnerabilidad y discriminación que los ha afectado, así como por los desafíos que enfrentan con modelos agroindustriales que sustituyen la producción rural artesanal, y los cambios en usos y explotación de recursos naturales.

En el anterior contexto, entre otros factores que inciden en la nueva ruralidad colombiana, tenemos las cadenas agroalimentarias: de todo el potencial, únicamente 6 millones de hectáreas son aptas para el sector pecuario y 2 millones están en cuerpos de agua; y salvo en palma de aceite y en cacao donde el país aporta poco menos del 2% de la producción mundial, falta mayor participación en el mercado de productos con alto nivel de demanda, como maíz, aceite de soya, cítricos, y frutas tropicales. Al cultivo del café cuya crisis se refleja en una participación del 0,8% del PIB, se suma el precario mercado forestal donde Colombia participa con menos del 0.1% de la producción mundial, estimada 3.700 millones de dólares (FAO, 2015).

Para mitigar los impactos sobre la vida campesina, cuya producción artesanal no se puede confundir con industria ni agroindustria, una de las determinante debe ser el empoderamiento del territorio, donde los procesos de cambio que exigen objetivos relacionados con cultura rural y calidad de vida, demandan una educación centrada en el desarrollo humano como clave para alcanzar la equidad, y estrategias de ciencia, tecnología y cultura para elevar la productividad en el contexto del territorio, siempre y cuando se parta de la premisa de que el país le apostará a una verdadera reforma agraria que distribuya la tierra, dado que el problema real del campesino colombiano reside en la inequidad.

Lograr la necesaria interrelación entre los escenarios urbanos y rurales, respetando los derechos socioambientales del territorio como construcción social, puede conducir a un crecimiento económico con desarrollo, si para el efecto la Ley Zidres que entrega en concesión grandes baldíos y apalana con tierras el desarrollo agroindustrial del país, en las políticas agropecuarias hubiera implementado una reforma

agraria para democratizar la propiedad, ya que la inequidad en la tenencia de la tierra es quizás el mayor lastre que ha impedido el desarrollo rural de Colombia en 200 años de historia: en la cosmovisión del campesino, la tierra como factor productivo y vínculo cultural es un bien fundamental e inalienable.

Máscaras de guerra y paz (1)

En estos tiempos de grandes decisiones y cambios fundamentales como los que supone la Paz que soñamos tantos colombianos, naturalmente van saliendo dificultades surgidas del conflicto de intereses entre las partes, como de la incapacidad consustancial de algunos actores sociales con precario desarrollo conceptual. Las primeras de aquellas, por regla general consecuencia de posturas antes veladas y ahora abiertas de quienes tienen más poder del que merecen y que no desean perderlo, y las segundas, fruto de una percepción limitada del mundo, la que se expresa en desconfianza para actuar con acierto, por parte de una inmensa mayoría de colombianos, que desafortunadamente beben mensajes cargados de pasiones y malas intenciones, orquestados por los primeros.

Hace lustros escuchaba en mi Universidad al respecto, de un importante académico de esos que sueñan con la construcción de la Nación, la tesis anterior ilustrada con una magistral idea: el establecimiento en que se soporta una sociedad, después de todo necesariamente termina por cumplir su vida útil tras un ciclo de evolución, razón por la cual, tras la intensificación de los conflictos surge la crisis y con ella la necesidad de un cambio estructural. Una imagen para ilustrar la dinámica de semejante proceso, es la de un espacio que estando atado a un ordenamiento propio de su estado inicial, tras el surgimiento de una nueva sociedad y las nuevas circunstancias, exige liberar sus ataduras para dilatarse, reacomodarse y cerrarse de nuevo, con otras fronteras y posibilidades para los actores; pero es allí donde algunos, tras liberar las ataduras del establecimiento, al no saber a dónde ir ni cómo moverse para sacar legítima ventaja, terminan atentando contra el proceso y rompiendo compromisos.

Para nadie es un secreto que la historia social de Colombia, ha estado cruzada por la injusticia de unos privilegios e inequidad relevantes; que la distancia ideológica entre liberales y conservadores, al no generar contradicciones políticas solo cierra espacios y alternativas de participación; y que el excluyente lenguaje de la competitividad tan solo ofrece opciones reales para una reducida fracción de la población. En ese orden de ideas, sólo con estos elementos podría trazarse un escenario de acuerdos fundamentales, a partir de los cuales se implementen políticas para corregir la inequidad, cerrar la profunda brecha de ingresos promedio entre ciudad y campo, democratizar las oportunidades políticas en bien de la sociedad civil, destronar el imperio de una corrupción que se escuda en la impunidad de la justicia, y corregir los factores económicos y políticos que históricamente oprimen a las grandes mayorías.

A modo de ejemplo, el conflicto de la tierra donde la verdadera inequidad resulta visible solo cuando se mide la concentración de la propiedad a partir de los precios de mercado y no de la extensión de los predios como suele presentarse, o de los impuestos dado que el valor en el registro predial tampoco funcionaría cuando sabemos cómo la corrupción afecta el sistema predial ejerciendo influencias sobre alcaldes y demás funcionarios para subvalorar la propiedad, como pago de favores por el financiamiento de campañas electorales. Dicho conflicto, importante por su rol como dinamizador histórico, ya que tras las guerras civiles del siglo XIX consecuencia de la ambición política y alimentada por la pobreza en un escenario profundamente rural, terminadas las contiendas pero no los conflictos, se crean las condiciones para la violencia partidista de mediados del Siglo XX, cuya causa fundamental parte de una problemática social desatendida, como son las necesarias reformas laborales para los trabajadores y el acceso a la tierra para los campesinos, dos temas que resultan eclipsados por la disputa bipartidista del poder.

Y mientras sigan persistiendo el divorcio entre “país político y país nacional” manteniendo cerrado el escenario de participación política, el atraso del campo expresado en una brecha de productividad e ingresos, y los aires guerreros que camuflan el enfrentamiento del campesinado con los propietarios de tierra intentando perpetuar la inequidad, se perpetuará la actual violencia insurreccional que se vive en el campo, y posiblemente se hará más compleja la solución a los nuevos conflictos urbanos, que ya se multiplican y extienden más allá de las metrópolis colombianas, alcanzando las pacíficas ciudades de la zona cafetera.

Lo anterior no solo para advertir que, si bien el ritmo en que surgen los conflictos y su potencial intensidad serán crecientes en virtud de la acelerada dinámica y mayor complejidad de los cambios de vida y experiencias sociales en el curso del tiempo; también más allá de un simple acuerdo para detener la guerra sin atender los males que la explican, el proceso de paz necesariamente debe alcanzar acuerdos mínimos para trazar políticas y emprender acciones sociales, económicas y ambientales, suficientes para desencadenar cambios estructurales, como resultado fundamental para la construcción de una Nación más digna.

Retrospectiva de la Constitución Política (2)

El 4 de Julio de 1991, al firmarse en Colombia la reforma fundamental a nuestra carta máxima, fruto de un consenso entre partidos, pasamos del Estado de derecho de 1886, a un Estado social de derecho, en el que se consagran además de los derechos fundamentales de los ciudadanos, otros derechos económicos, sociales y colectivos, y varios mecanismos como la tutela y las acciones populares para asegurarlos, creándose al tiempo la Defensoría del pueblo como un instrumento para velar por los derechos humanos.

Como antecedente lejano, si tras la crisis de los años 30 habíamos abandonado el modelo agrario e incursionado en el de sustitución de importaciones bajo los preceptos Cepalinos, más adelante facilitamos la dictadura de Rojas para enfrentar la violencia política, y en 1957 mediante un plebiscito creamos el Frente Nacional como una coalición bipartidista, para modernizar el Estado. Pero en los 90, con la presencia guerrillera y los aires de la modernidad, era evidente que el fin no se había alcanzado: pese a los cuatro gobiernos que se repartieron el poder, el Estado no logró crear las condiciones para fortalecerse, resultando así un “para-estado” que lo sustituyó conformado por quienes ejercían la justicia por su propia mano y por organizaciones que lo cooptaron, además de la presencia de actores armados.

Fue entonces cuando las dinámicas de la apertura económica facilitaron una nueva reforma constitucional para adecuar el Estado, dándose de paso el cambio de la democracia representativa por la participativa, al consignar en ella novedosos elementos como el respeto por las minorías étnicas, la libertad de cultos y la equidad de género, y diferentes mecanismos de participación democrática como la consulta popular, el plebiscito, el referendo, el cabildo abierto, la iniciativa legislativa y la revocatoria de mandato. Y en materia de derechos ciudadanos, se crearon la acción de cumplimiento, la acción popular, la acción de legalidad, las acciones de grupo, el derecho de petición, e instrumentos

como las juntas de vigilancias, veedurías ciudadanas, y audiencias públicas, al tiempo que se estableció que “La paz es un derecho y un deber de obligatorio cumplimiento”.

También ha habido reformas sustantivas a la carta: la transferencia de recursos a las entidades territoriales, la expropiación de bienes sin indemnización por razones de interés social, la extradición de nacionales por delitos cometidos en el exterior, la expansión del régimen pensional para incluir a casi toda la población, la pérdida de derechos políticos por delitos contra el patrimonio del Estado, y la reelección presidencial inmediata, entre otros.

Ahora, si en materia económica se crearon las bases para dar paso a la economía de mercado bajo los preceptos del modelo neoliberal, al admitir que el Estado enajenara o liquidara sus empresas monopolísticas que no cumplan los requisitos de eficiencia, así promoviera la democratización de la titularidad permitió otorgarles a terceros el desarrollo de su actividad económica. Entonces, al desmontar el Estado Keynesiano, esta vez pudieron más el modelo neoliberal y la apertura económica, que el carácter democrático de la Constitución; a modo de ejemplo, basta ver los efectos de la Ley 100 de 1993 sobre la salud, las pensiones y los riesgos profesionales, que desdiciendo del espíritu solidario de la carta incorpora una política social subsidiaria y neoliberal, en beneficio de organizaciones empresariales de intermediación (EPS, IPS, ARS y ESE).

Posiblemente, tras el cambio de modelo económico incorporado, aunque algo se ha logrado con la Constitución Política, el capitalismo salvaje parece haber podido más que la consagración de principios como la solidaridad, complementariedad y subsidiariedad, toda vez que a partir de los años 90, la institucionalidad del “para-estado” actuando con expresión militar, social, política y económica, ha prosperado y se ha acentuado como nunca en la historia del país. Basta escuchar las noticias sobre la muerte de niños Wayuu en Guajira para saber de la corrupción a través del soborno, la adjudicación indebida de contratos, el clientelismo y el desvío de recursos públicos; de la confrontación armada entre las FFAA y guerrillas para entender el flagelo de legiones de campesinos desplazados sin tierra que cargan las huellas de la violencia; o de la tragedia de líderes y reclamantes de tierras en Montes de María y Urabá muertos o afectados por presiones, hostigamientos y amenazas.

Tercera vía y desarrollo en Colombia (3)

Si deseamos un mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos, debemos partir de la educación por ser un proceso con el cual se liberan y desarrollan las personas, formándolas en actitudes, valores y respeto por lo público, además de generar en los individuos capacidades que les permita actuar como miembros de la sociedad civil de forma responsable con el medio ambiente y con visión de futuro, decidiendo sobre los asuntos propios del hábitat. Al respecto, antes de abordar la calidad de la educación, habrá que empezar por replantear el actual modelo educativo por anacrónico, al ser un tema de primer orden, dado que esta sociedad demanda formar en competencias para la nueva sociedad del conocimiento, sin perder de vista que nuestro particular contexto natural y cultural, responde al ámbito latinoamericano. Con la intención de buscar soluciones a los problemas del país, de conformidad con la triada priorizada para el período Santos II, “Paz, equidad y educación”, el gobierno implementará propuestas en el marco de “La tercera vía”, un híbrido que toma elementos del capitalismo y del socialismo para seleccionar alternativas y argumentar opciones acordes con una visión no conflictiva del futuro, pero trazando políticas públicas en un mundo cada vez más abierto, donde a primera vista no habría posibilidad práctica de encontrar tres vías y tampoco una tercera desde la perspectiva de la teoría económica, salvo que la propuesta sea priorizar la formación de capital social sobre el crecimiento económico, y no la fórmula contraria que nos ubicó en un sitio de privilegio entre las naciones menos equitativas del planeta.

Lo anterior, porque en la realidad colombiana donde paros agrarios, conflictos mineros y desempleo formal caracterizan a esta sociedad, dada la naturaleza compleja tanto del sistema social como del natural, la problemática socio-económica en un escenario premoderno como el nuestro, no puede admitir respuestas simples, dado que en virtud de la naturaleza de las relaciones entre colectividades humanas y medio ecosistémico, más allá del neoliberalismo y del keynesianismo, necesariamente se dan muchas formas de capitalismo y múltiples formas en la organización social, incluyendo la democracia comunitaria. Para el efecto, veamos nuestras circunstancias en las tres dimensiones del desarrollo:

En lo ambiental, durante los últimos años, la deforestación que alcanza niveles del 41% en la Región Andina, aunque en Colombia las tasas hayan disminuido, ha pasado factura con inundaciones y sequías por toda la geografía nacional, y con la contaminación hídrica por los vertimientos industriales y agroindustriales principalmente, así seamos el sexto país del mundo en oferta de agua, hemos comprometido el 50% del valioso patrimonio: con sendas problemáticas, nuestros ecosistemas se han desmejorado de forma sistemática, incluidos páramos y humedales legalmente protegidos, pero también los bosques andinos que permanecen a la deriva, por lo que una proporción considerable de la biodiversidad está amenazada.

En lo social, nuestras principales problemáticas se relacionan con violencia, conflicto armado, desplazados, narcotráfico y corrupción. Mientras la guerra históricamente ha estado ligada al desarrollo económico colombiano, la violencia ha partido del ejercicio indebido del poder buscando el control y asalto del Estado, para acumular tierras y riqueza. Y como fenómenos asociados, además del desplazamiento forzado cuyas víctimas sumarían 5 millones, tenemos el narcotráfico ejercido por bandas criminales dedicadas al microtráfico, sicariato y extorsión, o por las Bacrim herederas de las Auc, quienes retomaron el control de las actividades criminales de paramilitares y narcotraficantes.

Y en lo económico, aunque los temas sustantivos se relacionan con inequidad y pobreza, empleo y productividad, crecimiento económico, inversión en infraestructura y balanza de pagos, aunque el país ha presentado notables avances los principales problemas se asocian, en primer lugar, con la inequidad, que a diferencia de la pobreza resulta más difícil de resolver; en segundo lugar, con la falta de acceso a un empleo de calidad y con la obsolescencia del aparato productivo, consecuencia de una brecha de productividad por carencia de políticas de ciencia y tecnología en especial para el agro, donde aquélla explica la concentración del ingreso en los medios urbanos; y por último la salud, dada la falta de cobertura y dificultades de acceso equitativo a servicios de buena calidad en forma oportuna y eficiente.

Créditos: (0) [Ed. Circular RAC 635] (1) [Ref.: La Patria/ Manizales, 2013-02-04.] (2) [Ref.: La Patria. Manizales, 2016.08.02] (3) [Ref. La Patria, Manizales, 2014.08.18]

20.7. EL AGUA EN COLOMBIA: GLOSAS.

A continuación una mirada general al agua en Colombia, un patrimonio que le aporta el 10% al PIB, amenazado por la deforestación, la minería, la contaminación por vertimientos y la presión sobre los ecosistemas estratégicos, y cuya problemática acentuada con el cambio climático obliga a tomar previsiones integrales de extremada urgencia y largo plazo, dado que pese a su abundancia en el país, según el IDEAM de 1.122 municipios, 521 consumen agua sin tratamiento alguno, en el 70% de ellos con riesgo para la salud y en el 21% sanitariamente inviable.

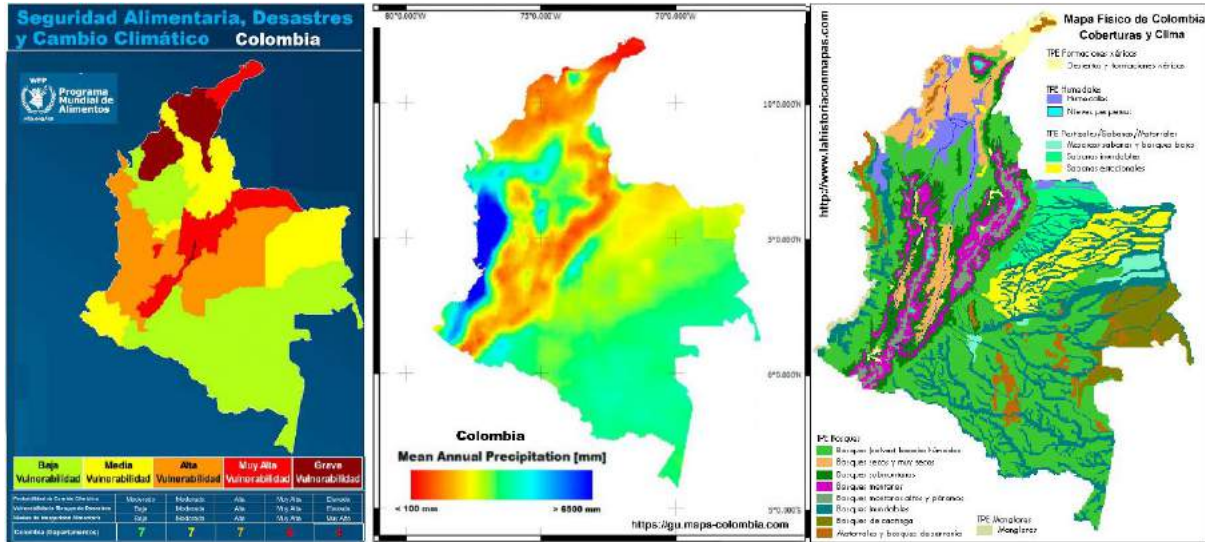


Imagen 113. Colombia: Seguridad alimentaria, desastres y cambio climático; precipitación anual; y Colombia: Coberturas y Clima. Fuentes: Programaos; Gu-Maps.colombia.com y La Historiaconmapas.com

El panorama del agua en Colombia no es alentador: mientras la demanda hídrica continúa expandiéndose, la oferta se afecta por factores como la deforestación, la degradación de los ecosistemas y la contaminación antrópica. La crisis del agua que se expresa en descontrol hídrico y pluviométrico, y en sequías y desabastecimiento, obliga al desarrollo de políticas públicas ambientales que le apunten a un modelo urbano más humano y más verde, implementando una planificación con un enfoque biocéntrico y preventivo, donde se desarrollen instrumentos que permitan no sólo enfrentar la problemática socio-ambiental del riesgo asociado al cambio climático, sino también garantizarle a los colombianos el derecho al vital líquido, lo que implica el acceso al agua potable y a instalaciones sanitarias adecuadas.

Habrá que proceder con una ocupación del territorio más responsable, soportada en estrategias participativas e incluyentes orientadas a la apropiación social de los procesos socioambientales, mediante una normativa para un ordenamiento territorial que contemple además de la adaptación al cambio climático y la función social y ecológica del suelo, el aprovechamiento responsable de los activos de la Estructura Ecológica Principal de cada territorio.

En relación con la ley ambiental, requiere el país una reorientación socio-ambiental que le reconozca el verdadero carácter patrimonial al agua, al suelo y a la biodiversidad, en lugar de considerarlos un recurso y como tal un objeto de mercado, y que reconozca los derechos bioculturales de los territorios.

Dado que la Constitución Política colombiana ha omitido enunciar el derecho al agua como derecho individual, y que la normativa esta profundamente fragmentada, antes que preocuparnos por la escasez, deberá centrarse el problema en la disponibilidad, acceso y buen uso del agua, y en la integridad de las zonas de interés ambiental y en los derechos bioculturales de los territorios. Además, habrá que enfrentar el flagelo de la contaminación hídrica, que en Colombia está concentrada en cerca de 100 municipios, entre los cuales sobresalen Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Villavicencio, Manizales y Bucaramanga (ENA 1018). Para el desarrollo del campo colombiano, además de implementar medidas estructurales que permitan corregir la enorme inequidad que expresa el índice de concentración de la propiedad de la tierra y el agua, el Nuevo Ordenamiento Territorial, deberá implementar políticas de ciencia y tecnología imbricadas con la cultura, para resolver la brecha de productividad que suma en la pobreza a los medios rurales.

Para corregir el uso conflictivo del suelo, y en particular para resolver la enorme problemática de la deforestación y potrerización, el sector agropecuario deberá implantar la agroforestería y emplear las prácticas silvopastoriles; de lo contrario, además de hacer inviable el territorio, en uno o dos siglos como máximo, con criterios desarrollistas centrados en el crecimiento y por lo tanto en el consumo, en virtud de las falencias de un Estado débil y de una sociedad indolente y no preventiva, además de comprometer el futuro de nuestros hijos habremos agotado la biodiversidad del país.

Cada 22 de marzo se celebra “el día mundial del agua” centrando la atención en diferentes aspectos: para el 2019, fueron la calidad y cantidad del vital recurso, que pese a los enormes avances de las últimas décadas hacia un cambio histórico en materia de

cobertura: actualmente, más de 768 millones de personas no tienen acceso al agua potable, según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (Unicef).

Colombia con el 5% del patrimonio hídrico mundial y un rendimiento hídrico que supera seis veces el promedio mundial y tres veces el de Latinoamérica, solamente trata de manera adecuada el 11% de los vertimientos que genera el país y en materia de cobertura, según el DANE aún requiere extender el servicio de acueducto que no llega a 3,6 millones de personas y el de alcantarillado para cubrir a 5,6 millones de colombianos que no lo tienen.

Al valorar la oferta hídrica superficial del país en un año medio según dicho estudio, mientras el 77,4% del volumen se concentra en las regiones Pacífico, de la Amazonia Pacífico y de la Orinoquia que son las más despobladas, el 13,5% le corresponde a la región Magdalena-Cauca y el 9,1% a la del Caribe que concentran el 80% de la población del país. Y en cuanto a la demanda de agua, donde el 15 % proviene de las aguas subterráneas, el sector agrícola representa el 33% del total y el hidroenergético el 12,8%. Según el Estudio Nacional del Agua ENA (IDEAM 2018)-, también tenemos grandes desafíos, ya que por conocimiento insuficiente el 71% de los acuíferos no pueden aprovecharse, y 391 cabeceras incluidas 9 capitales del país presentan alta susceptibilidad al desabastecimiento en temporadas secas de El Niño, de ellas el 70% ubicadas en la cuenca Magdalena-Cauca y el 22% en la región Caribe.

Urge acciones estratégicas para enfrentar el riesgo hídrico para el suministro de agua en las tres capitales del Eje Cafetero, dado que las cuencas más comprometidas de toda la ecorregión son las de los ríos Chinchiná, Otún y Quindío, e Incluso, las cuencas del Combeima y río Toche para el caso de Ibagué, toda vez que en estas urbes se concentran la población y el PIB regional.

Entre los desafíos para lograr la sustentabilidad del territorio en un escenario de cambio climático, aparecen las problemáticas socioambientales en las zonas de recarga de la Ecorregión Cafetera, donde los procesos de potrerización y los usos conflictivos del suelo, al comprometer la regulación hídrica ponen en riesgo el suministro de agua para las capitales cafeteras.

Entre las zonas de recarga que alimentan las cuencas abastecedoras de Manizales, Pereira y Armenia, sobresale no sólo el Parque Nacional Natural de los Nevados y las zonas del Roble y Mesa de Herveo, sino también los bosques alto-andinos en las Reservas Forestales de Río Blanco y Chec para la capital caldense, el PNN del Santuario de Flora y Fauna Otún Quimbaya para la capital risaraldense, y el Distrito de Suelos de Cocora para la capital quindiana. Cabe anotar, que también la ecorregión cuenta con otras zonas de recarga, en los Páramos de Tatamá y Caramanta, y en el Bosque de Florencia.

Y en cuanto a los acuíferos para toda la Ecorregión Cafetera, –además del extenso valle del Magdalena como gran reservorio–, están los valles del río La Vieja por la vertiente del río Cauca, cuyo potencial de agua subterránea se asocia con el glacis del Quindío, el valle del Risaralda y la zona de Santágueda.

Para el efecto, se propone seguir el ejemplo de Pereira que blindó el agua extendiendo la figura de Parque Natural Nacional hasta el citado santuario para proteger las 5 mil hectáreas de la cuenca alta del río Otún haciendo uso de una figura de conservación de mayor jerarquía como lo es la de un Parque Natural Nacional, haciendo lo propio con las citadas Reservas Forestales Protectoras de Río Blanco, Chec, Combeima y Toche, y sobre todo en el Distrito de Suelos del Quindío como santuario que alberga el árbol nacional.

* Fuente: Epilogo del documento: “*Agua como bien público*”

20.8. CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA Y EN EL EJE CAFETERO



Imagen 114. Colombia Biodiversa -Especies Registradas y Endémicas. Fuente: IAvH.

RESUMEN: A diferencia del calentamiento global asociado a causas naturales cíclicas como las variaciones de la actividad solar, el

actual cambio climático caracterizado por el aumento de la temperatura del planeta tiene una componente antropogénica notable, asociada a las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero. Veamos a nivel regional sus implicaciones, de conformidad con los escenarios modelados a lo largo del siglo XXI que entrega el IDEAM para Colombia en 2015, y los retos para mitigar sus graves consecuencias sobre los ecosistemas en el Eje Cafetero, dada la vulnerabilidad del territorio asociada a sus altos niveles de deforestación, fragmentación de los frágiles ecosistemas y modelo conflictivo de ocupación del territorio.

Colombia: un país con grandes retos ambientales (1)

En Colombia, el segundo país latinoamericano en abundancia de agua y el segundo más biodiverso del mundo, sabiendo que solo tratamos el 11% del agua utilizada y que hemos deteriorado 27 tipos de ecosistemas de 85 identificados, caben dos preguntas: dadas las problemáticas relacionadas con minería ilegal, deforestación, pérdida de ecosistemas y contaminación de ríos y suelos, ¿cómo enfrentar los conflictos socioambientales?; y, para no dejarle a las siguientes generaciones, montañas deforestadas y erosionadas, y ríos contaminados y sedimentados, en un patrimonio natural cuya degradación se traduciría en desastres, ¿qué hacer para reducir pasivos ambientales?

Como referente, un par de imágenes para ilustrar el problema colombiano: la primera, en el escenario urbano de la capital del país con siete millones de habitantes, que depositan a diario 6.400 toneladas de basura al relleno sanitario y que han convertido el río Bogotá en una alcantarilla, por la desbordada ocupación conflictiva del territorio en los fértiles suelos de la sabana, que en beneficio del mercado presiona la estructura ecológica secando humedales y arrasando reservas forestales; y la segunda para el medio rural en el Cauca, uno de los departamentos más azotados por la violencia que vive el país, por la implantación de un modelo de explotación agresiva de recursos mineros desconociendo derechos ancestrales y prácticas tradicionales del territorio, y la imposición de semillas transgénicas en detrimento de las nativas, que al entrar en conflicto con la dignidad y supervivencia de comunidades indígenas y afrodescendientes, estimulan los cultivos ilegales y dinamizan el problema.

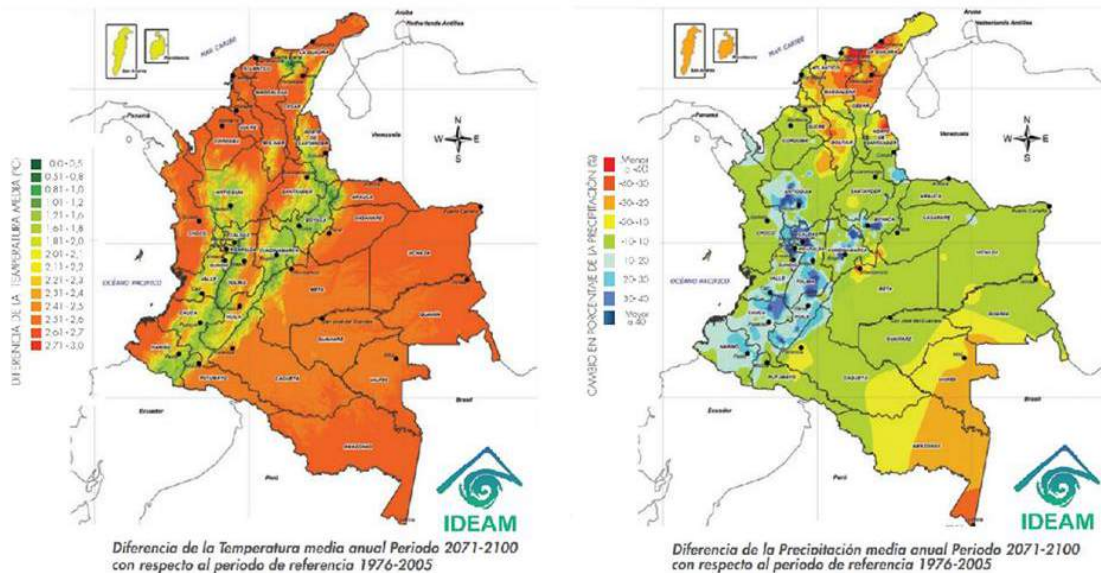


Imagen 115: Colombia: Escenarios de Cambio Climático 2071-2100. Ideam 2015.

Pero a la compleja problemática ambiental de Colombia, se suma ahora otro desafío: la amenaza del cambio climático, uno de los problemas más importante de nuestros tiempos relacionado con un modelo de desarrollo energívoro y consumista, que presiona e instrumentaliza la naturaleza a costa de los servicios ambientales y de la biodiversidad, y cuyo desafío supera las diferencias culturales y económicas de las regiones del país, a tal punto que el MADS y las demás instituciones afines han debido formular planes y estrategias integrales que enfrenten dicho problema, cuya responsabilidad es de todos.

Habrà que acelerar la transición hacia fuentes de energía más limpias y a bajo costo, reconvertir los sistemas de producción incorporando tecnologías amigables con el medio ambiente, y proceder a una gestión eficiente en el uso y manejo de suelos de cultivo y de aguas superficiales y subterráneas, que le ponga límites al mercado e involucre la cultura del saneamiento. Proteger los ecosistemas como bienes comunes de interés general, por ser soporte de la regulación hídrica comprometida por la deforestación y de la calidad del agua afectada por sedimentos y vertimientos, garantizaría un ambiente sano si dicha gestión, además de blindarse en políticas públicas, en el fortalecimiento institucional y en el cumplimiento de la ley, incorpora educación, investigación e incentivos. En el caso de Manizales, la preocupación debe pasar por nuestras reservas forestales en las cuencas abastecedoras, amenazadas por megaproyectos mineros y urbanísticos que violan sus derechos bioculturales, al poner en riesgo los servicios ambientales y las especies que albergan; y en el de Caldas, por el alto nivel de deforestación fruto de un uso conflictivo del suelo en su escarpado territorio, donde al 2010 las coberturas en pastos y rastrojos del 40% contrastan con un precario 22% en bosques. Añádase, que los ríos Chinchiná, Otún y Quindío, entran en el top 10 de los más contaminados de Colombia, dados los vertimientos industriales y domésticos, y la huella hídrica gris de las zonas de producción ganadera, agrícola y minera.

Que sea esta la oportunidad para mencionar un proyecto fundamental e histórico para la historia ambiental de Manizales: la PTAR que se proyecta en los Cábmulos para tratar las aguas servidas del Sur de la ciudad, ladera que recibe 2/3 de la carga contaminante urbana estimada en cerca de 30 toneladas diarias, distribuidas así: 20 de origen residencial vertidas por igual a las cuencas Olivares y Chinchiná, y 10 más provenientes de la zona industrial. ¿Será conveniente unificar tratamiento de aguas en la misma PTAR incorporando el riesgo de socializar costos a través de tarifas compartidas entre ciudadanos dispuestos a recuperar el río, e industriales que podrían tratar aparte sus propios vertimientos? [Ref.: La Patria. Manizales, 2019.10.21]

Sustentabilidad del territorio en el Eje Cafetero (2)

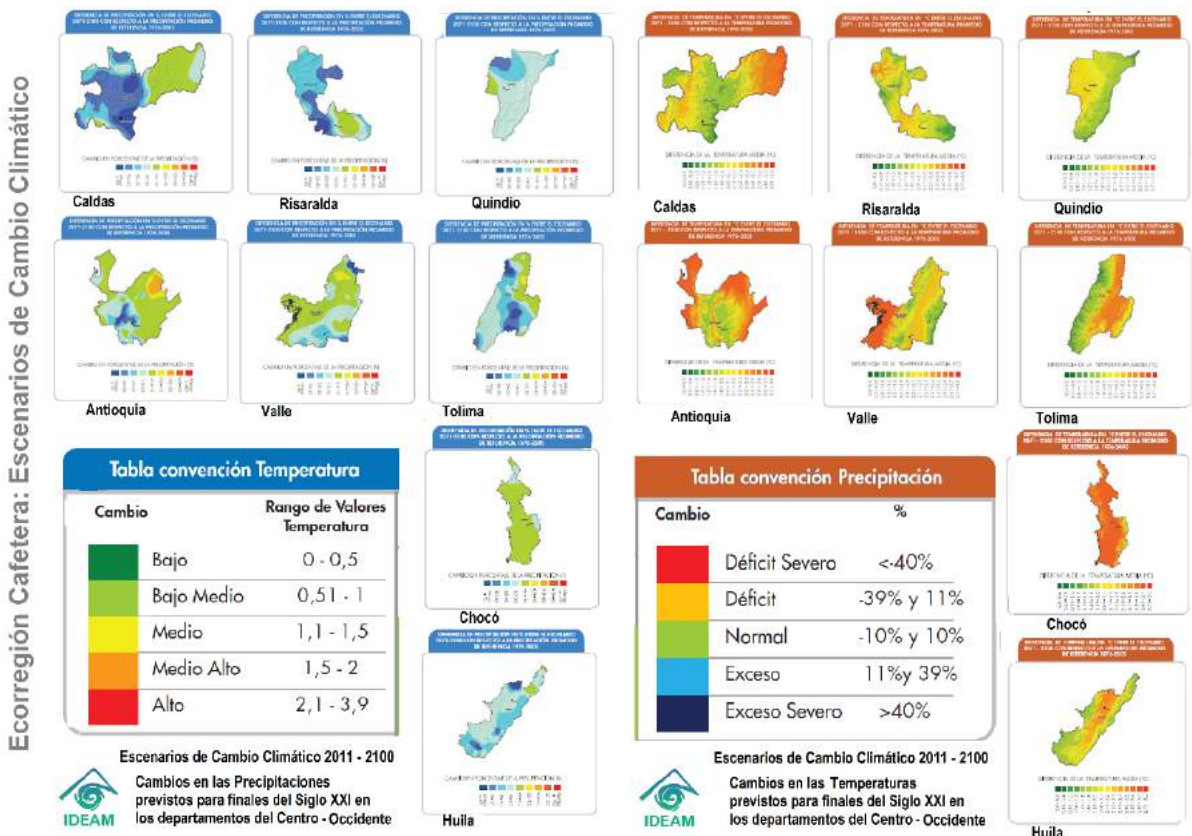


Imagen 116: Eje Cafetero, Antioquia, Chocó, Tolima y Valle: Escenarios de Cambio Climático 2011-2100. Ideam 2015.

Las consecuencias del cambio climático y de la desproporcionada intervención humana señalada en “Colombia Viva 2017” por la WWF, son los ecosistemas en estado crítico y cientos de especies amenazadas, que están poniendo en riesgo de colapso al 86,1% de dicho patrimonio en la Región Andina. En Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo, ubicándose por debajo de Brasil, se han identificado 85 tipos de ecosistemas, de los cuales la tercera parte se ha deteriorado, 20 tipos aparecen en estado crítico y 17 más en peligro.

Al respecto: a) según “Colombia Viva 2017”, de 284 especies de animales terrestres en los libros rojos (44 insectos, 4 arácnidos, 54 anfibios, 29 reptiles, 125 aves y 28 mamíferos), 41 están en peligro crítico, 112 amenazadas y 131 son vulnerables; y b), el informe “Escenarios de Cambio Climático 2011-2100” (IDEAM 2015), contempla para Colombia incrementos de Temperatura promedio en las áreas continentales de 1,4°C y de 1,5°C en los mares de la patria. Adicionalmente las lluvias, que se incrementarán en las zonas de montaña entre un 10 y 40%, con máximos en Caldas y Risaralda, también se reducirán entre un 10 y 40% en la costa norte y archipiélago de San Andrés, y en la Amazonía.

Y aunque cuenta nuestro territorio en su valioso patrimonio natural con cuatro Parques Naturales Nacionales PNN: el de los Nevados, el Tatamá, la Selva de Florencia, y el Santuario de Fauna y Flora Otún-Quimbaya, tal cual lo hizo Pereira, deberían elevarse a la misma categoría las RFP de Chec y Río Blanco, y el Parque de Cocora, para blindar los ecosistemas y el agua en las capitales cafeteras. A pesar de la Ley 99 de 1993, cuyo Art. 1. N4 dice: “Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos, serán objeto de protección especial”, este patrimonio está amenazado, no sólo por el cambio climático, sino también por pasivos ambientales y presiones actuales de naturaleza antropogénica.

En Caldas, para el fin de siglo la temperatura del Departamento, según el IDEAM, podrá aumentar en 2,4°C en promedio. Los principales aumentos se podrán presentar en la región magdalenense, en donde la temperatura podría aumentar hasta en 2,5°C. Y

en precipitaciones, estima el IDEAM que en general el departamento tendrá aumentos de entre un 20% en 2040 y hasta un 28% para fin de siglo, y que en las subregiones Centro Sur, Bajo Occidente y Alto Occidente para entonces, la precipitación podrá aumentar hasta el 30%.

En Risaralda, para el IDEAM a finales de siglo la temperatura podrá presentar aumentos de hasta 2,4°C en los valles de los afluentes del Cauca, y un mayor el incremento hacia el poniente en Pueblo Rico y Mistrató. En precipitaciones añade, se podrán presentar aumentos importantes en promedio de hasta un 28%, y entre 30% y 40% en Pereira, Quinchía y Santuario. En la cuenca del San Juan, la zona cordillerana y otras localidades vecindades del Cauca, se esperan los menores cambios de precipitación.

Y en Quindío, estima el IDEAM que para finales de siglo, se podrán presentar aumentos de temperatura sobre el valor actual, en especial hacia el poniente (Quimbaya, Montenegro, La Tebaida, Armenia, Circasia y Filandia) donde esa variable podría incrementarse 2,3°C. Y en cuanto a la precipitación, el mayor aumento con un 24%, se daría en los municipios de Quimbaya y Filandia, según los escenarios modelados.

La migración de las zonas de vida en 170 m de altitud por cada grado centígrado conforme el clima varíe, pasará factura sobre los ecosistemas fragmentados. Habrá que mitigar el descontrol hídrico y pluviométrico, y resolver de paso la fragmentación de los ecosistemas recuperando rondas hídricas, dos problemas relacionados con el alto índice de deforestación que vulnera los derechos bioculturales del territorio e incrementa el riesgo frente a la amenaza del cambio climático.

En suma: la planificación integral para un desarrollo sustentable, en la que los usos del suelo garanticen la función social y ecológica de la propiedad, debe empezar por una adaptación del modelo productivo y de ocupación del territorio, no solo a los preceptos de la ley ambiental sino también a las dinámicas del clima, para garantizar los servicios ambientales y proteger la biodiversidad.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2019.10.7]

20.9. DESARROLLO Y REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS



Imagen 117: Las revoluciones industriales, en <http://economipedia.com>

Se entiende por tecnología el conjunto de instrucciones aplicadas a un proceso productivo; por ejemplo, el café y el bahareque, o la tecnología para el control de la erosión, patrimonio de la región. Ahora, en una perspectiva más global, si entre las tecnologías fundamentales logradas por la humanidad, están el fuego y la rueda, o la agricultura y el pastoreo inventados durante el Neolítico, también uno de los desarrollos más portentosos de la humanidad ha sido el invento de las ciudades cuya evolución es evidente. No obstante, así como desde la invención del fuego, el deterioro del medio ambiente ha resultado significativo, también los problemas contemporáneos asociados a la tecnología, son múltiples: agotamiento de recursos y polución, guerras y exclusión, gasto público e innovación, crecimiento y desarrollo, dependencia y poder, ideología y cultura...

Si miramos la historia del desarrollo, los principales cambios sucedidos después del neolítico, han sido las denominadas revoluciones industriales, de las cuales transcurrieron dos: la primera, impulsada y promovida por la máquina de vapor y la energía hidráulica, cuya importancia radicó en el proceso de transformación económica, social y tecnológica ocurrido en Europa Occidental, Estados Unidos y Japón, ocurrida desde la segunda mitad del siglo XVIII hasta 1850, cuando se da el paso de una economía rural a otra de carácter urbano, industrializada y mecanizada; y la segunda revolución, que partió de 1870 y cerró con la primera guerra mundial en 1914, donde los impactos de esa naturaleza pero alcance globalizado parten de los procesos de industrialización mediados por innovaciones técnicas intensivas en nuevas fuentes de energía como el gas, el petróleo o la electricidad, y en nuevos materiales, se traducen en una explosión de medios como el avión, el automóvil, el teléfono y la radio.

Y mirando lo que es el desarrollo hoy, diríamos que estamos cerrando el ciclo de una tercera revolución iniciada a mediados del siglo XX: la también denominada revolución científico-técnica que ha servido como detonante de la llamada sociedad de la información, gracias a la conjunción de las TIC y las energías renovables, pero también que estaríamos ad portas de una cuarta revolución industrial marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas, puesto que se anticipan cambios estructurales en el mundo que conocemos, y por lo tanto en la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. Así como la tercera revolución industrial partió de la llegada de la electrónica transformando la tecnología de la información y las telecomunicaciones, ahora con la automatización total de la manufactura mediada por los avances de la inteligencia artificial debidos a la ingeniería genética y las

neurotecnologías, en las próximas décadas habrá un cuarto giro o revolución que cambiará radicalmente la estructura del empleo, con grandes consecuencias sociales, económicas y ambientales.

Dados el modelo de desarrollo “energívoro y consumista”, con 7.300 millones de personas habitando el planeta que alcanzarán a 9.700 millones en 2050, y una huella ecológica per cápita creciente que ya supera la capacidad global de 2,1 hectáreas bioproductivas por persona, para resolver las demandas futuras de la humanidad en energía, alimentos, hábitat, trabajo... parecen insuficientes las cinco tecnologías fundamentales surgidas desde mediados del siglo XX y previstas hasta el año 2030, que en su orden son: la informática, que nace en 1948 con la invención del transistor; la biotecnología, que surge gracias al microscopio electrónico la ultra-centrifugadora y el espectrómetro de masas; los nuevos materiales, obtenidos en procesos con ambientes a temperaturas extremas e ingravidez, bajo intensos campos magnéticos; las nuevas fuentes energéticas (energía solar y de fusión, biocombustibles, hidrógeno...) modificando el arco energético por fuentes ; y los nuevos espacios, como la órbita geoestacionaria y los fondos oceánicos, importantes para Colombia.

Si queremos futuro, para superar esta sociedad industrial de ayer y entrar con opciones de desarrollo a la sociedad del conocimiento, el primer desafío va más allá de la calidad de la educación, puesto que el actual modelo educativo centrado en los tres objetivos de las pruebas PISA, al olvidar la cultura y las artes no desarrolla el talento humano; y el segundo, debemos implementar estrategias para una reconversión tecnológica del aparato productivo, e implementar un nuevo desarrollo soportado en sinergias entre la economía del conocimiento y las economías verde, digital y naranja. [Ref.: La Patria. Manizales, 2017.12.18]

20.10-LA REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA

RESUMEN: *Los avances de la tecnología han llegado a campos insospechados revolucionado el siglo XX, con la nanociencia y nanotecnología, gracias al conocimiento y desarrollo de técnicas instrumentales sobre el comportamiento de estructuras extremadamente pequeñas o miniaturas, lo que crear estructuras funcionales gracias al control de los átomos y las moléculas de manera individual. Esto hace que las nanopartículas sean interesantes, y que dicha tecnología se pueda aplicar en diferentes campos como la medicina, el medioambiente, y la electrónica, entre otros.*



Imagen 118: <https://reportedigital.com/>

La nanotecnología, entendida como la ciencia y técnica de manipular la materia a escala atómica y molecular, con múltiples fines o aplicaciones que van desde la solución de problemas médicos o biológicos, pasando por la electrónica y generación energética con aplicación al transporte, las comunicaciones y la seguridad, hasta la producción de materiales con propiedades especiales a escala industrial, es un desarrollo que ofrece enormes beneficios al afectar la resistencia y propiedades eléctricas, químicas y magnéticas de los materiales, modificando y controlando a escala nanométrica su forma, tamaño y propiedades desde la estructura molecular por debajo de los 100 nanómetros, pese a sus desventajas y riesgos que veremos adelante.

La nanotecnología surgió gracias a inventos como el microscopio electrónico (Alemania 1930) que al utilizar electrones en lugar de luz visible aumenta la imagen de un objeto un millón de veces, contra 1500 veces de uno óptico; y el microscopio de efecto túnel (Suiza 1980) que permite captar imágenes de superficies a nivel atómico, y manipular los átomos para modificar las moléculas aprovechando el efecto cuántico de la materia para cambiar sus propiedades ópticas, magnéticas y eléctricas, convirtiendo por ejemplo, cuerpos opacos de cobre en transparentes, sustancias inertes de platino en catalizadores, cuerpos estables de aluminio en combustibles, sólidos de oro a temperatura ambiente en líquidos, y aislantes de silicio en conductores eléctricos.

Colombia, consciente del potencial de la nanociencia y nanotecnología con sus impactos drásticos y acelerados, ha creado la Red-Nano (2013) y el Centro Nacional de Nanotecnología (2018) mirando su desafío para la educación y la industria, al asumir nuevos paradigmas y financiar la formación a alto nivel, para incursionar en la investigación aplicada y el estudio de los materiales como campo multidisciplinar de esta nueva área del conocimiento, que involucra directamente las ciencias físicas, de la vida y naturales, e indirectamente las ciencias sociales y del comportamiento por sus implicaciones en la biología molecular, la medicina, el medio ambiente y la seguridad, entre otros aspectos. La U.N. que en Bogotá tiene el grupo de Superconductividad y nanotecnología del Doctorado en Física, Forma en Manizales doctores en Física del Plasma, y en la Escuela de Minas además de la Maestría en Materiales y Procesos, ofrece la Especialización en Nanotecnología aplicada a hidrocarburos.

Hoy a nivel mundial, se reportan diez aplicaciones: 1- Nanobots administradores de fármacos, que sanan heridas y sustituyen la quimioterapia sin efectos secundarios. 2- Nanosensores para medir presión sanguínea y respiración, nivel de glucosa y colesterol, y anomalías cardíacas; o sensores de silicio y oro para detectar tumores. 3- Gel transparente resistente a radiación ultravioleta, para

piel artificial sin inflamaciones o irritación cutánea. 4- Nanomaterial de silicio negro que destruye bacterias y esporas bacterianas. 5- Baterías de carga ultrarrápida con aminoácidos, que aguantan miles de ciclos. 6- Nanobaterías de óxido de litio del tamaño de un grano de arena, con carga y vida útil comparable a una batería normal. 7- Películas plásticas y envases de sílice polimérico resistentes al calor, que preservan alimentos impidiendo el flujo de humedad, dióxido de carbono y oxígeno. 8- Filtros para potabilización de agua, mediante hojas con recubrimiento de plata que atrapan el 99,9% de las bacterias. 9- Pantallas holográficas que reproducen imágenes en tres dimensiones con sensación del tacto y sin necesidad de gafas. 10- Producción de lentes de contacto de realidad aumentada, que combinan la visión real con contenidos virtuales a nivel de la retina.

Además de los beneficios de los desarrollos señalados que a corto plazo se están dando a pequeña escala, y de otros a mediano plazo que se anuncian como la fabricación de paneles solares más eficientes para generar energía económica, y de los nanotubos y membranas de carbono para construir –en su orden- turbinas eólicas más grandes, resistentes y livianas, y filtros para capturar el dióxido de carbono en plantas de energía que usan combustibles fósiles, habrá que considerar aspectos desfavorables de la nanotecnología, aparte del impacto económico derivado de su uso generalizado, como el mal aprovechamiento de la manipulación de la materia a escala atómica para invadir la privacidad o construir armas letales difícilmente detectables, a lo que se sumaría una nueva contaminación con partículas inhalables perjudiciales para los seres vivos.

* [Ref.: La Patria. Manizales, 2020.01.27]

Lecturas complementarias

Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.

A continuación la segunda versión de unas notas sobre la aplicación de los conceptos de riesgo y amenaza relacionados con erupciones volcánicas e inestabilidad de laderas en zona de montaña, un trabajo inicialmente centrado en el riesgo volcánico presentado en el CISMID de Lima (1996) y ahora complementado con conceptos de importancia para las comunidades de la región andina sobre la gestión del riesgo por deslizamientos, y otros elementos asociados a fenómenos geodinámicos que acechan como consecuencia del cambio climático.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51727/gonzaloduqueescobar.201450.pdf>

El modelo de ocupación urbano - territorial de Manizales.

Urge un nuevo modelo de desarrollo urbano y de ocupación del territorio para Manizales; primero, para corregir un uso conflictivo del suelo y expansionista del territorio, que al favorecer la especulación con la plusvalía urbana y concentrar la inversión en infraestructura social y productiva, además del deterioro ambiental causa la fragmentación espacial y social de la ciudad; y segundo, porque a la luz de la planificación moderna, pensado en ciudades innovadoras y competitivas, no se contempla a fondo la integración urbana entre Pereira y Manizales para generar sinergias territoriales y complementar la economía de la Ciudad Región, como estrategia para prevenir el ocaso de estas ciudades intermedias del Eje Cafetero, fruto de la creciente competencia metropolitana sobre el Eje Cali – Medellín. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55758/elmodelodeocupacionurbanoterritorialdemanizales.pdf>

Plusvalía, desarrollo urbano y mercado.

En Manizales se requiere un sistema moderno de cargas y beneficios que permita un desarrollo ciudadano incluyente, como lo es la recuperación de la plusvalía urbana, ya implementado en Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y Pereira. La Ley 9 de 1987 de Reforma Urbana introduce el concepto de la Plusvalía Urbana desarrollado a profundidad en Colombia por el Profesor Lauchlin Currie quien propone captar todas, o gran parte de las ganancias derivadas de la valorización de la tierra urbana, al abrir espacios con mecanismos de planificación y gestión del suelo. Posteriormente, la Constitución Política de 1991, establece que “Las entidades públicas participarán en la plusvalía que genere su acción urbanística y regularán la utilización del suelo y del espacio aéreo urbano en defensa del interés común”; finalmente, la Ley 388 de 1997 define los alcances y procedimientos del cobro de la contribución de la plusvalía. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57513/plusvaliadesarrollourbanoymercado.pdf>

El futuro de la ciudad.

Ejercicio prospectivo para Manizales, donde se acomete la tarea de pensar la ciudad partiendo del examen del territorio visto como una construcción social e histórica, al identificar sus procesos y tendencias de desarrollo con sus desafíos y metas sociales, ambientales económicas e institucionales, para poder describir la región y el escenario urbano e identificar algunas opciones y propuestas entregando una visión basada en la historia del territorio que sirva de soporte a las diferentes apuestas de agenda pública de la sociedad civil.

Ver en: <https://youtu.be/OHE06LJXR8Q>

Un plan maestro de transporte “multi” pero no intermodal.

Observaciones al Plan Maestro de Transporte Intermodal PMTI 2015-2035, relacionadas con su enfoque multimodal, y algunos proyectos estratégicos de la región Andina para establecer un sistema intermodal de carga en Colombia que puede financiarse con la locomotora del carbón andino. Entre otros, se propone que, en lugar de poner a competir ferrocarril, hidrovía y carretera a lo largo del Magdalena, se desarrolle el sistema ferroviario extendiendo el Corredor Férreo del Cauca hasta la Hidrovía del Magdalena y el Altiplano, y desde La Felisa hasta Urabá, además de articular los mares de Colombia con un paso interoceánico entre Urabá y Cupica. Ver en:

<https://youtu.be/OHE06LJXR8Q>

...

..

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Papal en Murillo, Tolima. Oleo GDE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA
INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Ciclo geológico – PDF Capítulo 1:

Ciencias naturales y CTS.

Ver: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3157/cts-ondas.pdf>

Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento.

Ver: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8652/gonzaloduqueescobar.201176.pdf>

Eje Cafetero: fortaleza minero-industrial y posibilidades agropecuarias.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9693/gonzaloduqueescobar.201222.pdf>

Un contexto para el puerto de aguas profundas en Tribugá, Colombia.

<https://godues.wordpress.com/2018/07/06/un-contexto-para-el-puerto-de-aguas-profundas-en-tribuqa-colombia/>

Significado y desafíos del regreso del tren

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57686/significadoydesafiosdelregresodeltren.pdf>

PACHAMAMA: EL MUNDO DE LA TIERRA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55442/mundodelatierra.pdf>

Materia y energía – PDF Capítulo 2:

El Universo acelerado.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8295/gonzaloduqueescobar.201169.pdf>

El Bosón de Higgs.

Ver <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9976/gonzaloduqueescobar.201231.pdf>

Elementos de astrofísica y las estrellas.

Ver en: <https://alejandria-d.unal.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/121/astrofisicayestrellas.pdf>

El desarrollo urbano y económico de Manizales.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55500/eldesarrollourbanoyeconomicodemanzales.pdf>

BACHUÉ: EL MUNDO

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55442/mundodelagua.pdf>

Sistema Solar – PDF Capítulo 3:

La astronomía en Colombia: perfil histórico.

https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3254/gonzaloduqueescobar.20097_parte2.pdf Descubrir el Universo desde Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3161/gonzaloduqueescobar.2009.pdf>
Cultura & Astronomía.

<https://www.youtube.com/watch?v=TsksqSPMFw&t=412s>

Colombia, por un desarrollo satelital.

Ver en: <https://godues.wordpress.com/2020/09/07/colombia-por-un-desarrollo-satelital/>

Tránsito de Mercurio

Ver en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56826/transitodemercurio.pdf>

YURUPARÍ: EL MUNDO DEL AIRE

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55442/mundodelaire.pdf>

Tierra sólida y fluida- PDF Capítulo 4:

Las Cuatro Estaciones para reflexionar sobre cambio climático.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7148/gonzaloduqueescobar.201124.pdf>

Visión retrospectiva y prospectiva del desarrollo regional.

https://alejandria-d.unal.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/143/Eje_Cafetero_-_retrospectiva_y%20prospectiva_del_desarrollo..pdf

La erosión del suelo y su relación con el agua.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/erosiondesuelos.pdf>

La sed de los cafetos.

Ver en http://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines_ambientales/boletin6.pdf

Una política ambiental pública para Manizales.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9586/gonzaloduqueescobar.201217.pdf>

CHIMINIGAGUA: EL MUNDO DEL FUEGO

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55442/mundodelfuego.pdf>

Minerales – PDF Capítulo 5:

Retrospectiva histórica de la minería en Marmato.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9141/gonzaloduqueescobar.20129.pdf>

Anserma puntal del occidente por sus raíces Umbra.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10792/gonzaloduqueescobar.201239.pdf>

Riosucio mestiza e indígena.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21139/gonzaloduqueescobar.201409.pdf>

Supía: 475 años bajo la tutela del cerro Tacón.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52349/Supia475anosbajolatuteladelcerrotacon.pdf>

Economía colombiana: crisis y retos.

Ver en: <https://youtu.be/MZs4cgGO7wA>

CHÍA, BOCHICA Y CHIBCHAÇUM: ARTE, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55442/mundosedelaculturalacienciaylatecnologia.pdf>

Vulcanismo - PDF Capítulo 6:

Manizales frente a la coyuntura volcánica.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9391/gonzaloduqueescobar.201215.pdf>

el Eje Cafetero: caso Manizales.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9615/gonzaloduqueescobar.201220.pdf>

En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3170/exodo-huila.pdf>

Antes que La Colosa a galerizar Cajamarca.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70223/gonzaloduqueescobar.201025.pdf>

La economía en la era del conocimiento.

Ver en: <https://godues.wordpress.com/2020/11/23/la-economia-en-la-era-del-conocimiento/>

Sismos y volcanes en

GEOTECNIA PARA EL TRÓPICO ANDINO

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/geotecniaparaeltropicoandino.pdf>

Rocas ígneas – PDF Capítulo 7:

Un canal bioceánico por el Chocó biogeográfico.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64259/uncanalbioceanicoporelchocobiogeografico.pdf>

Un diálogo con el Paisaje Cultural Cafetero PCC.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9977/gonzaloduqueescobar.201230.pdf>

Temas rurales para la ecorregión cafetera.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8010/gonzaloduqueescobar.201157.pdf>

Ferrocarril Cafetero: un tren andino para integrar el territorio

Ver en: <https://youtu.be/26q-zGOY5N4>

Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.

<https://www.youtube.com/watch?v=jz14hNG1Tsc>

GUÍA ASTRONÓMICA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3252/guiaastronomica.pdf>

Intemperismo o meteorización - PDF Capítulo 8:

Origen, formación y constitución del Suelo. Las arcillas.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/introduccion.pdf>

Relaciones granulométricas y de volumen en un suelo.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/relacionesgravimetricasyvolumetricasdelsuelo.pdf>

Estructura del suelo y granulometría.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/estructuradelsueloygranulometria.pdf>

Consistencia y plasticidad de los suelos.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/consistenciayplasticidad.pdf>

Clasificación ingenieril del suelo.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/clasificaciondesuelos.pdf>

COLOMBIA TROPICAL, ¿Y EL AGUA QUÉ?

[http://alejandria-d.unal.edu.co:8888/xmlui/bitstream/handle/123456789/131/Colombia tropical %c2%bfy el agua qu%c3%a9.pdf](http://alejandria-d.unal.edu.co:8888/xmlui/bitstream/handle/123456789/131/Colombia%20tropical%20y%20el%20agua.pdf)

Rocas sedimentarias – PDF Capítulo 9:

Sistema Bimodal Cafetero: ferrocarril y carretera para la Región Andina.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54691/sistemaferroviarioparalaregi%c3%b3nandinadecolombia.pdf>

Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/49615/gonzaloduqueescobar.201442.pdf>

Eje Cafetero: elementos para una visión prospectiva.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20374/gonzaloduqueescobar.201336.pdf>

Medio ambiente, mercado y Estado.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21507/gonzaloduqueescobar.201414.pdf>

Desarrollo energético y clima salvaje.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52222/desarrolloenergeticoyclimasalvaje.pdf>

CTS, ECONOMÍA Y TERRITORIO

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77205/ctseconomiayterritorio.pdf>

Tiempo geológico – PDF Capítulo 10:

Isaac Newton.

Ver en: <https://youtu.be/vYalaA8-lw8>

Albert Einstein.

Ver en: <https://youtu.be/b-XnZk7dpUk>

Stephen Hawking.

Ver en: <https://youtu.be/hXg4lhxyewQ>

El camino a las estrellas.

Ver en: <https://youtu.be/jlUtSN6431E>

El remoto pasado de nuestro mundo.

Ver en: <https://godues.wordpress.com/2007/08/26/el-remoto-pasado-de-nuestro-mundo/>

GUERRA O PAZ, Y DISFUNCIONES SOCIO-AMBIENTALES EN COLOMBIA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57448/querraopazencolombia.pdf>

Geología estructural – PDF Capítulo 11:

Objeción a una explotación minera en Planalto.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11645/gonzaloduqueescobar.20135.pdf>

Colombia mira a la Cuenca del Pacífico.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7660/gonzaloduqueescobar.201151.pdf>

Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20857/gonzaloduqueescobar.201402.pdf>

Centenario “canalero”.

Ver en: <https://godues.wordpress.com/2014/07/07/centenario-canalero/>

Impactos del nuevo Canal de Panamá.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57024/impactosdelnuevocanaldepanama.pdf>

COLOMBIA INTERMODAL: HIDROVÍAS Y TRENES

https://alejandria-d.unal.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/144/Colombia_Intermodal_-_Hidrovias_y_Trenes.pdf

Macizo rocoso – PDF Capítulo 12:

Compactación de suelos.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap14.pdf>

Consolidación de suelos.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/consolidaciondesuelos.pdf>

Triaxial y envolvente de falla.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap13.pdf>

Pacífico Colombiano.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56406/pacificocolombiano.pdf>

Túnel Cumanday, cruzando la Cordillera Central

<https://www.calameo.com/read/00230445301f4171d69ec>

TÚNELES: VIDEOS Y DOCUMENTOS

<https://godues.wordpress.com/2014/01/04/tuneles-videos-y-documentos/>

Rocas metamórficas – PDF Capítulo 13:

Esfuerzos en el Suelo.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3375/cap10.pdf>

Eje Cafetero y Transporte Intermodal.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56969/ejecafeteroytransporteintermodal.pdf>

Crisis y Opciones en el Río Grande de Colombia.

Ver en: <https://www.youtube.com/watch?v=AbAfIMGRk-I>

Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8774/gonzaloduqueescobar.201180.pdf>

Planteamiento y solución a un problema topográfico: problema “ALEPH”.

https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3227/aleph_gde.pdf

LEGALIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA GUADUA EN LA ECORREGIÓN CAFETERA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62813/gobernanzaforestalencolombia-legalidadysostenibilidaddelaquadua.pdf>

Montañas y teorías orogénicas – PDF Capítulo 14:**Esfuerzo cortante en suelos.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/esfuerzosenmasasdesuelo.pdf>**Teoría del círculo de Mohr.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/circulodemohr.pdf>**Amenazas naturales en los Andes de Colombia.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3152/amn-and-colombia.pdf>**Oro de Marmato: miseria o desarrollo.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7100/gonzaloduqueescobar201120.pdf> **Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56384/subregionesdecaldas.pdf>**CONTROL Y VIGILANCIA FORESTAL EN LA REGIÓN PACÍFICA Y ANDINA**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60217/procesosdecontrolyvigilanciaforestalencolombia.pdf>**Sismos – PDF Capítulo 15:****Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9142/gonzaloduqueescobar.201210.pdf>**Un tinto para la reconstrucción del Eje Cafetero.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51802/gonzaloduqueescobar.201452.pdf>**Haití sin resiliencia para el desastre.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77150/haitisinresilienciaparaeldesastre.pdf>**No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52954/nohaymasterremotosimplementedesastresmasgrandes.pdf>**Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7017/gonzaloduqueescobar.201115.pdf>**UN CONTEXTO PARA EL PUERTO DE AGUAS PROFUNDAS EN TRIBUGÁ, COLOMBIA**<https://es.calameo.com/read/002304453e74c5de4d0d3>**Movimientos masales PDF Capítulo 16:****Geotecnia y medio ambiente.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3255/geotecniayma.pdf>**Manizales: un diálogo con su territorio.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21412/gonzaloduqueescobar.201411.pdf>**Geomecánica de las laderas de Manizales.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3174/gonzaloduqueescobar.200916.pdf>**Inestabilidad de laderas en el trópico andino - Caso Manizales.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9692/gonzaloduqueescobar.201223.pdf>**Otra vez El Niño: ¿cómo adaptarnos?**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/68776/otravezelni%c3%b1o-comoadaptarnos.pdf>**ELEMENTOS PARA UNA VISIÓN ESTRUCTURADA DEL DESARROLLO DE CALDAS.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/50844/elementosparaunavisiondecaldas.pdf>**Aguas superficiales – PDF Capítulo 17:****El territorio como sujeto en el contexto del Magdalena Centro.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8972/gonzaloduqueescobar.20123.pdf>**Aerocafé en tiempos de pandemia.**<https://www.calameo.com/read/0023044531b4a1404af5b>**Una salida al mar para el occidente colombiano.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3243/gonzaloduqueescobar.200910.pdf>**Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera.**<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/74954/gonzaloduqueescobar.201425.pdf>**Anotaciones a las vías de Caldas.**

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55954/ anotacionesalasalviasdecaldas.pdf>

ASPECTOS GEOFÍSICOS DE LOS ANDES DE COLOMBIA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3153/gonzaloduqueescobar.200915.pdf>

Aguas subterráneas – PDF Capítulo 18:

Capilaridad. Propiedades hidráulicas de los suelos.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/propiedadeshidraulicasdelossuelos.pdf>

Caldas en la biorregión cafetera.

Ver en: https://youtu.be/m_217Tms8CM

Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas.

Ver en: <https://youtu.be/o-qohZaMsnq>

Bosques en la Cultura del Agua.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7252/gonzaloduqueescobar.201133.pdf>

Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76813/preservacionambientalehidricaypccc.pdf>

GEOTÉCNIA PARA EL TRÓPICO ANDINO.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/geotecniaparaeltropicoandino.pdf>

Glaciares y desiertos – PDF Capítulo 19:

Redes de flujo.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/flujodeaguaenelsuelo.pdf>

Cultura y Turismo en Caldas.

Ver en: <https://youtu.be/vVnMSq8qFw>

El territorio caldense, ¿un constructo cultural?

Ver en: <https://youtu.be/Cp4tDLfH2cA>

De la Cumbre de Durban al desastre de Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8813/gonzaloduqueescobar.201182.pdf>

Río Blanco, cuna de vida...

Ver en: https://youtu.be/HPU_NT4zaaq

SEIS DIÁLOGOS CON EL TERRITORIO

<https://godues.wordpress.com/2012/05/13/seis-dialogos-con-el-territorio-abril-de-2012/>

Geomorfología – PDF Capítulo 20:

Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51727/gonzaloduqueescobar.201450.pdf>

El modelo de ocupación urbano - territorial de Manizales.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55758/elmodelodeocupacionurbanoterritorialdemanizales.pdf>

Plusvalía, desarrollo urbano y mercado.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57513/plusvaliadesarrollourbanoymercado.pdf>

El futuro de la ciudad.

Ver en: <https://youtu.be/OHE06LJXR8Q>

Un plan maestro “multi” pero no intermodal.



<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57025/unplanmaestromultiynointermodal.pdf>

FISIOGRAFÍA Y GEODINÁMICA DE LOS ANDES DE COLOMBIA

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56822/fisiografiaygeodinamicadelosandesdecolombia.pdf>



EI

 <p>Gonzalo Duque Escobar</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</p>  <p>MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS</p> <p><u>Gonzalo Duque-Escobar</u></p> <p>MANIZALES, 2020</p> <p>***</p> <p>EL AUTOR</p>
<p>A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.</p>	

autor del Manual de Geología para Ingenieros, Gonzalo Duque-Escobar, es Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geofísica Aplicada, Economía y Mecánica de Suelos; laboró como Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia hasta junio de 2005, donde ha dictado las cátedras de Geología, Astronomía, Topografía y Mecánica de Suelos y ex Presidente de La Red de Astronomía de Colombia RAC para el período 2004-2006. <http://godues.webs.com>
En los últimos años ha tenido a su cargo módulos en varias cátedras de los siguientes programas académicos:

- [Posgrado en Vías y Transportes UN: Economía y Transportes](#)
- [Maestría Medio Ambiente y Desarrollo: Seis diálogos con el territorio](#)
- [Posgrado Geografía: Gestión del Riesgo Natural](#)
- [Curso de Contexto en Astronomía OAM-U.N.](#)
- [Curso de Contexto CTS U.N.](#)

También, ha sido Investigador en el tema de los fenómenos geodinámicos y las amenazas con el Idea de la Universidad Nacional; por ejemplo, dentro del Proyecto Construcción de Indicadores sobre Desastres Naturales (BID –UN); en ordenamiento de Cuencas hidrográficas con el Idea y la Corporación Aldea Global; además de Miembro Fundador y Expresidente de la Red de Astronomía de Colombia RAC, donde fue responsable de la edición de 417 Circulares, las cuales aparecen publicadas en <http://oam.manizales.unal.edu.co>. Además, como miembro de la SMP de Manizales, ha publicado más de un centenar de documentos de interés regional, los cuales se pueden consultar en <http://wp.me/p1ckaZ-2Qd>

Es autor y coautor de los siguientes textos:



Libros digitales

- **Aprendizajes en procesos participativos de reconversión productiva: cuenca del río San Francisco.** Aguirre D. Carlos Mario, Ortiz O. Doralice, Duque E. Gonzalo. (2014). Corporación Aldea Global. ISBN 978-958-57223-4-7. Manizales. Colombia
- **Elementos para la construcción de una visión estructurada del desarrollo de Caldas.** Book. Duque Escobar, Gonzalo (2014) U.N. – SMP Manizales. Manizales.

- **Fundamentos de economía y transportes.** Book. Duque Escobar, Gonzalo (2006) Universidad Nacional de Colombia.
- **Geomecánica.** Book. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2016) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- **Geotecnia para el trópico andino.** Book. Escobar Potes, Carlos Enrique and Duque Escobar, Gonzalo (2016) N/A, Manizales, Colombia.
- **Guía astronómica.** Book. (15 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo (2003) Texto de soporte para el Taller de Astronomía del Observatorio Astronómico de Manizales OAM de la U. Nacional de Colombia.
- **La logística del transporte: un elemento estratégico en el desarrollo agroindustrial.** Book. Sarache Castro, William Ariel and Cardona Alzate, Carlos Ariel and Giraldo García, Jaime Alberto and Duque Escobar, Gonzalo and Orrego Alzate, Carlos Eduardo and Tamayo Arias, Johnny Alexander and Builes Ocampo, Sabina and Cardona Jaramillo, Adriana and Granados Ortiz, María Luisa (2007) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Caldas, Colombia.
- **Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera.** Book. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice (2014) Carder- Corporación Aldea Global, CARs Socias del Proyecto
- **Manual de geología para ingenieros.** Book. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales
- **Mecánica de los suelos.** Book. (15 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2002) Universidad Nacional De Colombia.
- **Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia.** Book. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice and Vela Murillo, Norma Patricia and Orozco Muños, José Miguel (2014) Carder- Corporación Aldea Global, CARs Socias del Proyecto.
- **Sistematización de Experiencias y Estrategias de los Planes de Acción Inmediatos PAI de la cuenca del río Guarinó y la Charca de Guarinocito.** Book. Vela Murillo, Norma Patricia and Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice (2012). Manizales.
- **Textos “verdes”.** Recopilación de Documentos Digitales en Temáticas Ambientales, con coautoría de Gonzalo Duque Escobar. U.N de Colombia - Corporación Aldea Global – SMP Manizales.
- **UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.** Book. Duque-Escobar, Gonzalo (2015). Museo Interactivo Samoga. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Actualmente, además de Socio de la SMP de Manizales y Miembro Honorario de la SCIA, es Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM desde su fundación y del Museo Interactivo SAMOGA, dos dependencias de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, y columnista del diario La Patria. Ver sus artículos y otras publicaciones, en:

Columna de Opinión

<https://godues.wordpress.com/2012/05/17/la-patria-mi-columna-de-opinion/>

Publicaciones del Repositorio U.N.: <https://repositorio.unal.edu.co/browse?type=author&value=Duque%20Escobar,%20Gonzalo>

Ha participado en otras investigaciones con el Centro Regional de Estudios Cafeteros (Crece) sobre el tema de la Energía; con el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) en el Perfil Ambiental de Colombia caso Manizales; con la Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) en la Prospección del Potencial Geotérmico del PNNN y en el montaje del Observatorio Vulcanológico del Volcán Nevado del Ruiz, cuya propuesta lideró FICDUCAL desde Junio de 1985; y ha pertenecido al Consejo de Planeación Territorial de Manizales, al Concejo Regional de Ordenamiento Territorial de Caldas y al Observatorio de Infraestructura del Comité Intergremial del citado departamento.

CV LAC - RG de Gonzalo Duque-Escobar:

<http://godues.wordpress.com/2012/09/12/gonzalo-duque-escobar-cvlac-rg>

A LA INSTITUCIÓN: U.N. de Colombia 1867-2017

Labor y proyección de la sesquicentenario U.N. de Colombia.



Aunque en el siglo XIX, no se logra consolidar la Universidad Central de la Gran Colombia con sedes en Santafé, Caracas y Quito, y la ley expedida por Santander en 1826 en cierto modo dará pie al establecimiento de instituciones de educación superior para la naciente república, la primera universidad pública y estatal sólo se hace realidad cuando en 1867 se funda la Universidad Nacional de Colombia con seis facultades: Artes y Oficios, Ciencias Naturales, Derecho, Ingeniería, Literatura y Filosofía, y Medicina, y la adhesión del Observatorio Astronómico, la Biblioteca Nacional, el Museo Nacional, el Laboratorio Químico Nacional, y los hospitales de la Caridad y Militar.

Irán apareciendo nuevas carreras terminada la guerra de los Mil días, como Arquitectura, Enfermería, Farmacia, Ingeniería Química, Medicina Veterinaria, Odontología y Química, luego en 1936 se creará la sede de Medellín al incorporar la Escuela Nacional de Minas fundada en 1886, y en fecha no precisada se hace lo propio constituyendo la Sede de Palmira al crear la Facultad de Ciencias Agropecuarias a partir de la Escuela Superior de Agricultura Tropical fundada en 1934; y por último la Sede Manizales en 1948, al constituirse la Facultad de Ingeniería en el marco del proyecto de Universidad Popular creada por ordenanza de 1943.

Pero la U.N. se ha venido cualificando a partir de la reforma más importante de su historia, emprendida en 1964 por José Félix Patiño, que reduce de 34 a 11 el número de facultades para crear sólo tres grandes: las facultades de Ciencias, de Artes y Arquitectura y de Ciencias Humanas, con lo cual no solo abandona el carácter profesionalizante de la educación superior al incorporar las disciplinas para abatir la dependencia tecnológica, sino que con un presupuesto que se triplica logra hacer viable la investigación al modernizar los currículos, ampliar la planta docente, y dotarse de laboratorios y de otros equipamientos; razón por la cual entre 1967 y 1973, impulsa los primeros programas de maestría del país y en 1986 sus primeros doctorados en física y matemáticas.

Y en cuanto a su expansión, con una visionaria política de fronteras constituye las sedes Amazonia, Caribe, Orinoquia y Pacífico, así: en 1989, crea la Estación Científica de Leticia como un pequeño centro interfacultades con funciones de investigación, docencia y extensión universitaria, que en 1994 se convierte en la sede de la Amazonia; similarmente, en 1997 a partir del Instituto de Estudios Caribeños crea en San Andrés la sede del Caribe, que cuenta hoy con Maestría en Estudios del Caribe y Maestría en Ciencias-Biología; en 1993 constituye en Arauca la sede de la Orinoquia con las Facultades de Enfermería e Ingeniería Ambiental, el Instituto Orinocense y el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves; y en 1997 constituye la sede del Pacífico en Tumaco, que con el Instituto de Estudios del Pacífico desde 2008 se ha venido implementando.

Y pese a su sesquicentenario labor construyendo el proyecto de Nación, para el cual aplica desde el 2004 el 25% de sus recursos de inversión al financiamiento de la investigación misional, logrando generar el 28% de la producción científica colombiana y desplegar más de 10 mil proyectos de extensión en beneficio de 5 millones de compatriotas pertenecientes a comunidades vulnerables de las regiones más apartadas del territorio nacional, el presupuesto que le asigna la Nación únicamente le permite cubrir el 40% de sus necesidades, razón por la cual la estratégica institución que simboliza el Estado soberano colombiano tiende a desaparecer como institución pública al quedar condenada al perverso proceso de privatización al que se le somete.

La U.N. de Manizales, gracias a su capacidad genera el 25% de la toda la investigación del Eje Cafetero. Iniciando el año 2016, de 256 profesores con doctorado y 498 con maestría en las cinco universidades de la ciudad y Cenicafé, dicha sede poseía 107 doctores y 180 maestros, equivalentes al 38% de los 754 investigadores así titulados de las seis instituciones, seguida de la Universidad de Caldas con el 36%. Por grupos de investigación inscritos en Colciencias, de 143 que tiene Manizales, dado que la de Caldas cuenta con 60 grupos y la Nacional de Manizales con 47, en 2016 ambas universidades públicas concentran el 75% de los grupos certificados.

Gonzalo Duque-Escobar <http://godues.webs.com>

Manizales, Noviembre, 21 de 2016.

TEXTOS, COLUMNAS Y ENLACES TEMÁTICOS DEL AUTOR

<p><i>A DIGITAL BOOKS AND BOOKS SECTIONS U.N. ASUNTOS DEL CLIMA ANDINO EN COLOMBIA. COLUMNA DE OPINIÓN EN LA PATRIA. COLUMNA DE OPINIÓN EN LA REVISTA EJE 21. COLUMNA DE OPINIÓN EN LA SILLA VACÍA. COLUMNA DE OPINIÓN EN EL SEMANARIO RAZÓN PÚBLICA. CURSO DE CAPACITACIÓN PARA EL CIDEAMA. CURSO DE CONTEXTO EN ASTRONOMÍA. CURSO DE CONTEXTO EN CTS. GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE. SEIS DIÁLOGOS CON EL TERRITORIO. TEXTOS "VERDES".</i></p> <p>COLOMBIA INTERMODAL: HIDROVÍAS Y TRENES <i>LA LOGÍSTICA DEL TRANSPORTE: UN ELEMENTO ESTRATÉGICO EN EL DESARROLLO AGROINDUSTRIAL. FUNDAMENTOS DE ECONOMÍA Y TRANSPORTES. CTS, ECONOMÍA Y TERRITORIO. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA ECONÓMICA. EL FUTURO DE LA CIUDAD. EL RÍO CAUCA EN EL DESARROLLO DE LA REGIÓN.</i></p>	<p><i>MIS PUBLICACIONES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL U.N. MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. MECÁNICA DE LOS SUELOS. GEOMECÁNICA. GEOTECNIA PARA EL TRÓPICO ANDINO. GUÍA ASTRONÓMICA. MECÁNICA PLANETARIA. TIEMPO Y CALENDARIOS. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA Y LAS ESTRELLAS. LAUDATO SÍ: EL CUIDADO DE LA CASA COMÚN. MEMORIAS. LEGALIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA GUADUA EN LA ECORREGIÓN CAFETERA. PROCESOS DE CONTROL Y VIGILANCIA FORESTAL EN LA REGIÓN PACÍFICA Y PARTE DE LA REGIÓN ANDINA DE COLOMBIA. AGRICULTURA SOSTENIBLE: RECONVERSIÓN PRODUCTIVA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO. ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VISIÓN ESTRUCTURADA DEL DESARROLLO DE CALDAS. UMBRA: LA ECORREGIÓN CAFETERA EN LOS MUNDOS DE SAMOGA.</i></p>
---	--

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

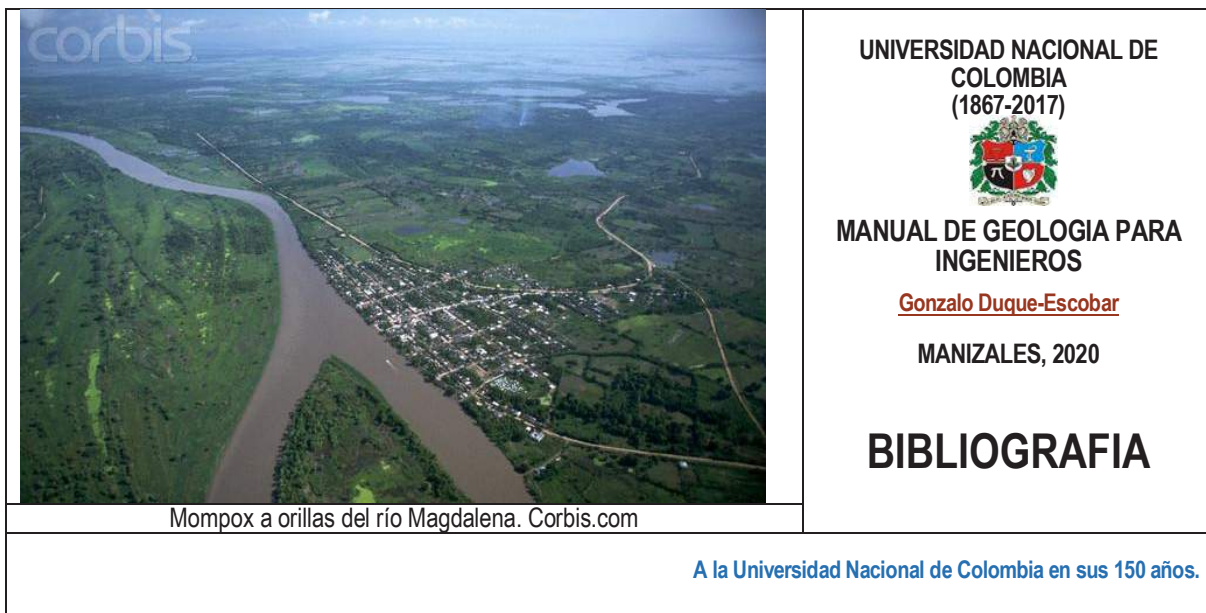
<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos “verdes”</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



Mompox a orillas del río Magdalena. Corbis.com

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

BIBLIOGRAFIA: Fuentes para consulta y referencias bibliográficas

- A Digital Books and Book Section UN. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012) Textos digitales U. N. para los cursos del Profesor GDE. U.N de Colombia.
- A matter of development: how to reduce vulnerability in the face of natural disasters. CEPAL-BID (2000).
- Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) La Patria.
- "Acid drainage of coal mining in Cundinamarca Department, Colombia". GLORIA PRIETO RINCON, LUZ MERY DUITAMA (2004). Environmental Geochemistry In Tropical And Subtropical Environments. Ed: Springer. Alemania
- Actividad de los volcanes colombianos. Volumen 1. Enero-Junio 1998. INGEOMINAS
- Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10. Mario A. Salgado, Gabriel A. Bernal, Luis E. Yamín, Omar D. Cardona. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010.
- Acuaterra Ingenieros Consultores SA. Estudio de Suelos para la Rehabilitación Estructural del Teatro Fundadores. Manizales 2003.
- Acuaterra Ingenieros Consultores SA. Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Manizales 2004.
- Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] U.N. de Colombia.
- Acuerdos en temas sensibles y estratégicos con Brasil. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo. Ed RAC. OAM Manizales.
- Acumulación de tierras y desigualdad. Aura Patricia Bolívar (2019). Razón Pública. Bogotá.
- Adaptación al cambio climático para Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2011) La Patria. Manizales.
- Advanced Soil Mechanics, Braja M. Das. Editorial: Routledge. 1997
- Aerocafé... Gonzalo Duque Escobar (2012) Información de sobre el Aeropuerto del Café, en Palestina Caldas.
- Agenda Ambiental Caribe PGN 2020: Reflexiones Ambientales. Duque Escobar, Gonzalo (2020) U.N. de Colombia.
- Agendas de Cambio Climático. Departamento de Caldas, Universidad Autónoma de Manizales (2019), CORPOCALDAS, Manizales.
- Agricultura sostenible: reconversión productiva en la cuenca del río San Francisco. Aguirre D. Carlos Mario, Ortiz O. Doralice, Duque E. Gonzalo. (2014). Corporación Aldea Global. ISBN 978-958-57223-4-7.
- Agricultura, campesinos y alimentos (1980-2010) Darío A. Fajardo Montaña (2018) U. Externado.
- Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. RIPPSTEIN, Georges and ESCOBAR, German and MOTTA, Francisco (2001). Publicación CIAT (322). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali (Colombia).
- Agua como bien público. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: Semana ambiental. Junio de 2017. Corpocaldas, Aguas de Manizales y Alcaldía de Manizales. Teatro Fundadores. Junio 9 de 2017. Manizales.
- Agua, ordenamiento territorial y desastres. Duque Escobar, Gonzalo (2011). La Patria. Manizales.
- Agua para todos: el desastre del río Mira. Duque Escobar, Gonzalo (2009) Boletín ambiental del IDEA. U.N. de Colombia.
- Agua para un mundo sostenible: datos y cifras. WWDR (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo. UNESCO.
- Agua y Clima. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Jornada Académica Laudato Si': El cuidado de la casa común, Octubre 25 de 2016, Auditorio Santo Domingo de Guzmán. Universidad Católica de Manizales.
- Agua y clima en el desafío ambiental. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Tercer Encuentro de Responsabilidad Social con El Territorio: Cumbre de Salento, 19 y 20 de Mayo de 2016, Salento, Quindío (Colombia).
- Aguas de Manizales. Base topográfica digitalizada y Lineamientos estructurales en el área de Manizales, e Imágenes digitales de la Ciudad. 2006.
- Aquadas: esplendor entre neblinas y pasillos. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2013) La Patria. Manizales.
- ¿Ajustes a locomotora energética de Colombia? Duque Escobar, Gonzalo (2018) Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Albert Einstein. Duque Escobar, Gonzalo (2016) Albert In: Contexto en Astronomía, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Algunas consideraciones sobre la evolución de los Andes Colombianos. TOUSSAINT, J. & RESTREPO, J. 1974. Boletín de Ciencias de la Tierra N°4. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Algunos procedimientos constructivos para túneles urbanos. Alejo O. Sfriso (2006). UBA, AOSA SRL y VS Consultores SA.
- Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. Mauricio Bedoya, Claudia Contreras y Franklin Ruiz. Estudio Nacional del Agua ENA 2010- IDEAM.
- Alternativa verde para el ferrocarril del Chocó biogeográfico. Duque Escobar, Gonzalo (2011) La Patria.

- Ambiente, desarrollo y sociedad: relaciones complejas. Múnera López, María Cecilia (2008) In: Planeación, ambiente y territorio: actualidad, retos y perspectivas. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Amazonia colombiana: Imaginarios y realidades. U. Nacional de Col. Sede Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones - IMANI, Bogotá.
- Amazonia: un mundo de agua y complejas relaciones. Santiago R. Duque (2011) Amazonia colombiana: Imaginarios y realidades. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones, Bogotá.
- Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Documento de trabajo., Manizales, Colombia.
- Amenazas naturales en los Andes de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007). Cátedra Pedro Nel Gómez Semestre 02-2007 "GEOGRAFÍA DEL ESPACIO RURAL COLOMBIANO. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- América Latina y el Caribe ante la pandemia. Efectos económicos y sociales. CEPAL. 1. Informe Especial.2020.
- América Latina y la globalización. Ferrer, A. Revista. "CEPAL 50 años": Reflexiones sobre América Latina y el Caribe". 1998.
- América Latina: ¿crecimiento sustentable? Duque Escobar, Gonzalo (2018) La Patria Manizales, Colombia.
- América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) Revista Civismo de la SMP de Manizales. Blanecolor, Manizales.
- América Latina: reduce la pobreza, ¿pero la de la equidad qué? Claudia Torres Arango (2019) R. Civismo 479 SMP Manizales.
- América Latina y la globalización ". Ferrer, A. Revista. "CEPAL 50 años": Reflexiones sobre América Latina y el Caribe". 1998. Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. Ocampo, O. L., & Vélez, J. J. (1). REVISTA Ingenierías Universidad de Medellín, 13(24), 43-58.
- Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. BANCO MUNDIAL COLOMBIA.
- Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres: una Guía. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Roma, 2009.
- Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Coordinadores y editores: Ana Campos G., Niels Holm-Nielsen, Carolina Díaz G., Diana M. Rubiano V., Carlos R. Costa P., Fernando Ramírez C. y Eric Dickson (2012). BANCO MUNDIAL. COLOMBIA
- Análisis de la información pluviométrica histórica para la prevención de amenazas hídricas sobre la ciudad de Manizales. GONZÁLEZ LOZANO, Fernando A.. CORPOCALDA. Manizales, 1999.
- Análisis de los riesgos hidroclimáticos de comunidades de la Región Pacífica colombiana. Lemos Támara, Liliana Leonela (2017) Maestría Thesis, U.N. de Col. Bogotá.
- Análisis de pilotes cargados lateralmente, mediante interacción suelo estructura, empleando una teoría simplificada de empujes. Hernández Carrillo, Rodrigo (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres: Una Guía. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Roma, 2009.
- Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. Ocampo López, Olga Lucía (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Análisis del comportamiento de deformación volumétrica de llenos en brechas de servicios públicos. DUQUE BERNAL, Julián (2009) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Análisis del comportamiento del PIB minero. Análisis Minero 82019. Dirección de Minería Empresarial. Ministerio de Minas de la República de Colombia.
- Análisis espaciotemporal de la incidencia antrópica en la cuenca del río Cauca, en el departamento del Valle, Colombia. Forero Bernal, C.A., Zabala Parra, P.A. y BoadaRodríguez, A. (2017). Revista Perspectiva Geográfica 127Vol. 22 N.º 1.
- Análisis estructural detallado de la sección Cajamarca - Anaimé. MONTES RODRIGUEZ, CAMILO (1991) Facies Colombia ISSN: 0121-3911. Colombia.
- Análisis geodinámico de la actividad volcánica de Colombia. CEBALLOS, Jorge Luis; CASTAÑEDA, Alvaro; ROBERTSON, Kim. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.
- Análisis hidrológico de las crecientes históricas del río Cauca en su valle alto. Angélica M. Enciso, Yesid Carvajal-Escobar, María C. Sandoval (2016). Ingeniería y Competitividad, Volumen 18, No. 1.
- Análisis multitemporal 2016–2018 del cauce del Magdalena. Puerto Salgar–La Dorada, con imágenes radar. Iván Darío Barragán Vera. (2018). U. Militar La Nueva Granada.
- Análisis y evaluación de riesgo de túneles carreteros en explotación. Germán Martínez-Montes, José del Cerro-Grau, Javier Alegre-Bayo, Javier Ordóñez-García. Universidad de Granada. España, 2007.
- Análisis y evaluación de riesgo sísmico en líneas vitales: caso de estudio Bogotá D.C. / Seismic risk evaluation and analysis on lifelines. Rodríguez Avellaneda, Alexys Herleym (2011). Universidad Nacional de Colombia.
- Anatomía Geológica de Colombia. Orlando Navas Camacho (2003). Sociedad Colombiana de Ciencias Físicas Exactas y Naturales.
- Anclajes en la mecánica de rocas con aplicación a túneles. Cañas Vesga, Daniel Enrique (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Anotaciones a las vías de Caldas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016). La Patria, Manizales, Colombia.
- Anotaciones para un crecimiento previsivo y con desarrollo. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) La Patria.
- Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje] Universidad Nacional de Colombia.
- Anserma puntal del occidente por sus raíces Umbra. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) Universidad Nacional de Colombia.
- Antes que La Colosa a "galerizar" Cajamarca. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010) Universidad Nacional de Colombia.
- Aplicación del modelo de multiplicadores en el diseño de política económica, El caso de Capulálpam de Méndez, Oaxaca. Andrés Cuauhtémoc Cruz Contreras. México, 2004.
- Aportes al conocimiento de los factores geológicos que inciden en los deslizamientos de Manizales. CACHÓN TORRES, Fabio Luis y OROZCO BETANCURTH, Jorge Iván. Universidad de Caldas. Facultad de Geología y Minas. 1.989.
- Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular 602 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (602).
- Aprendizajes en procesos participativos de reconversión productiva: cuenca del río San Francisco. Aguirre D. Carlos Mario, Ortiz O. Doralice, Duque E. Gonzalo. (2014). Corporación Aldea Global.
- "Aproximación a la Predicción del Riesgo por la Actividad del Volcán Nevado del Ruiz". BORRERO PENA, CARLOS ALBERTO (1998). Revista Luna Azul ISSN: 1909-2474 ed: Centre Editorial Universidad De Caldas. Colombia.
- Aproximaciones para la evaluación ambiental de los complejos cenagosos en el marco de la depresión Momposina. Caballero Acosta, José Humberto; Durango L., Consuelo (1998). Gest. y Amb. No. 1-27. Universidad Nacional de Colombia.

- Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas. Blog del Ing. Civil Santiago Osorio Ramírez.
- Apuntes Geológicos y Pedológicos de la Zona Cafetera de Colombia. Primera Parte. Paul Shaufelberger (1944) - Geología TOMO I. Manizales.
- Apuntes Geológicos y Pedológicos de la Zona Cafetera de Colombia. Segunda Parte. Paul Shaufelberger (1944) - Geología TOMO II. Manizales.
- Área inundable del canal del dique. Carlos E. Rubio Gómez (2017) ONU HABITAT– CEDETEC.
- Árboles, poblaciones y ecosistemas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Archivos Macrosísmicos. Observatorio Sismológico del Sur Occidente OSSO. Universidad del Valle. Cali. 1995.
- Armero 25 años... el desastre y la erupción del Ruiz de 1985: las lecciones del Ruiz a los 25 años del desastre de Armero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010) In: Conmemoración 25 años de la erupción del Volcán Nevado del Ruiz: lecciones aprendidas, 8, 9 y 10 de Nov de 2010., Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Arroyo Bruno, entre la muerte negra y la vida wayuu. Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Articulación de Manizales a la Ecorregión Cafetera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) In: CJI Colombia. Foro: Integración, cooperación y articulación un sueño de región, Julio 20 y 21 de 2013., Hotel Carretero Manizales.
- Articulación de ZFA de Áreas Protegidas - SIDAP Caldas. María Isabel Ochoa, Alba Lucía Marín; Diana Marcela Otálvaro, Fundación Grupo HTM (Hábitat – Territorio – Medio Ambiente) 2014. Medellín – Colombia.
- Asentamientos humanos, el principal riesgo de calidad del agua en Quindío Crónica del Quindío. Armenia, ABR 22 2019.
- Asentamientos humanos y medio ambiente. ANGEL MAYA, Augusto. Memorias Primer Seminario Nacional Sobre Hábitat Urbano y Problemática Ambiental. ICFES. Manizales. 1989.
- Así es la Colombia rural. Revista Semana (2012). Especial de la R.S. Bogotá.
- Aspectos de la agricultura colombiana en el siglo XX. Salomón Kalmanovitz y Enrique López Enciso (2005) Fondo de Cultura Económica, Bogotá.
- Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (II versión), U.N. de Colombia.
- Aspectos macroeconómicos del auge minero-energético en Colombia. Ramón Javier Mesa Callejas (2013). Seminario Interuniversitario de Economía. Universidad de Antioquia. Julio 17 de 2013.
- Astronomía en Colombia, Arias De Greiff, Jorge. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1980.
- Astronomía en Colombia: procesos y regalías. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (623).
- Astronomía, petróleo y río, en Barrancabermeja. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (622).
- Asuntos del clima andino en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de Colombia. (Rec)
- Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. CEPEDA, Héctor; CALVACHE, Marta L; Núñez, Alberto; Méndez, Ricardo A.; MORA, Héctor; Villegas, Henry. (2000). INGEOMINAS, Colombia.
- Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes. Mora, Henry Villegas (2000). INGEOMINAS, Colombia. Proyecto Multinacional Andino. Servicio Nacional de Geología y Minería. 2009.
- Atlas de Geología. Durán, Gold y Taberner. Edibook S. A. Barcelona, 1992.
- Atlas de lo Extraordinario. Fenómenos Naturales. Ediciones del Prado. Barcelona, 1994.
- Atmósfera, tiempo y clima. BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Omega. Barcelona. 1978.
- Banco de fotografías aéreas oblicuas del municipio de Manizales = [Bank of oblique aerial photographs municipality of Manizales, Colombia]. Aguilar Gómez, Miguel Ángel (2000) [Imagen - Image]. U.N. de Col.
- Balance hídrico y sedimentológico del canal del dique y sus efectos... Jaime Iván Ordóñez Carlos Eduardo Cubillos Peña Gabriela Forero. Laboratorio de Ensayos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.
- Bases de Geología Ambiental. HERMELIN, Michel. Universidad Nacional. Medellín, 1987.
- Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 Prosperidad para todos. Departamento Nacional de Planeación (2010).
- Balanceando las necesidades sociales y productivas de infraestructura. Sector Transporte. Colombia: Desarrollo Económico Reciente en Infraestructura. Germán Ospina. Banco Mundial. 2004.
- Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta. Instituto Humboldt (2017) Bogotá, D. C.
- BIODIVERSIDAD DE LA CUENCA DEL ORINOCO: II.ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE. Lasso, Carlos A. and Rial B., Anabel and Matallana, Clara L. and Ramírez, Wilson and Celsa Señaris, Josefa and Díaz-Pulido, Angélica and Corzo, Germán and Machado-Allison, Antonio (2011) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., Bogotá, pp. 1-304.
- Biodiversidad en zonas cafeteras de Colombia: principales lecciones. Programa de Investigación Científica FNC (2014). Centro de Investigaciones de Café – Cenicafé.
- Bioturismo y adaptación ambiental para la Ecorregión Cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de astronomía de Colombia (626).
- Bioturismo y ruralidad en la Ecorregión Cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2011). In: Paisaje Cultural Cafetero: amenazas y oportunidades, Jueves 1° de Septiembre de 2011, Auditorio de Confamiliares de Caldas.
- Boletín de Ciencias de la Tierra (23), pp. 5-20. ISSN 0120-3630
- Boletín (es) de Vías, RUIZ, Carlos-Enrique. (Director y Fundador). Publicación con más de 100 ediciones. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Boletín de Vías. ISSN 0120-2251. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Varios números.
- Boletines Meteorológicos. Centro Nacional de Investigaciones del Café, CENICAFE. Chinchiná, Períodos a partir de 1975.
- Bosques Andinos y Subandinos del Departamento del Valle del Cauca. Gustavo Kattan Kattan. Wildlife Conservation Society; Santiago de Cali: CVC, 2003.
- Bosques, Cumbre del Clima y ENSO. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) In: Foro sobre el Sector Forestal, como Alternativa de Desarrollo Sostenible, Centro Cultural del Banco de la República. Manizales.
- Bosques en la cultura del agua. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) La Patria. Manizales.
- Bosques para la Estabilidad del Medio Ambiente. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2007) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Caldas en la biorregión cafetera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2014) In: Foro “Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses”, U. de Caldas, Manizales, Colombia.
- Caldas, el precursor de la ciencia neogranadina. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: La Patria. Manizales, Colombia.
- Caldas geoestratégico para el transporte intermodal. Gonzalo Duque Escobar (2015) La República. ESPECIAL PARA CALDAS. Bogotá. Agosto de 2015.
- Calentamiento global en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2011) In: El Día Mundial del Medio Ambiente, Junio 6 de 2011, Inst. Universitario de Caldas.

- Cambio Climático tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. José Daniel Pabón Caicedo. U.N de Col. Rev. Acad. Col. Cienc. 36.
- Cambio climático y gestión ambiental en Caldas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia.
- Cambio climático y pobreza. Gustavo Wilches-Chaux (2008) Programa Conjunto de Integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático.
- Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe. ONU para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, 2018.
- Cambio climático y sustentabilidad del territorio. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) Documentación. U.N. de Colombia Sede Manizales.
- Capítulos virtuales para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y el Espacio. Vallejo Velásquez, Juan Carlos (2015) Maestría thesis, U. Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Caracterización, pronóstico y alternativas de manejo de las heladas... Douglas A Gómez U.N de Colombia, 2014.
- Cuando Huela. Comunidad Andina. Atas Web.
- Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el Valle de Armero (Tol. Col.). MOJICA, Jairo. Geología Colombiana N° 14. Santafé de Bogotá, 1985.
- Caracterización climatológica, hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Chinchiná. Fundación Profesional para el Manejo Integral del Agua – PROAGUA. TOMO II. Convenio C087 – 2004 – CORPOCALDAS–PROAGUA. Manizales, Diciembre 2005.
- Caracterización de depósitos volcánicos en la Cordillera Central. BORRERO, Carlos; TORO, Luz Mary; HINCAPIE, Gustavo. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.
- Caracterización de las Amenazas Naturales. Web OPSalud, 2005.
- Caracterización geotécnica de macizos de roca blanda. NIETO, Alberto. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá, 1982.
- Caracterización hidráulica del acuífero de la zona plana del Valle del Cauca. Gómez Español, Alejandro Jesús (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Caracterización magnética de suelos en el área de Manizales, Colombia. BARRAGÁN PARRA, John Eduard (2010) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Caracterización petrológica del stock de Manizales. Montenegro Rippe, Carlos Andrés (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Caracterización, pronóstico y alternativas de manejo de las heladas... Douglas A Gómez U.N de Colombia, 2014.
- Carbón andino colombiano. Duque Escobar, Gonzalo (2015). La Patria.
- Carta de Gabriel Poveda Ramos. JUAN GÓMEZ MARTÍNEZ | El Colombiano. PUBLICADO EL 02-06-2010.
- Carta Encíclica Laudato Si' del Santo Padre Francisco sobre El cuidado de la casa común. Roma, 2015.
- Cartografía detallada de diaclasas. Implicaciones para zonas de daño alrededor de fallas de cabalgamiento. CAMILO MONTES RODRIGUEZ, MARIA CECILIA RUIZ (2007). Boletín de Geología, Colombia.
- Cartografía del Medio Ambiente del Área Manizales-Chinchiná, Cordillera Central-Colombia. FLOREZ, Antonio. Vol. 8 y Geomorfología del Área Manizales-Chinchiná, Cordillera Central-Colombia. Vol. 9. Análisis Geográficos, IGAC. Santafé de Bogotá, 1986.
- Carrileras y locomotoras. Historia de los ferrocarriles en Colombia. Poveda Ramos Gabriel (2010) Medellín. Fondo EAFIT.
- Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia: Cuarzomonzodiorita de Páez. Cordillera Central Departamentos Huila, Cauca y Tolima. Gilberto Zapata G., Gabriel Rodríguez García, María Isabel Arango, José Gilberto Bermúdez. Servicio Geológico Colombiano, Sede Medellín
- Catálogo de Unidades Litoestratigráficas de Colombia: Formación Machín. MENDEZ FAJURY, Ricardo Arturo (2002). Revista Ingeominas ISSN: 0121-8425. Colombia.
- Catálogo de Volcanes Activos de Colombia. MENDEZ FAJURY, Ricardo Arturo. 1989. Boletín Geológico V 30 – Ingeominas.
- Cátedra Manuel Ancizar. Tierra y Territorios en Colombia. Sesión 11: Globalización, libre comercio y desarrollo rural Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 13 de mayo 2011.
- Centenario “canalero”. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) La Patria. Manizales.
- Centre International d’Etude des Risques Naturels.
- Centros de Estudios Estratégicos Latinoamericanos CEELAT (2013). Laboratorio de mapeo.
- Ciclones Tropicales. NOAA-FEMA (2012) Agencia Nacional del Océano y la Atmósfera - Servicio Nacional de Meteorología. USA.
- Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. HERMANN DUQUE CARO (1972) Boletín Geológico, Ingeominas, Colombia.
- Cien años el universo relativista de Einstein. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria. Manizales.
- Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2013) In: Instalación del CROT de Caldas, Gobernación de Caldas.
- Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular Red de Astronomía de Colombia RAC (616).
- Ciencia, saberes, empleo y ruralidad, en el PND 20J0-20f4. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 600 Red de Astronomía de Colombia RAC (600).
- Ciencia, Tecnología, Desarrollo y PIB en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Ciencia, Tecnología y Emprendimiento – CT&E. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010) In: Auditorio del SENA.
- Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) In: Instalación del Comité Regional de Ordenamiento Territorial de Caldas, Agosto 20 de 2013, Gobernación de Caldas.
- Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) U.N. de Colombia.
- Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular Red de Astronomía de Colombia RAC (616).
- Ciencias naturales y CTS. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2006) In: Encuentro de Maestros Ondas, Manizales.
- Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje]
- Circulares de la Red de Astronomía de Colombia RAC. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo and BERNAL GONZÁLEZ, Antonio: 417 circulares editadas desde el OAM entre 2003 y 2011.
- Ciudad, puerto y río en tierra de pasillos, bundes y guabinas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) In: Foro “Integración Regional, PDP-MC
- Clase de túneles. Prof. Silvio Rojas. Universidad de los Andes. Venezuela 2009.
- Clasificación de Macizos Roccosos. Juan Montero Olarte. Profesor U. N. de Colombia y Miembro de la SCG.
- Clasificación de Roca Intacta. CÔRREA, Álvaro. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, 1992.
- Clima andino y café en Colombia. Álvaro Jaramillo-Robledo. FNC- Cenicafe. Colombia. 2005.

- Clima, deforestación y corrupción. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011). Circular de la Red de Astronomía de Colombia, RAC (608). OAM, Manizales
- Clima extremo, desastres y refugiados. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Climate change during the Early Paleogene in the Bogotá Basin (Colombia) inferred from paleosol carbon isotope stratigraphy, major oxides, and environmental magnetism. CAMILO MONTES RODRIGUEZ (2013). Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology. Ed: Elsevier Colombia.
- Climate Forecasting and its physical and social implications. Bruce Denness. Investigación de deslizamientos en la red vial nacional. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1988.
- Colombia. RECLUS, Juan Santiago Eliseo. Bogotá. 1853. (Biblioteca Luis Ángel Arango), en:
- Colombia a la espera del tren andino. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La República. Bogotá.
- Colombia anfibia. Instituto Alexander Von Humboldt IAVH (2015).
- Colombia: alcances y lecciones de su experiencia en reforma agraria. Álvaro Balcázar, Nelson López, Martha L. Orozco, Margarita Vega (2001). Red de Desarrollo Agropecuario, CEPAL.
- Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017). La Patria. Manizales.
- Colombia: Circunstancias Nacionales: descripción de las características ambientales, sociales y económicas del país. IDEAM. Mauricio Cabrera , Martha Duarte, Pedro S. Lamprea, Ricardo J. Lozano. Giampiero Renzoni.
- Colombia: exportando oportunidades. Agencia Nacional Minera 2018. República de Colombia.
- Colombia geoestratégica. Duque Escobar, Gonzalo (2008). Revista Semana.
- Colombia Intermodal, Hidrovías y Trenes. Duque-Escobar, Gonzalo (2020). Universidad Nacional de Colombia – SMP de Manizales.
- Colombia mira a la Cuenca del Pacífico. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) In: 52° Congreso Nacional de SMP de Colombia, Cartagena de Indias, Colombia.
- Colombia: ¿muere el país rural? Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación. La Patria, Manizales.
- Colombia, país de humedales amenazados. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Colombia: por el regreso del tren andino y la multimodalidad. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014). U. N. de Colombia. [Teaching Resource] U.N de Colombia.
- Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) Escuela de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Colombia.
- Colombia tropical. ¿y el agua qué? Gonzalo Duque-Escobar. (2020). U.N. de Colombia.
- Colombia. ¿y la inequidad qué? Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Colombia y sus mares: ¿puertos en el Pacífico? DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje]
- Colonización: Fundaciones y Conflictos Agrarios. Valencia Llano, A. (2000).
- Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes. Duque-Escobar, Gonzalo (2020). Universidad Nacional de Colombia – SMP de Manizales.
- Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Nuestra propia agenda. BID.1990.
- Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015. Servicio Geológico Colombiano. JorgeGomez Tapias, Fernando Alirio Alcárcel Gutiérrez, Nohora Emma Montes Ramírez y María Fernanda Almanza.
- Complejidad ambiental: propuestas éticas emergentes del pensamiento ambiental latinoamericano. Noguera de Echeverri, Ana Patricia (2008) Gestión y Ambiente; Vol. 10, núm. 1 (2007); 05-30 Gestión y Ambiente; Vol. 10, núm. 1 (2007); 05-30 2357-5905 0124-177X.
- Conceptos de Geología Estructural. HERNANDEZ, Pedro; Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1992.
- Conceptos de Metamorfismo Dinámico y su Aplicación a la zona de Falla de Romeral. GONZÁLEZ, Humberto. Boletín de Ciencias de la Tierra. N° 2. Medellín, 1977.
- Conflictos de Uso del Territorio Colombiano. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (coordinador) (2012), MADR, INCODER, CORPOICA, IDEAM, INGEOMINAS.
- CONPES 3803: Preservación del PCC de Colombia. Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Conectividad para la ciudad región del Eje Cafetero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) La Patria.
- "Conflictos de Uso del Territorio Colombiano". Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (coordinador) (2012), MADR, INCODER, CORPOICA, IDEAM, INGEOMINAS.
- Conflicto socioambiental en la reserva de Río Blanco. Torres Arango, Claudia y Duque Escobar, Gonzalo (2017). Documento UN-SMP. In: U.N. de Colombia. Curso de Contexto CTS, Agosto de 2017, Auditorio Juan Hurtado.
- Consideraciones geotécnicas en la construcción de llenos de brechas con arenas del Stock de Altavista. DUQUE BERNAL, Julián (2010) In: XIII Congreso Nacional de Geotecnia 2010, Sep 21-24 de 2010, Manizales.
- Construcción de túneles en roca. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Construcción de túneles en macizos heterogéneos. Mario Peláez González. Consultoría de Contecol Ltda. Mapa Geovulcanológico: Escala del Original 1: 25.000. Mapa base de Ingeominas.
- Construyendo el territorio UMBRA. Duque Escobar, Gonzalo and Torres Arango, Claudia (2018) [Objeto de aprendizaj] U.N. de Colombia. Consultoría de Contecol Ltda. Mapa Geovulcanológico: Escala del Original 1: 25.000. Mapa base de Ingeominas.
- Contribución al conocimiento de las unidades paleozoicas del área de floresta (cordillera oriental colombiana: departamento de boyacá) y en especial al de la formación cuche. Mojica, Jairo and Villarroel A., Carlos (1984) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 13
- Contribución al modelo geotérmico asociado al sistema volcánico Nevado del Ruiz - Colombia, por medio del análisis de la relación entre la susceptibilidad magnética, conductividad eléctrica y térmica del sistema. Rojas Sarmiento, Oscar Eduardo (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Control de la Erosión y Corrección de Torrentes. ESCOBAR POTES, Carlos Enrique. VII Congreso Nacional de Geotecnia. SCG. Santafé de Bogotá, 1998.
- COP21, un reto social y político a nivel global. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) La Patria, Manizales.
- COP 23, la cumbre del clima en Bonn. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) Documento de trabajo. La Patria.
- Corrección de Torrentes y Estabilización de Cauces. LOPEZ CADENAS de LLANO, F. F.A.O. Roma, 1998.
- Corredor Bimodal Cafetero. Duque Escobar, G DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo onzalzo (2015) Ficha Técnica.
- Corrientes naturales intervenciones y condiciones ecológicas. Ríos Rojas, Liliana and Vélez Upegui, Jaime Ignacio (2004) In: Seminario Internacional sobre Eventos Extremos Mínimos en Regímenes de Caudales: Diagnóstico, Modelamiento y Análisis, Medellín, Colombia.
- COSMOLOGIA. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (1993). Seminario La Física De Los Fluidos Y Sus Aplicaciones. Universidad Nacional Sede Manizales.
- Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. MEYER, Hans Jurgen y VELÁSQUEZ Andrés. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.

- Crecimiento con deuda social. Duque Escobar, Gonzalo (2019). [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- ¿Crecimiento volátil con Empleo vulnerable? Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documento de trabajo. U.N. de Colombia.
- Crónicas de un desastre. Huracanes George y Mich. OPS/ DIRN. Washington, D.C. 1999.
- Cruzando el Cauca : pasos y puentes sobre el río Cauca en el Departamento del Valle hasta la primera mitad del siglo XX. Galindo Díaz, Jorge Alberto (2003) Colección de Autores Vallecaucanos. Cali, Colombia.
- Cruzando la cordillera: Túnel Cumanday para ferrocarril y ferrovía Duque Escobar, Gonzalo (2021) UN de Colombia.
- CTS, Economía y Territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2018) CTS, Economía y Territorio. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Cuando Huela. Comunidad Andina. Atas Web.
- ¿Cuál es el mejor sistema de transporte para Colombia? DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Cuatro PNN. patrimonio natural de la Ecorregión Cafetera. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017). La Patria.
- Cuencas Colombo-Venezolanas. Por: Florentino Pinto. REVISTA DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Volumen XXIX - Bogotá, 1975 - Número 106.
- Cultura & Astronomía. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007). Universidad Nacional De Colombia. Observatorio Astronómico de Manizales OAM.
- Cultura y Turismo en Caldas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) In: FORO: Turismo y Cultura., Universidad Católica de Manizales.
- Curso de estabilidad de taludes. GARCIA, Manuel; BELTRAN, Lisandro; GONZALEZ, Álvaro. Posgrado en geotecnia Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1993.
- Curso de flujo en medios porosos. HERNANDEZ, Félix; BELTRAN, Lisandro. Posgrado en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1995.
- Curso de geología del posgrado en geotecnia. CORREA, Álvaro; MONTERO, Juan; HERNANDEZ, Pedro. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1993.
- Curso de mecánica de rocas. CORREA, Álvaro; HERNANDEZ, Félix; GONZALEZ, Álvaro. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1994.
- Curso de Prospección Gravimétrica. MIRONOV. V.S. Trad: Manuel Gisbert. Ed. Reverté S.A. Barcelona, 1977.
- Curso IDEA-SMP (CIDEAMA). Propuesta de Gonzalo Duque-Escobar (2019).
- Curso para el módulo de metodología de la investigación: geotecnia y medioambiente. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2003).
- Chinchiná Siglo XXI. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) In: Tercer Encuentro de la Palabra, Chinchiná, Caldas.
- De La Colosa a La Habana: conflicto por la producción del territorio en Colombia. Patricia Sánchez García (2016). Universidad Central / Universidad de la Salle, Universidad Nacional de Colombia, Grupo Cultura y Ambiente
- De la Cumbre de Durban al desastre de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011). Revista Eje 21.
- De la economía marrón a la naranja. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje]
- De la evaluación de amenazas al control de riesgos – la Estadística y las catástrofes naturales. MEYER, Hansjürgen. XVII Simposio de Estadística. OSSO. 2007.
- De terremotos, derrumbes e inundaciones. LUNGO, Mario; BAIREZ, Sonia. Red y Fundes. San Salvador. 1996.
- Degradación del hábitat y gestión ambiental. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) La Patria, Manizales, Colombia.
- Deltas y estuarios del Caribe colombiano. I/M Editores (2009) Libros de la Colección Ecológica del Banco de Occidente. Colombia.
- Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) U.N. de Colombia.
- Desaparecen más de 500 años de cultura por reorientación minera. Duque Escobar, Gonzalo (2008). Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Desarrollo Alternativo en Colombia y Participación Social. Ricardo Vargas Meza. DIAL Diálogo Inter-Agencial en Colombia. Bogotá, Colombia, 2010.
- Desarrollo energético y clima salvaje. Duque Escobar, Gonzalo (2015). La Patria. Manizales.
- Desarrollo minero-energético de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria. Manizales
- Desarrollo urbano y huella ecológica. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Desarrollo energético y clima salvaje. Duque Escobar, Gonzalo (2015). La Patria. Manizales.
- Desarrollo sostenido en la prospectiva de la problemática ambiental y la supervivencia. Duque Escobar, Gonzalo (1990). "Desastres de origen natural en Colombia 1979 – 2004". HERMELIN, Michel, Editor. ISBN 958 8173-89-2. Medellín, 2005.
- Desarrollo y revoluciones tecnológicas. Duque Escobar, Gonzalo (2017). Documento de trabajo. La Patria, Manizales, Colombia.
- Desarrollo y ruralidad en la región cafetalera. Duque Escobar, Gonzalo (2012). Revista Eje 21.
- Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. O.E.A. Washington, D.C. 1991.
- Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica. Red Estudios sociales en Prevención de Desastres en A.L. Panamá. 2000.
- Desastre y riesgo: actores sociales en la reconstrucción de Armero y Chinchiná [reseña]. María del Rosario Saavedra- Editorial CINEP, Santafé de Bogotá, 1996.
- Desastres & Sociedad. MEYER, Hans Jurgen y VELÁSQUEZ, Andrés. Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. OSSO. N°1. La Red. 1993.
- Desarrollo de una herramienta para diseño de falsos túneles como protección contra impacto de caída de rocas... Rosales Garzón, Sergio Esteban (2012). Thesis. U. N. de Col. Sede Medellín.
- Desarrollo Mesocenoico de los Andes Noroccidentales de Colombia. TOUSSAINT; RESTREPO. V Congreso Colombiano de Geología, Memorias Tomo I. Bucaramanga, 1989.
- Desarrollo y revoluciones tecnológicas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) Documento de trabajo. La Patria, Manizales, Colombia.
- Desarrollo y ruralidad en la región cafetalera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012)
- Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. O.E.A.. Washington, D.C. 1991.
- Descripción del macizo rocoso: introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterráneas. Suárez Burgoa, Ludger Oswaldo (2014) Ludger Oswaldo Suárez Burgoa, Medellín.
- Descubrir el universo desde Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2009) UN Periódico.
- Desde los Andes al Orinoco y al Amazonas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) La Patria. Manizales.
- Desempeño del sector minero 2018. SUPERINTENDENCIA DE SOCIEDADES (2018) Delegatura de Asuntos Económicos y Contables. Grupo de Estudios Económicos y Financieros. Bogotá D.C.
- Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. SUAREZ DIAZ, Jaime. Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga, 1998.
- Destrabando las arterias: El impacto de los costos de transporte en el comercio de América Latina y el Caribe. Mesquita Moreira, Mauricio; Volpe Martincus, Christian; Blyde, Juan S. (2010) BID.

- Determinación de esfuerzos a partir de los análisis de microtectónica en algunos sectores de los sistemas de fallas que cruzan el Eje Cafetero, Colombia. CHICANGANA, Germán; BARRIENTOS, Arturo; VARGAS-JIMÉNEZ, Carlos A. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 2002.
- Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. Quintero Rendón, Luz A. and Agudelo, Edison A. and Quintana Hernández, Yamith Alberto and Cardona Gallo, Santiago Alonso and Osorio Arias, Andrés Fernando (2010) *Gestión y Ambiente*, 13 (3). pp. 51-64. ISSN 0124-177X.
- ...Determinación del comportamiento del terreno en excavaciones subterráneas con base en un túnel exploratorio: Caso túnel de la línea. Pérez Pérez, Diana Marcela (2012). Thesis. U. N. de Col. Sede Medellín.
- Determinando los efectos del cambio climático y del cambio en usos del suelo en la Macro Cuenca Magdalena Cauca. Arboleda Obando, Pedro Felipe (2018) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Deuda histórica con el Pacífico Colombiano. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje].
- Derrame de sedimentación en grandes llanuras aluviales de ríos. John Lewin Philip J. Ashworth Robert JP Strick (2016). In: Wiley Online Library.
- Diagnóstico del Estado del Poliducto de Puerto Salgar-Cartago. GARCIA, Manuel; DUQUE Gonzalo. Ecopetrol-Ingeniería y Geotecnia Limitada. Santafé de Bogotá, 1991.
- Diagnóstico minero y económico del departamento de Antioquia. Viviana Villa Posada y Giovanni Franco Sepúlveda (2013). *Boletín Ciencias de la Tierra*, Nro. 33. Facultad de Minas. UN Sede Medellín.
- Diálogos con el Territorio y Gestión del Riesgo Natural. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo, (Comp).
- Diccionario de Mineralogía y Geología. Lexis 22. España, 1983.
- Diccionario Ilustrado de la Geología. Alec Watt. Círculo de Lectores. Santafé de Bogotá, 1987.
- Diccionario Ilustrado de la Geología. WATT, Alec. Círculo de Lectores. Santafé de Bogotá, 1987.
- Diccionario Rioduero. Física del Espacio. Editorial Rioduero. España, 1978.
- Diccionario temático Geología y Mineralogía. Taller de Gráficas Reunidas S. A. Madrid, 1974.
- Dinámica aplicada a la estabilidad de taludes. ISHIHARA, Kenji. SCG- Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 1989.
- Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) *La Patria*.
- Diseño y Ejecución de una Evaluación de Daños, Pérdidas y Necesidades. Banco Mundial. 2010.
- Dispersión Urbana y Oferta Hídrica en el Eje Cafetero Colombiano. Juan L. González, Julián Galeano M. y Julio Cañón B. (2012) *Gestión y Ambiente*, Vol 15, N 2..
- Directiva Europea de Seguridad en Túneles de Carretera. Directiva 2004/54 CE. Parlamento Europeo.
- Discusión del Tiempo Tropical. NHC Marine Product Descriptions. Centro Nacional de Huracanes 2017. NOAA.
- Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas En Colombia. Mario Maya Sánchez (2002) Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero – Ambiental y Nuclear Ministerio De Minas y Energía Colombia. INGEOMINAS.
- Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de Transporte. UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA ' UPME (2005). Colombia, ¿Dónde está la gestión planificadora del riesgo volcánico? DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2008)
- Doscientos años de regresiones rurales. Duque-Escobar, Gonzalo (2019). *Boletín Ambiental del Idea* 157. U.N. de Colombia Sede Manizales.
- DOCUMENTOS DEL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: GONZALO DUQUE ESCOBAR
- Documentos de la Web de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. Consultas en 2014.
- Documentos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam. Colombia.
- Earthquake. DON-LEET. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.
- Ecología política de la minería en América Latina Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. GIAN CARLO DELGADO RAMOS (Coordinador). Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Economías de enclave suramericanas, extractivismo y el rol chino en la región. Andrés Raggio. *Serendipia – Anuario de investigaciones de Posgrados de la Facultad de Ciencias Sociales (N° 2 - 2015)*. Programa de Estudios Internacionales, FCS- UdeLaR, Uruguay.
- ECONOMIA AZUL. Una revisión en el marco de nuevas tendencias en Economía. Adolfo Alvia Muñoz (2015) Corfo – Los Lagos, Chile.
- Economía verde y economía del conocimiento. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2013) *La Patria*.
- Ecoparques turísticos: nodos para articular cultura y biósfera. Duque Escobar, Gonzalo (2011). Circular de la Red de Astronomía de Colombia, RAC (613) *Ecorregión Cafetera y Bioturismo.* Duque-Escobar, Gonzalo (2019) In: *II Encuentro Nacional en Torno al Bahareque*, Agosto 17 y 18 de 2019, Pijao, Quindío.
- Ecorregión Eje Cafetero: Un Territorio de Oportunidades. ALMA MATER-FOREC, Pereira 2004 Programa Ambiental BID, Pereira.
- Ecuaciones, general y particulares, para el cálculo de la pendiente crítica límite de canales abiertos. Marbello Pérez, Ramiro Vicente and Álvarez Laínez, Alexandra María (2006) In: XVII Seminario Nacional Hidráulica e Hidrología: Conocimiento e ingeniería para la conservación y aprovechamiento del agua, 15-16 de septiembre, Popayán, Colombia.
- Edad y origen del "Complejo Metasedimentario Aranzazu-Manizales" en los alrededores de Manizales (Caldas). Gómez-Cruz, Arley de J. and Moreno Sánchez, Mario and Pardo-Trujillo, Andrés (1995) *Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences*; Vol. 19.
- Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial. Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice and Vélez Upegui, Jorge Julián (2019) In: 8° Congreso Internacional por el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente, Octubre 22 a 24 de 2019, Universidad de Manizales.
- Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: *Summa Iuris*, 5 (1). pp. 5-36. Editorial Revista ULA.
- Eje Cafetero: elementos para una visión prospectiva. Duque Escobar, Gonzalo (2013) UTP-Alcaldía de Pereira.
- Eje Cafetero: fortaleza minero-industrial y posibilidades agropecuarias. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012)
- Eje Cafetero minero-energético. Duque Escobar, Gonzalo (2019). Museo Interactivo Samoga, Manizales.
- Eje Cafetero: transporte y desarrollo regional. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) In: *Foro Infraestructura y Desarrollo "Alternativas para la vía Manizales-Mariquita"*, Viernes 15 de marzo de 2013, Auditorio Carlos E. Pinzón de la Cámara de Comercio de Manizales.
- Eje Cafetero y Transporte Intermodal. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) Comité de Ecorregión Eje Cafetero. Alma Mater. UTP. Pereira, Risaralda.
- El Agua en el Contexto Nacional y Regional. Valencia Giraldo, Marinela and Mejía Fernández, Fernando and Soáres Hincapié, Joan Nathalie (2013) U. N. de Col. Manizales.
- El agua en el mundo. FURON, Raimond. Editorial Alianza. Madrid, 1967.
- El agua en la biorregión caldense. Duque-Escobar, Gonzalo (2014). *La Patria*, Manizales, Colombia.
- El agua, un reto para la salud pública. Espinosa Ramirez, Adriana Janneth (2018) Doctorado Thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- El aire en peligro. BREUER, George. Biblioteca Científica Salvat. España, 1987.
- El Antigo Ferrocarril de Caldas. Gabriel Poveda (2003). Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín.

- El biomanizales: manual de bioarquitectura y biourbanismo. VELÁSQUEZ BARRERO, Luz Stella (2010). IDEA; Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia.
- El bosón de Higgs. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) La Patria. Manizales.
- El Café en Colombia 1850 a 1970. Una historia económica, social y política. Marco Palacios (2002).
- El café en Colombia a principios del siglo XX. Absalón Machado C (2001) In: Desarrollo económico y social en Colombia: siglo XX.
- El cálculo del efecto plusvalía y su relación como instrumento de gestión con las actividades económicas adscritas al régimen de usos del suelo en el desarrollo urbano de Bogotá D.C. Colombia. Por E RAMÍREZ PARDO (2013). T.G. Maestría en Planeación Urbana y Regional. U. Javeriana.
- El cambio climático como factor transformador del territorio. Alarcón Hincapié, Juan Carlos (2017). Doctorado Thesis, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- El camino a las estrellas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2006) In: Red Colombiana de Astronomía, RAC.
- El Canal de Colombia y el de Panamá. Rafael Convers Pinzón. REVISTA DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Volumen XXIX - Bogotá, 1975 - Número 107.
- El Canal del Dique: una amenaza para la biodiversidad. MEDIO AMBIENTE | 2013/09/3. Semana Sostenible.
- El carbón andino colombiano. Duque Escobar, Gonzalo (2015). La Patria. Manizales.
- El Censo Minero 2010 – 2011. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.
- El conceptuario de la sostenibilidad. Gustavo Wilches-Chaux (2013) UNCRD
- El Corredor Bimodal Cafetero sobre las rutas del desarrollo de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Foro: Manizales y Caldas Sobre las Rutas del Progreso. Agosto 18 y 20 de 2015, Auditorio Carlos Eduardo Pinzón. Cámara de Comercio de Manizales, Colombia
- El cuidado de la casa común: Agua y Clima. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Jornada Académica Laudato Si': Universidad Católica de Manizales.
- El desarrollo urbano y económico de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2015)
- El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) In: Curso de Contexto CTS, Auditorio Juan Hurtado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- El desastre en el río Mira. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2009) Página web galeón. pp. 1-2. U.N. de Colombia, Sede Manizales.
- El día que Humboldt llegó a Cartagena de Indias. Gómez Carder, Gabriel Jaime. Editorial Colina. I.S.B.N.: 958-33-4018-9 Colombia. 2002.
- El Diagrama HR. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (1997). Congreso Nacional de Astronomía, Red de Astronomía de Colombia, Barranquilla.
- El eje Urabá – Tribugá: la salida a los océanos en Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2008). Universidad Nacional de Colombia.
- El ENOS, el clima dominicano y las sequías meteorológicas. COCCO QUEZADA, Antonio. República Dominicana. 2001.
- El Estado y la función del suelo urbano en Manizales. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014). Manizales. La Patria.
- El extractivismo minero en América Latina. Manuel Ignacio Martínez Espinoza. Perfiles Latinoamericanos, 27(53) | 2019. Flacso México.
- El fenómeno de El Niño y su posible impacto en Colombia. Caicedo García, Edgar. Reportes del Emisor: Investigación en Información Económica. N. 92. Enero. 2007.
- El Ferrocarril Cafetero por el Norte del Tolima para la Intermodalidad de Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Sesión Conjunta de Asambleas de Caldas y Tolima, 29/04/2016, Fresno
- El Ferrocarril Cafetero y la intermodalidad, Duque Escobar, Gonzalo (2020) U.N de Colombia.
- El ferrocarril de Cerro Matoso: aspectos económicos de Montelíbano y el Alto San Jorge. JOAQUÍN VILORIA DE LA HOZ N° 117 2009. Banco se La República
- El futuro de la ciudad. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) (Ponencia) In: Cátedra de Historia Regional de Manizales “Bernardo Arias Trujillo”, Auditorio Tulio Gómez Estrada. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Caldas. Manizales.
- El inestable clima y la crisis del agua. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje]
- El Libro de la Vulnerabilidad: concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. GIZ 2017. Unidad especial de “Clima”. Ministerio Federal Alemán para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
- El libro del clima. HARDY-WRIGHT. Et al. Editorial Orbis. España, 1985.
- El Machín: la mayor amenaza volcánica de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2008). U. N de Colombia.
- El manejo popular de los desastres naturales. MASKREY, Andrew. Tecnologías Intermedias. Lima, 1989.
- El Medio Ambiente en Colombia. La atmósfera, el tiempo y el clima. PABÓN, J. D., ZEA, J., LEÓN, G., MONTEALEGRE, J., HURTADO, G. & GONZÁLEZ, O. IDEAM. Bogotá. 1998.
- El misterioso lado oscuro del universo. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia. Curso de Contexto en Astronomía.
- El modelamiento del movimiento de las placas tectónicas: una propuesta para el aula. Rosales Romero, Francisco (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) In: Encuentro Colectivo Alianza Verde, Concejo de Manizales.
- El Observatorio Astronómico de Santafé de Bogotá: Modernidad y ciencia en los últimos años del Virreinato. González Bernal, David Miguel (1997)
- El ocaso del bosque andino y la selva tropical. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) La Patria.
- El Paisaje Cultural Cafetero. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) In: Primer Simposio del Paisaje Cultural Cafetero., Manizales, Caldas.
- El Paisaje Cultural Cafetero: ¿sujeto de derechos? DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) In: Asamblea General de la SMP Manizales., Septiembre 9 de 2019, Auditorio José Restrepo Restrepo
- El papel de la amazonía en el clima global y continental: impactos del cambio climático y la deforestación. POVEDA JARAMILLO, Germán. (2011) In: Amazonia colombiana: imaginarios y realidades. Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Sede. Dirección Académica [Leticia]; Universidad Nacional de Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones (IMANI).
- El Paso de Agua Negra (Ruta Coquimbo-Puerto Alegre). Jorge Fernández L. (2012) Unirioja, Argentina.
- El porqué de los aguaceros en Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) Documento de discusión. Razón Pública; Bogotá.
- El problema de la vivienda y el mercado hipotecario: del suelo urbano a la financiación hipotecaria. ONU-HABITAT. Maldonado Copello. María Mercedes. Bogotá Julio 5 de 2007.
- El proyecto de Recuperación de la Navegabilidad del Río Magdalena como generador de conflictos ambientales en la llanura inundable del río Magdalena. Delvalle Quevedo, Rocío (2017) IDEA. Universidad Nacional de Colombia.
- El régimen fluviométrico del Río Magdalena y su importancia para la Ciénaga Grande de Santa Marta. Kaufmann, R. y H. Hevert. 1973. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 7: 121-137.

- El relieve de la Tierra. MARTINEZ DE PISON, Eduardo. Colección Salvat. España, 1985.
- El reto de la vida. Ángel-Maya, Augusto (2013) Primera edición: 1996. Serie Construyendo el Futuro N° 4. Ecofondo. Bogotá.
- EL RÍO ATRATO ES LA MEJOR VIA FLUVIAL DEL PAÍS. Conclusión de los estudios realizados a través del Convenio 2141 de 2011 INVIAS-IIAP. Invias & Instituto de Estudios Ambientales del Pacífico
- El Río Cauca en el desarrollo de la región. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) In: Cuarta Cátedra de Historia Regional de Manizales y Caldas “Alipio Jaramillo Giraldo”, 24 de Septiembre de 2019. Auditorio Tulio Gómez Estrada. Universidad de Colombia.
- El Río Grande en La Audiencia Ambiental Caribe. Documento preparado para la Audiencia Ambiental Caribe, programada del Viernes 11 de enero de 2020 en Barranquilla, programada por la Procuraduría General de la Nación,
- El Río Grande, su ecosistema y la hidrovía. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- El río Magdalena desde las representaciones de los viajeros, 1850 – 1882. Yenli Margarita Arias Ch. (2016) UN. de Col.
- El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión. Hernández V., Néilda C. 2018
- El Ruiz continúa dando señales... DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) U.N. de Colombia Sede Manizales.
- El territorio caldense: ¿un constructo cultural? Duque-Escobar, Gonzalo (2019). In: “II ENCUENTRO DE SABERES DACHI KUITA”. ESAP, Manizales.
- El territorio como sujeto en el contexto del Magdalena Centro. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) In: Diócesis de La Dorada, PDP-MC., Rionegro Antioquia.
- El territorio de los Ansemas de la cultura Umbra. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U. Nal. de Col. Manizales.
- El Territorio Del Gran Caldas. “La Tierra Del Café”. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014). Revista Civismo 459. SMP Manizales.
- El territorio del Guarín. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) In: Encuentro de Alcaldes Electos de los Municipios de la Cuenca del Guarín, 12/11/2011, Recinto del Pensamiento – Manizales.
- El territorio del río Grande de la Magdalena. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje] U.N de Colombia.
- El tortuoso camino de los acuerdos climáticos. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) La Patria. Manizales.
- El tsunami de 1979. Costa Pacífica. MEYER, Hansjürgen. Publicación del OSSO, Cali, 2005. pp 17-28.
- El transporte en Colombia y en el Eje Cafetero DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007).
- El transporte rural y el desarrollo de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2010) La Patria.
- El transporte terrestre de carga en Colombia. Marcela Henao y Eleonora Lozano. DNP-UMACRO. 1999
- El siniestro de Mocoa. diseño de la imprevisión. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- El sismo de Popayán de 31 de Marzo de 1983. Instituto Nacional de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química INGEOMINAS: 1986.
- El Universo acelerado. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular Red Astronomía de Colombia RAC (629).
- El Vulcanismo Moderno de los Andes de Colombia. CEPEDA, Héctor. Medellín, 1987. SEMINARIO GERARDO BOTERO ARANGO SOBRE LA GEOLOGIA DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA. MEDELLÍN
- Elementos básicos para la aplicación de la participación en plusvalía en Colombia. Maldonado, María Mercedes (2012). I. de Estudios Urbanos.
- Elementos para la construcción de una visión estructurada del desarrollo de Caldas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014). SMP Manizales.
- Emergencia e imprevisión, DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) Manizales.
- En el borde del caos. 2000. WILCHES-CHAUX, Gustavo. Fondo Nacional Ambiental & Fundación para la Comunicación Popular FUNCOP CAUCA, Ed. Casa Pensar (U.J.).
- En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2007).
- Enciclopedia de las Ciencias Naturales, Geología. Vol. V y VI. Ediciones Nauta. Barcelona, 1984.
- Energía... a recuperar la senda perdida. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012) La Patria.
- Engineering Classification of Residual Soils. WESLEY, L. D. (Lectura), University of Oakland. New Zealand, 1986?.
- Engineering geology and geotechnics BELL, F. G. Londres, 1980.
- Engineering Geology. MATHEWSON, Christopher. TA & MU. Charles E. Merrill, Publishing Co. USA 1981.
- ENLACES U.N. DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MANIZALES OAM. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (Rec.) U. N. de Colombia.
- Enlaces Verdes. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (Rec).
- “Entorno natural de 17 ciudades de Colombia”. HERMELIN, Michel. Editor. ISBN 978 958 8281 70 4. Medellín, Fondo Editorial Universidad EAFIT, 344 p.
- Earthquake. DON-LEET. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.
- Escenario de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico. Lucas Montaña Acevedo (2005). Universidad de Los Andes. Bogotá.
- Esclavos, negros libres y bogas en la literatura del siglo XIX. María Camila Nieto, María Riaño (2011). U. de los Andes.
- Estructura urbana, movilidad y género en la ciudad moderna, Constanza Tobío (2004). Universidad Carlos III de Madrid. Conferencia en la Escuela de Verano Jaime Vera, Galapagar (Madrid). Junio 1995.
- “Escombros a la espera” en zonas sísmicas densamente pobladas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2010)
- Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de los desastres en América Latina utilizando DesInventar. OSSO / ITDG / LA RED. Cali. 1999.
- Espacio y territorios: Razón, pasión e imaginarios. Red espacio y territorio (2001) Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría General. Coordinación general de la publicación: Sonia Aguirre.- EDITORIAL UNIBIBLOS Bogotá, D.E., Colombia.
- Estabilidad de Taludes. VARGAS, Milton. I Congreso suramericano de mecánica de rocas. Sociedad colombiana de geotecnia. SantaFé de Bogotá, 1982.
- Estado de situación de la minería en América Latina y el Caribe. Alicia Bárcena Secretaria Ejecutiva, NNUU-CEPAL IX Conferencia de Ministerios de Minería de las Américas. Lima, martes 20 de noviembre de 2018.
- Estado, territorio y pueblos indígenas en Colombia. Marcela Velasco Razón Pública. Bogotá, 2013
- Estimación de Indicadores de sequía para determinar escenarios de cambio climático en la jurisdicción de Corpocaldas. GOTTA Ingeniería SAS. (2017) Subdirección de Planificación Ambiental, Corpocaldas.
- Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia. Pérez Arango, Juan David and Mesa Sánchez, Óscar José (2002) In: XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, 29-31 de agosto, Medellín, Colombia.

- Estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático en Colombia. Acevedo Aristizabal, Lina Alexandra (2009) Universidad Nacional de Colombia.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres en Las Américas. EIRD. Informa - América Latina y el Caribe Número 9, 2004.
- Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogenésis de los Andes Colombianos VAN DER HAMMEN, T. 1958., Ibid, vol. 6, No. 1-3, 7 pl. f.t., Bogotá.
- Estructura y evolución tectónica del valle medio y superior del Magdalena, Colombia. Mojica, Jairo and Franco, Ricardo (1990) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 17.
- Estudio Ambiental de la Cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. Acuerdo IDEAM – Cormagdalena. Convenio 003/1999.
- Estudio de Amenazas por Erosión, Deslizamientos y Avalanchas. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 1991. In: Seminario Taller sobre Identificación y Mitigación de Riesgos, 1991, MELGAR. Seminario Taller sobre Identificación y Mitigación de Riesgos.
- Estudio de impacto ambiental: proyectos de túneles y sus accesos. Términos de referencia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia, 2006.
- Estudio de la Amenaza por Tsunami y Gestión del Riesgo en el Litoral Pacífico Colombiano. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Dimar-CCCP. 2013.
- Estudio de la demanda de transporte. Víctor M. Islas Rivera, César Rivera Trujillo, Guillermo Torres Vargas. Publicación Técnica No. 213. Secretaria De Comunicaciones Y Transportes. Instituto Mexicano Del Transporte. México 2002.
- Estudio de la dispersión de sedimentos del río Atrato y sus impactos sobre la problemática ambiental costera del Golfo de Urabá: informe final de investigación. BERNAL FRANCO, Gladys; TORO BOTERO, Francisco Mauricio; MONTOYA JARAMILLO, Luis Javier; GARIZABAL, Camilo (2005) U. Nal. de Colombia.
- Estudio de la Subcuenca del Río Chinchiná. Geología, Geomorfología, Hidrología y Clima. SODEIC Limitada. Santafé de Bogotá, 1988.
- Estudio de las Amenazas Naturales. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 1982. In: V Jornadas Geotécnicas, 1988, BOGOTÁ.
- Estudio del Riesgo Volcánico asociado al VN del Ruiz. UN, UC, Fiducal, Ingeominas, Otros. 1985/88.
- Estudio General de la Amenaza Sísmica de Colombia. Comité AIS-300. A. de Ingeniería Sísmica de Colombia.
- Estudio Nacional del Agua 2014 (ENA). IDEAM. República de Colombia.
- Estructuras de los campos y yacimientos metalíferos. VOLFSON-YAKOVLEV. Ed. MIR. Moscú, 1982.
- Estudios Geológicos y Paleontológicos Sobre la Cordillera Oriental de Colombia. SHEIBE, E.A. (1938) Departamento de Minas y Petróleo. Santafé de Bogotá, 1937.
- Etnia, región y nación: El fluctuante discurso de la identidad (notas para un debate) ensayos, comentarios y reseñas sobre Colombia. Jorge Orlando Melo. Historia, Política Y Cultura. Bogotá, 1992.
- Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles en explotaciones ganaderas de la microrregión Bajo Magdalena. Belisario Roncallo Fandiño, Justo A. Barros Henríquez, Ruth R. Bonilla, José Murillo, Ramiro del Toro. (2009) Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria 10(1), 60-69.
- Evaluación de asentamientos por consolidación generada por descenso del nivel freático. Garzón Rodríguez, Juan Carlos (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos. Garzón Casares, Pablo Antonio (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Evaluación de la Amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. CARDONA, Omar Darío. Taller regional de capacitación para la administración de desastres. ONAD, PNUD, OPS, UNDRR. Bogotá, 1991.
- Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físico químicos y biológicos. Luis Eduardo Gualdrón Durán. Universidad Industrial de Santander, Revista Dinámica Ambiental. Diciembre 2016.
- Evaluación del coeficiente de seguridad mediante el método Impacto-Eco. Mercedes Garrido R (2003). UPM.
- Evaluación del efecto de los controles naturales y el cambio de uso de la tierra en el rendimiento de sedimentos en un importante río andino: la cuenca de drenaje del Magdalena, Colombia. Juan D Restrepo y James PM Syvitski (2006) A Journal of the Human Environment 35 (2): 65-74.
- Evolución ambiental de la Depresión Momposina. HERRERA, L.F., SARMIENTO, G., ROMERO, F., BOTERO, P.J. & BERRIO, J.C. (2001). GEOLOGIA COLOMBIANA, 26, Bogotá.
- Evolución Ambiental de la Depresión Momposina (Colombia) desde el Pleistoceno Tardío a los Paisajes Actuales. Herrera, L. F., Sarmiento, G., Romero, F., Botero, P.J. & Berrio, J.C. (2001). Geología Colombiana 26. Universidad Nacional de Colombia.
- Evolución Estructural de los Andes más Septentrionales de Colombia. IRWING, Earl. Boletín Geológico, Vol. XIX, N° 2, Ingeominas. Santafé de Bogotá, 1971.
- Evolución geológica de Colombia. Precámbrico Paleozoico. Jean-François Toussaint (1993). Universidad Nacional de Colombia.
- Evolution of mountainous pipeline design in Colombia. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. In: International Conference on Terrain and Geohazard Challenges Facing Onshore Oil and Gas Pipelines, 2004, Londres. 2004.
- Excavaciones subterráneas en roca. E. Hoek & E.T. Brown. Mc Graw Hill. USA 1980.
- Excavaciones Subterráneas: Reservatorio Subterráneo De Agua Tratada, FUJIMURA Fernando. Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá. 1982.
- Experiencia sobre la Clasificación de los Suelos Tropicales y Subtropicales. Dr. Prof. S. Zonn. REVISTA DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Volumen XXVII - Bogotá, 1971 - Número 103
- Experiencias Andinas en Mitigación de Riesgos Geológicos. Proyecto Multinacional Andino. Servicio Nacional de Geología y Minería. 200- Exploración del potencial Geotérmico del Ruiz; Investigación. ENEL de Italia y Chec. 1979-1983.
- Explotación de recursos naturales y conflicto en Colombia. Sandoval, L. E.; M. Marín y A. M. Almanza. (2017). Explotación de recursos naturales y conflicto en Colombia, Revista de Economía Institucional 19(37).
- Fase prospectiva Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Campoalegre. Duque E, Gonzalo and Ortiz O, Doralice and Riveros L, Rosa Liliana and Dunoyer M, Mónica (2008) Reporte técnico. Corpocaldas-Carder.
- Fallas y Lineamientos Geoestructurales de Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2007 (Rec)
- Fase Prospectiva del POMA de la Cuenca del Río Guarín. Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice (2009). Corporación Aldea Global-Corpocaldas.
- Fenómenos geodinámicos: estudio y medidas de tratamiento. MEDINA RENGIFO, Juvenal. Tecnología Intermedia ITDG, Perú. 1991.
- Ferrocarril Cafetero para Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Propuesta U.N. de Colombia-SMP Manizales.
- Ferrocarril Cafetero: Ficha Técnica. Gonzalo Duque Escobar (2015). U.N. de Colombia-SMP Manizales.

- Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) Documento de trabajo.
- Ferrocarriles e hidrovia. claves para la multimodalidad. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015)
- FERROCARRILES: INTEGRACIÓN Y PROGRESO PARA COLOMBIA. Duque Escobar, Gonzalo (2006).
- Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) Documento de trabajo.
- Fisica Della Terra Solida. GASPARINI, Paolo; MANTOVANI, Marta S.M. Edizioni italiana di Cornelia Veltri. Liguori Editore. Italy, 1981.
- Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia, Gonzalo Duque-Escobar. Curso de Contexto en CTS. U.N. de Colombia. Video (2020)
- Ferrocarriles: integración y progreso para Colombia Gonzalo Duque-Escobar. Revista Eje XXI N° 23 de Marzo de 2006.
- Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia. Duque E, Gonzalo and Duque E, Eugenio. U. N. de Col.
- FLEGT en Colombia. Alcances de una iniciativa de la Unión Europea D Ortiz Ortiz., N Vela Murillo, 2010. Proyecto Gobernanza Forestal Bosques.
- Flood management and slums formation in Magdalena's River Basin-Colombia. HOYOS GÓEZ, Harold. 2005.
- Foraminíferos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Cispatá y la interacción Río Sinú-Mar Caribe Colombiano. BERNAL F., Gladys and RUIZ Ochoa, Mauricio Andrés and PIEDRAHITA, María Teresa and RESTREPO, Evanaam (2008).
- Formaciones del Basamento y Superficiales. BORRERO, Carlos. Mapas y Notas Geológicas del Gran Caldas. Conferencia Sobre la Geología Regional de Caldas, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, Marzo 26 de 1993.
- Fórmulas del éxito en la naturaleza. HAKEN, Hermann. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- Fotoidentificación. MANRIQUE, Antonio; DUNOYER, Mónica. Curso de Posgrado en geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1994.
- Fotogeología práctica. José Luis Naranjo Henao (2015). U de C – CPG. Ed. U. de Caldas.
- Fundamentos de economía para el constructor. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007) In: Conferencia U.N. de Col. Febrero de 2007, Manizales.
- Fundamentos de economía y transportes. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2006) Universidad Nacional de Colombia.
- Fundamentos de geología física. LEET-JUDSON. Ed. Limusa. Méjico, 1980.
- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das. California State University, Sacramento. 1ra ed. 1999.
- Generación de presión de poros en procesos cíclicos no drenados. Chaves Agudelo, Julián Fernando (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Generalidades acerca de la geología del Departamento del Cauca. PARIS, G. & MARÍN, P. 1979. INGEOMINAS. Colombia.
- Generalidades sobre petróleos. Páramo Carrillo, Jesús (1974) U.N. de Colombia.
- Geochemistry blocks to predict significant mineral deposits in the Antioquia Department Republic of Colombia Au, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn elements. SANCHEZ ARREDONDO, Luis Hernán and MOLINA ESCOBAR, Jorge Martín (2007) Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- "Geochemistry of heavy metals derived from gold-bearing sulphide minerals in the Marmato District (Colombia)". GLORIA PRIETO RINCON (1998). Journal of Geochemical Exploration, ed: Elsevier. Holanda
- Geodinámica Actual y Reciente de las Vertientes de la Cordillera Central. THOURET, Jean-Claude. Revista CIAF, No 6. Cali, 1981.
- Geodynamics of the Northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). TABOADA, A., RIVERA, L.A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILIP, H., BIJWAARD, H., OLAYA, J., RIVERA, C., 2000. Tectonics 19, pp. 787-813.
- Geofomas asociadas al batolito antioqueño. Londoño G., Ana Cristina (2012) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 23 (1998); 133-145 Geología Colombiana; Vol. 23 (1998).
- Geología aplicada a la ingeniería civil y fotointerpretación. PUIG, Juan B. Ed. Lito Juventud. Méjico, 1970.
- Geología Económica del Eje Cafetero. Gonzalo Duque Escobar. U.N. de Col. Manizales, 2003.
- Geología Colombiana N°22. Revista del Departamento de Geociencias. U. Nal de Col. Oct. 1997.
- Geología de la Cordillera Central y el Occidente Colombiano y Petroquímica de los Intrusivos Granitoides Mesocenoicoicos. ALVAREZ, Alberto Jairo. Boletín Geológico del Ingeominas. Volumen 26. Santafé de Bogotá, 1983.
- Geología de Manizales y sus alrededores, y su influencia en los riesgos geológicos. NARANJO, José Luis. Revista, U de C, volumen X. Manizales, 1989.
- Geología del Macizo de Quetame. Renzoni, Giancarlo (2011) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 5 (1968); 75-128 Geología Colombiana; Vol. 5 (1968).
- Geología del Noroccidente de Colombia. DUQUE CARO, H. Bol. Geológico #23. Ingeominas, 1980.
- Geología Estructural. BELOUSOV. V. V. 2 ed. Moscú, 1979.
- Geología Física. LONG WELL, Flint. Editorial Limusa. Méjico, 1981.
- Geología para Ingenieros Geotécnicos. HARVEY, J.C. Editorial Limusa. Méjico, 1987.
- Geología práctica. LAHEE, Frederic H. (Quinta Ed.) Trad. Rafael Candel Vila. Omega. S.A. Barcelona, 1979.
- Geología y amenazas naturales para el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Guarínó. Carlos Borrero. Julio de 2009. Documento de diagnóstico para la Fase Prospectiva del POMA de la Cuenca del río Guarínó. CORPOCALDAS.
- Geología y aspectos geográficos de la isla de San Andrés, Colombia. Vargas Cuervo, German (2012) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 29 (2004).
- Geología y Geofísica de Colombia. RAMIREZ, Jesús Emilio S.J. IGAC, Bogotá, 1973.
- Geología. Enciclopedia de las Ciencias Naturales., tomos 5 y 6. Editorial Nauta, España, 1984.
- Geologische studien in der republik Colombia. Tomo I. KUCH, Richard (1892) Verlag Von A. Asher & Co., Berlin, Alemania.
- Geomecánica. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2016) (Book) Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Colombia.
- Geomecánica de las laderas de Manizales. DUQUE E., Eugenio; Murillo L., Cristina. DUQUE E., Gonzalo; U.N. de Colombia.
- Geomorfología. DERRUAU, Max. Ediciones Ariel. Barcelona, 1966.
- Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación reciente. Robertson, Kim; Flórez, Antonio; Ceballos, Jorge Luis. U. N. de C, & IDEAM. 2002.
- Geomorfología y condiciones hidráulicas del sistema fluvial del río Sinú. Valbuena Gaviria, David Leonardo (2017) Integración multiescalar. 1945 – 1999 – 2016. Maestría thesis, U. N. de Colombia - Sede Bogotá.
- Geotecnia aplicada a la construcción de túneles. SALVADOR NAVARRO CARRASCO, RAÚL PRIMITIVO ORTIZ GÓMEZ, JUAN ANTONIO RUIZ MARIN. España (2003)
- Geotecnia de Oleoductos en Colombia. GARCÍA LÓPEZ, Manuel; FRANCO LATORRE, R. In: VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, 1987, CARTAGENA. MEMORIAS VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. 1987. v.3.
- Geotecnia para el trópico andino. Escobar Potes, Carlos Enrique and Duque Escobar, Gonzalo (2016) Book U.N. de Colombia sede Manizales.

- Geotecnia para ingenieros, principios básicos. MARTINEZ, Alberto. Lluvia Editores. Perú, 1990.
- Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. HERMANN DUQUE CARO (1980). Boletín Geológico, Ingeominas Colombia.
- Geothermal Energy Utilization. Wahl, Edward F. Course by the Geothermal Institute Auckland University. 1977.
- Geothermal Systems. ELDER, Jhon. Academic Press. U. of Manchester. London, 1981.
- Georutas o itinerarios geológicos: un modelo de geoturismo en el Complejo Volcánico Glaciar Ruiz-Tolima, Cordillera Central de Colombia. Tavera Escobar, Miguel Angel and Estrada Sierra, Nicolás and Errázuriz Henao, Carlos and Hermelin, Michel (2017). Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 26 (2).
- Gestión ambiental del riesgo en el territorio. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Gestión del riesgo en Manizales. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012).
- Gestión de riesgos en proyectos de túneles. Ignacio Extremiana Vásquez. ETSII. Universidad de La Rioja. España, 2012.
- Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2008) Documento de trabajo. U.N. de Colombia.
- Gestión frente al cambio climático en la Ecorregión Eje Cafetero. SECRETARIA TECNICA (2014) Nodo Regional de Cambio Climático Ecorregión Eje Cafetero.
- Gestión integral del riesgo, caso Manizales. 2012. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de Colombia.
- Gestión y política pública ambiental, para el patrimonio natural en Colombia. Álvarez León, Ricardo and González González, Henry and Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Teaching Resource] U.N de Colombia.
- Glacial and Volcanic Geology of the Ruiz-Tolima Volcanic Complex, Cordillera Central - Colombia. HERD, Darrell. Washington, 1974.
- Glosario de Geología RACEFN. Real Academia De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales
- Gobernanza de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe. Alicia Bárcena, Secretaria Ejecutiva, NNUU-CEPAL, Seminario 'La minería en América Latina y el Caribe. Lima, 2018.
- Gobernanza Forestal: legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo. Moreno Orjuela, Rubén Darío. Ortiz Ortiz, Doralice (2013) Unión Europea, CARDER y Otros
- Gobernanza forestal para la ecorregión andina. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014) Documento UN-SMP Manizales. Revista Civismo SMP Manizales.
- Gran Enciclopedia Didáctica Ilustrada, La Tierra. Vol. IV. Salvat Editores. S. A. Méjico, 1985.
- Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) Revista Civismo SMP Manizales, Colombia.
- Guía Astronómica. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2003. Observatorio Astronómico de Manizales OAM, Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Colección guías y manuales (2016). Convenio Especial de Cooperación Universidad Nacional de Colombia - Servicio Geológico Colombiano. Manizales.
- Habitantes del agua: El complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. María Aguilera Díaz (2011) Economía Regional 144. Banco de la República. Cartagena.
- Hacia la gobernanza del agua. González Builes, Nicolás (2017) Maestría Thesis, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- Hacia una Teoría de la Renta del Suelo Urbano. JARAMILLO GONZÁLEZ SAMUEL. (2009).. Bogotá: Universidad de Los Andes, Facultad de Economía, CEDE. Ed. Uniandes.
- Haití sin resiliencia para el desastre. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. January 15, 2010.
- Heladas 2012. (Actualización) Olga C González y Carlos F. Torres. Subdirección de Meteorología IDEAM.
- Hidráulica de aguas subterráneas. VÉLEZ OTÁLVARO, María Victoria (1999) Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos (11). U. N. de Colombia Sede Medellín. Facultad de Minas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Hidroituango: ¿Qué pasó, por qué pasó, ¿qué está pasando y qué podría pasar? Modesto Portilla Gamboa (2018). Departamento de Geociencias. U.N. de Colombia, Sede Bogotá.
- Hidro-ituango: una lectura a la crisis. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Documento de discusión.
- Historia geológica de Colombia. Hans Bürgli. Revista Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 41(Suplemento):391-449, diciembre de 2017.
- Hidrología isitópica en Colombia. RODRÍGUEZ, César O. Instituto de Asuntos Nucleares. Bogotá 1977.
- Historia de los terremotos en Colombia. Front Cover. Jesús Emilio Ramírez. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1969.
- Historia de los Terremotos en Colombia. RAMIREZ, Jesús Emilio. Instituto Agustín Codazzi. Editorial Andes. Santafé de Bogotá, 1975.
- Historia de los túneles y su evolución histórica. E.T.S.E.C.C.P.B. – U.P.C. España.
- Historia del Clima de la Tierra. Antón Uriarte Cantilla. España, 2003, en:
- Historia e institucionalidad en la minería colombiana. Sebastián Cubillos, Simón Gil Arango, Guillermo Martínez. Econógrafos Escuela de Economía N° 99 Julio 2016 - Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá
- Horizontes Cósmicos. WAGONER, ROBERT V. y GOLDSMITH, DONAL W. Editorial Labor. 1985.
- Huella hídrica en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Huracanes, tifones, baguíos, willy-willies y ciclones. Luis Capurro (2001). Departamento de Recursos del Mar de la Unidad Mérida del Cinvestav. México.
- Huracanes y terremotos acechan. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Razón Pública. Bogotá.
- Huracanes y terremotos: ¿y cómo está Colombia? DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] U.N de Colombia.
- Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe 1990-2013. UNISDR, AECID, Corporación OSSO 2015.
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia. Gordillo, F., S. Calderón, G. Romero, D. A. Ordóñez, A. Álvarez, L. Sánchez-Aragón y C. E. Ludeña. 2015. Sector Transporte. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 259, Washington D.C.
- Impactos del nuevo Canal de Panamá. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria – Manizales.
- Impactos económicos del fenómeno El Niño del 2015-2016. Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible. DNP. Panorámica Regional 4ª Edición 2018.
- Impacto por la multimodal en el Magdalena Centro. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) In: FORO "Panorama estratégico y sostenible del Magdalena Centro", Septiembre 11 de 2014., La Dorada, Caldas – Colombia.
- Indicators for Disaster Risk Management. Allan Lavell. Information and Indicators Program for Disaster Risk Management. IADB – ECLAC– IDEA. Colombia. 2003.
- Índice de Gestión de Riesgos para América Latina y El Caribe. Inform-LAC 2018.
- Índice Potencial de Inundación (IPI). Santodomingo J.. Venezuela. (2006). Estado Bolívar-Venezuela". Trabajo Publicado en: www.ilustrados.com y www.monografias.com

Inestabilidad de laderas en el trópico andino – Caso Manizales. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012) In: Aplicación de técnicas cartográficas y topográficas al análisis de terrenos con problemáticas geoambientales. Programa de Ingeniería Ambiental., 24 de mayo de 2012, Universidad Católica de Manizales.

Informe nacional de calidad del agua para consumo humano INCA 2017. BOGOTÁ, D.C. Marzo de 2019. Ministerio de Salud y Protección Social.

Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Oficina del Informe sobre Desarrollo Humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Ingeniería de metro para el desarrollo urbano sostenible. Consejo Nacional de Investigación. Ingeniería subterráneo para el desarrollo urbano sostenible. Washington, DC: The National Academies Press, 2013. Washington, DC: The National Academies Press, 2013.

Ingeniería, incertidumbre y ética. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje]

Ingeniería Sísmica. Sarria Molina, Alberto. Universidad de los Andes. ECOE ediciones, Ediciones UNIANDES, Bogotá 1995.

Integración del mar de Balboa. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria.

Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero PCC. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012) In: Taller Internacional Estudios del Paisaje, 30 de julio de 2012, Manizales, Colombia.

Intimididades del Ruiz para un examen de la amenaza volcánica. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012)

Introducción a la economía del transporte: presentación. Duque Escobar, Gonzalo (2007) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia sede Manizales.

Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero PCC. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2012) In: Taller Internacional Estudios del Paisaje, 30 de julio de 2012, Manizales, Colombia.

Introducción a la economía del transporte: DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007) Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales [Teaching Resource] U.N de Colombia.

Inventario de los desastres de origen natural en Colombia, 1970-2006: limitantes, tendencias y necesidades futuras. Aguilar, Ana María and Bedoya, Geovany and Hermelin, Michel (2008) Gestión y Ambiente; Vol. 11

Investigación del Potencial Geotérmico del Macizo Volcánico del Ruiz. Investigación. CHEC. Manizales, 1979-1983.

Investigación estratégica en el PNN de los Nevados. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017). La Patria. Manizales.

Isaac Newton. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2009) U. N. de Colombia – Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Documento de trabajo.

JOSE MARIA GONZALEZ BENITO (1843-1903). DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2007) OAM. U. N. de Colombia.

JULIO GARAVITO ARMERO (1865-1920) DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2007) OAM. U. N. de Colombia.

Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016). Observatorio Astronómico de Manizales OAM, Manizales, Colombia.

Justicia y conflictos ambientales en Colombia. Fabián Méndez. 2014. Escuela de Salud Pública Grupo Epidemiología y Salud Poblacional GESP. UNIVERSIDAD DEL VALLE

Kagoshima Internacional Conference on Volcanoes. SIMKIIN T., SIEBERT L., MCCLELLAND L., BRIDGE D., NEWHALL D., LATTER J.H.. Kagoshima International Conference on Volcanoes. Kagoshima Prefectural Government. Nira, Jica, Volcanological Society of Japan, IAVCEI. Japan. 1988.

La Actividad Minera Solicitada en Planalto es Incompatible e Inconveniente con el Medio Ambiente que Demanda la Comunidad Investigativa de Cenicafé. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2001-12-14) Universidad Autónoma de Manizales UAM, Manizales.

La amenaza volcánica de Cerro Bravo. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) U.N. de Colombia.

La amenaza volcánica y la gestión del riesgo, en la planeación y ordenamiento del territorio de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2008) U.N. de Colombia.

La astronomía en Colombia. Jorge Arias de Greiff (1993). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y naturales.

La astronomía en Colombia. Perfil histórico. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2011. Banco de la República.

La Aurora v.s. la Reserva Río Blanco. Testimonios de GDE tomados de videos grabados en el Concejo de Manizales y en la Galería de Manizales, y transcripción de textos por Paula Tatiana Mejía. Documento SMP-UN de trabajo y discusión. Contexto de CTS de la U.N. de Colombia. (Ajustado Junio de 2018).

La biodiversidad en Colombia. Manuel Rodríguez Becerra (1999).

La catástrofe del eje cafetero en un país sin memoria. – SAAVEDRA, María del Rosario and DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (1999) Revista Cien días (43). pp. 24-27.

La concentración de la propiedad rural en Colombia: evolución 2000 a 2009. Ana María Ibáñez (2009). Universidad de los Andes.

La conurbación: rizoma urbano y hecho ambiental complejo. Moreno Jaramillo, Cecilia Inés (2008) In: VII Seminario Nacional de Investigación Urbano-Regional de ACIUR: Diversidad y Desigualdad en los Territorios Contemporáneos, 5-7 Marzo 2008, Medellín, Colombia.

La Colosa: un profundo dilema entre ecosistemas y desarrollo. César Picón Arciniegas. 2014. Universidad de Ibagué. Tolima.

La dimensión cultural como catalizadora del desarrollo. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular 601 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (601).

La Dorada como nodo intermodal de carga. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

La economía azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos. Pauli, Gunter (2015), Editorial: Booket. Barcelona. España.

La economía azul como modelo de sustentabilidad para estados costeros. Ivanova, Antonina; Cariño Olvera, Martha Micheline; Monteforte-Sánchez, Mario; Ramírez Ivanova, Ekaterine A.; Domínguez, Wendi (2017). Sociedad y Ambiente, núm. 14, El Colegio de la Frontera Sur Campeche, México.

La economía azul en la esfera de la producción. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación. Museo Interactivo Samoga, Manizales.

La encrucijada ambiental de Manizales. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) Razón Pública. Bogotá, Colombia.

"La enseñanza de las ciencias naturales en Colombia" HERMANN DUQUE CARO, OUNDJIAN O. (1981) I simposio de la enseñanza de las ciencias, ICIES, Colombia.

La estructura de la Tierra. CLARK, Sydney. Editorial Orbis. España, 1986.

La Estructura de las Revoluciones Científicas. Thomas S Kuhn.. Fondo de Cultura Económica. 1962. Teoría General de Sistemas. John P. van Gigch. Ed. Trillas. Mexico. 1990.

La evolución estructural de los andes más septentrionales de Colombia. Earl M. Irving 1971. Boletín Geológico INGEOMINAS. Vol XIX, No.2. Bogotá.

La expansión de la economía de enclaves en América Latina y la ficción del desarrollo. Falero, Alfredo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 1, 2015, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Estado de México, México.

La exploración de la Tierra desde el espacio. ERICKSON, Jon. McGraw Hill. España, 1991.

La explotación de los océanos. BEQUERY, Michel. Editorial Orbis. España, 1986.

La formación de las cavernas. RENAULT, Philippe. Editorial Orbis. España, 1986.

- La gestión ambiental en Colombia, 1994-2014: ¿un esfuerzo insostenible? Ernesto Guhl N y Pablo Leyva (2015). FESCOL-FNA. Bogotá.
- La gestión del riesgo: del deber de la esperanza a la obligación del milagro. Gustavo Wilches-Chaux (2012) In: Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica. Desastres y Sociedad. XX Aniversario de LA RED.
- LA GRAN CUENCA DEL ORINOCO. Domínguez, Camilo (1998) In: Colombia Orinoco. Fondo FEN Colombia.
- La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. G Poveda 2004.Rev. Acad. Col. Cienc.
- La historia del Cerro Sancancio. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) Documentación. Rev. Eje 21, Manizales.
- La huella humana en el paisaje del valle de Aburrá. Michel Hermelin Arboux (2015). Medellín.
- La inestable Tierra. BOOTH-FITCH. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- La Infraestructura de Colombia. Alberto Lobo-Guerrero Uscátegui. V Congreso Colombiano de Geotecnia. Geotecnia y Medio Ambiente. Memorias Volumen II. Medellín, Junio 29 - Julio 1 de 1994
- La infraestructura de transporte terrestre en Colombia durante la primera mitad del siglo XX: Una descripción desde el punto de vista económico. María Teresa Ramírez G. Abril 20, 2005.
- La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. Gerson Javier Pérez V. No. 64 Octubre, 2005. Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER) del Banco de la República, Cartagena.
- LA INGENIERIA DE EXPLOTACION INTEGRAL. ENFASIS EN EL CINEMATICO. Correa Arroyave, Álvaro (2011) Ingeniería e Investigación; núm. 38 (1997)
- La Ingeniería de Suelos, RICO RODRÍGUEZ, Alfonso; DEL CASTILLO, Hermilo. Limusa. México, 1983.
- La logística del transporte: un elemento estratégico en el desarrollo agroindustrial. Book. Sarache Castro, William Ariel and Cardona Alzate, Carlos Ariel and Giraldo García, Jaime Alberto and Duque Escobar, Gonzalo and Orrego Alzate, Carlos Eduardo and Tamayo Arias, Johnny Alexander and Builes Ocampo, Sabina and Cardona Jaramillo, Adriana and Granados Ortiz, María Luisa (2007) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Caldas, Colombia.
- La Luna. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U.N. Sede Manizales.
- "La minería a gran escala amenaza el territorio y la vida de los pueblos indígenas de la Amazonia". Juan Miguel Hernández (2019). El Espectador. Colombia.
- La Minería en los Países en Desarrollo – Desafíos y Propuestas de Acción. Editor: c/o Misereor Mozartstraße 9 52064 Aachen Redacción (responsable): Susanne Friess, Hein Brötz Traducción: Sandra Patow Derteano y Estela Biurrun, Misereor Lugar de publicación: Aachen Fecha: Julio 2011
- La minería sin control.: Un enfoque desde la vulneración de los Derechos Humanos. DEFENSORÍA DEL PUEBLO. – República de Colombia. Bogotá, D. C.
- La navegación a vapor por el Río Cauca. Alonso Valencia Llano (2004). Centro de Estudios Regionales. U. del Valle.
- La navegación a vapor por el Río Magdalena. Fabio Zambrano Pantoja (1979). Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura 9. Universidad Nacional de Colombia.
- La navegación por el Magdalena. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2008) U.N. sede Manizales
- La navegación del Magdalena y la Conurbación Honda-La Dorada: opciones e impactos. Programa de Desarrollo para la Paz del Magdalena Centro, PDP-MC, Honda, 22 de mayo de 2013.
- La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. TOUSSAINT, Jean Francois. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.
- La noción de riesgo desde la perspectiva de los desastres: Marco conceptual para su gestión integral. CARDONA, O.D.; HURTADO, J.E.; DUQUE G.; MORENO, A; CHARDON, A.C.; VELASQUEZ L.S.; PRIETO, S.D.. 2003. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, U. N. de Colombia, Manizales.
- La Nueva Geografía en Acción. Reproducido del Boletín Aéreo del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México, 1969, No. 108. In: ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Volumen XXVII -Número 101 - Bogotá 1970.
- La Nueva Troncal de Occidente, en el marco del Paisaje Cultural Cafetero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) Variante La Tesalia. Manizales, Colombia.
- La paz y la protección ambiental en Colombia. Lorenzo Morales (2017) El Diálogo. DIÁLOGO INTERAMERICANO. Fundación Gordon y Betty Moore. Colombia.
- La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. Güiza Suárez, Leonardo (2013): DYNA; Vol. 80, núm. 181 (2013); 109-117 Dyna; Vol. 80, núm. 181 (2013); 109-117 2346-2183 0012-7353 .
- La Plataforma Continental Submarina. J. M. Yepes. REVISTA DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Volumen XXVII - Bogotá, 1970 - Número 102.
- La política de reforma agraria y tierras en Colombia. Centro Nacional de Memoria Histórica (2013).
- La previsión en la gestión del riesgo volcánico. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012), U.N. de Colombia.
- La química, ciencia de la materia y el cambio. BATLE-GUMUZZIO. Colección Salvat. España, 1985.
- La reforma agraria y la administración rural. Wheeler, Richard G. and Guerra E., Guillermo A. (1963) Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín; Vol. 23, núm. 59 (1963).
- La reforma rural, una deuda social y política. Absalón Machado C (2009) CID U.N. de Colombia. (2011).
- La secuencia volcánoclastica de Aranzazu: registro del impacto del volcanismo en un sistema fluvial neógeno en la parte media de la Cordillera Central, Colombia. Carlos Alberto Borrero Peña, Juan Sebastián Rosero Céspedes, Julián David Valencia M y Andrés Pardo Trujillo. (2008). Boletín de Geología Ediciones UIS. Colombia.
- La SMP de Manizales 107 años en la construcción del territorio. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) In: Panel: Las Sociedades de Mejoras Públicas y el Urbanismo., Auditorio Tulio Gómez Estrada. Universidad de Caldas.
- La Tierra en movimiento. GRIBBIN, John. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- La Tierra planeta vivo. CASQUET-MORALES, Et al. Colección Salvat. España, 1985.
- La Tierra. Edición Especial del Círculo de Lectores. Editorial Printer. Santafé de Bogotá, 1985.
- La trama de la vida: bases ecológicas del pensamiento ambiental. Augusto Angel Maya (1993) Mineducación Colombia.
- La Transversal Cafetera por Caldas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) In: Encuentro de la Colonia de Caldenses en Bogotá, Julio 15 de 2013., Casa del Valle, Bogotá.
- La U.N. en Manizales construyendo Ciudad y Región. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje]
- La vivienda social y sus determinantes. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014). La Patria

- Lahares históricos depositados en área de Armero. Observaciones preliminares sobre flujos de lodo cuaternarios relacionados con la actividad del volcán nevado del Ruiz... Mojica, Jairo; Brieve, Jorge; Villarroel, Carlos; Colmenares, Fabio and Moreno, Manuel (2012). Geología Colombiana.
- Latinoamérica en crisis. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación. La Patria, Manizales.
- Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el Valle de Aburra. Caballero Acosta, Humberto (2011) Gestión y Ambiente, 14 (3). pp. 45-50. ISSN 0124-177X.
- Las Cuatro Estaciones para reflexionar sobre cambio climático. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2011).
- Las cuentas del agua. Duque Escobar, Gonzalo (2016). La Patria, Manizales, Colombia
- Las nuevas funciones del espacio rural. Zuluaga Sánchez, Gloria Patricia (2000). Centro de Estudios del Hábitat Popular – CEHAP Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Las Repúblicas Sudamericanas Parte II de II. Thomas C. Dawson (1904). GP Hijos de Putnam Nueva York y Londres. The Knickerbocker Press.
- Landslides types and processes. VARNES, D. J. Res. Board Washington. Report 29; NASNRC Public. 544. U.S.A., 1958.
- Large Landslide and Debris Avalanche effects on pipelines in Colombia. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. In: International Conference on Terrain and Geohazard Challenges Facing Onshore Oil and Gas Pipelines, 2004, Londres. 2004.
- Las aguas subterráneas. TROMBE, Félix. Editorial Orbis. España, 1986.
- Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el Valle de Aburra. Caballero Acosta, Humberto (2011) Gestión y Ambiente, 14 (3). pp. 45-50. ISSN 0124-177X
- Las cuentas del agua. Duque Escobar, Gonzalo (2016). La Patria, Manizales, Colombia
- Las fallas de Romeral y su relación con la tectónica de la Cordillera Central. Kammer, Andreas (1993) In: Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 18. Bogotá.
- Las montañas. FOUET-POMEROL. Editorial Orbis. España, 1986.
- Las Sequías históricas de México. Virginia García Acosta. CIESAS. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.
- Lecciones de Río Blanco: más ecosistemas para enfrentar la crisis del agua. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017). Documento U.N. SMP. Manizales, Colombia.
- Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Ruben Darío and Ortiz Ortiz, Doralice (2014) Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. CARDER, Corporación Aldea Global, CAR socios del proyecto. Pereira.
- Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America. ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, A. IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica. 1969.
- Levantamiento de los Andes en el Norte de la Cordillera Central de Colombia: Una aproximación geomorfológica, estructural y cronológica (trazas de fisión). TORO V, Gloria E; RENDON, Diego A; MONTES, Luis F, 2008. Boletín De Ciencias De La Tierra. Universidad Nacional de Colombia. Ujueta, Guillermo (2001)
- Ley 685 de 2001: Código de Minas. Diario Oficial 44.545 1. El Abedul.
- Lineamientos de dirección NO-SE y NNE-SSO a NE-SO en el Centro Occidente colombiano y en el Ecuador. Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 26.
- Logística del transporte para la RAP del Eje Cafetero. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Logros y retos tras 25 años del Observatorio Vulcanológico de Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011).
- Los albores de la civilización. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2009) I Encuentro Internacional de Culturas Andinas, Pasto.
- Los andes se desnudan y se pulverizan. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 2008. Anales De Ingeniería, Sociedad Colombiana de Ingenieros – Año 121 N° 907 – Julio-Septiembre de 2008. ISSN 0120-0429.
- Los bosques plantados y la huella hídrica, la respuesta hidrológica y la hidrosolidaridad. Vásquez Velásquez, Guillermo (2011) U.N. de Colombia In: Séptimo Diálogo Interamericano Sobre la Gestión del Agua. Medellín.
- Los caminos de la ciencia. SABINO, Carlos A.. Panamericana. Colombia, 1996.
- Los climas de las tierras del Pacífico Colombiano. Glenn T. Trewartha. REVISTA DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Volumen XXIX - Bogotá, 1975 - Número 107.
- Los conflictos de uso de las tierras en Colombia. IGAC, CORPOICA, 2001
- Los desastres no son naturales. CARDONA, Omar Darío (1993).
- Los Desastres no son Naturales. Wilches Chaux, Gustavo (1993) “La Vulnerabilidad Global”. En Maskrey, A. (ed.) La Red. Tercer Mundo,
- Los frágiles cimientos de la democracia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011). Circular Red de Astronomía de Colombia (610).
- Los quetos urbanos o la ciudad amable. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010)
- Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación. Diego Chavarro, María I. Vélez, Galo Tovar, Iván Montenegro, Aleidys Hernández, Alejandro Olaya. Colciencias 2017.
- Los orígenes de la civilización. V. Gordon Childe. Fondo de Cultura Económica. Octava Ed. Bogotá, 1977.
- Los peajes en Colombia están sobreutilizados. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Dep. de Ing. Civil, UN de Colombia.
- Los problemas de los suelos tropicales y su solución. SCHAUFELBERGER, Paul. Revista Cenicafé. (14). Caldas, 1963.
- Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Juan Darío Restrepo Ángel (2005). Fondo Editorial EAFIT.
- Los terremotos del Atrato Medio-Murindó en octubre de 1992. VELÁSQUEZ, Andrés. OSSO, Cali, 2005.
- Los volcanes. PEREZ ALVAREZ. Editorial Norma. Santafé de Bogotá, 1979.
- Llega el invierno, pero la vulnerabilidad qué. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011).
- Macroproyectos para el Eje Cafetero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (Rec.)
- Macroseismic analysis of the Murindó-Antioquia earthquake (Colombia) October 1992. MARIN ARIAS, Juan Pablo; VALENCIA MUNOZ, Luz Yenci; RENDON CARDONA, Lina María. Bol.geol. 2009, v. 31
- Magdaleneando en el contexto de un territorio estratégico para la paz. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2014)
- Manejo de emergencias volcánicas. FOURNIER, E. M., TOMBLIN, J. F. 1987. Naciones Unidas. UNDR0. U.S.A., 1987.
- Manizales: El futuro de la ciudad. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) In: Cátedra de Historia Regional de Manizales “Bernardo Arias Trujillo”. Universidad de Caldas, pp. 533-560.
- Manizales: Foro del Agua 2019. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) In: XIV Semana Ambiental de Manizales, Universidad Autónoma de Manizales.
- Manizales: funciones urbanas y metropolitanas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) La Patria, Manizales.
- Manizales: integración regional y desarrollo territorial. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) In: Foro: Ocupación del territorio e Integración regional, Agosto 14 de 2013., Sala Carlos Nader. Universidad de Caldas. Manizales.

- Manizales, por la senda verde. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje]
- Manizales: un diálogo con su territorio. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2014)
- Manizales y "El derecho a la ciudad". Duque Escobar, Gonzalo (2018) Documento de trabajo. La Patria, Manizales
- Manizales y Caldas sobre las Rutas del Progreso. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) Revista Civismo.
- Manizales y Caldas: temas para una veeduría ambiental de la sociedad civil. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo Compendio para el colectivo de líderes ambientales de la ecorregión. (Rec)
- Manual de hidrología para obras viales basado en el uso de sistemas de información geográfica. Víctor M. Aristizábal, Blanca A. Botero, Jorge J. Vélez (2012) U. N. de Colombia.
- Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería civil, BOWLES, Joseph E.. Mc Graw Hill, 1978.
- Manual de Mineralogía de DANA. CORNELIUS-CORNELIS. 3 edición. Ed. Reverté. España, 1985.
- Manual de mineralogía óptica. PARIS, Gabriel. Boletín Geológico Vol. 26. Ingeominas. Santafé de Bogotá, 1983.
- Manual de Túneles de Carretera. Asociación Mundial de Carreteras. PIARC (2011).
- Manual para la Evaluación de Desastres. Unidad de Evaluación de Desastres de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (2014). CEPAL. Naciones Unidas, Chile.
- Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres. CEPAL, 2003.
- "Manual Práctico de Voladura de EXSA". EXDA S.A. Perú, 2000. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. ETAYO, F. et al. 1983. Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS, No. 14.
- Mapa Geológico del Cuadrángulo K-8. MOSQUERA, Darío et al. Ingeominas. Ibagué, 1977.
- Mapa geológico generalizado del Departamento de Caldas. Geología y recursos minerales; Memoria explicativa. Ingeominas. Santafé de Bogotá, 1993.
- Mapa Metamórfico de Colombia. Mario Maya Sánchez y Edgar Vásquez Arroyave INGEOMINAS, 2001.
- Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S. A. Héctor Cepeda Vanegas y Luis A Murcia. (1988) Boletín Geológico – Ingeominas ISSN: 0120-1425.
- Mapas del Departamento de Caldas, en Colombia. (Recopilación de Gonzalo Duque Escobar)
- Mapas del Diagnóstico participativo del Plan de Acción para la recuperación y conservación de la Cuenca del Río Chinchiná. In: Sala Rafael Uribe Uribe de la Gobernación de Caldas. Fundación FESCO. Manizales, 2012.
- Mapa Metamórfico de Colombia. INGEOMINAS 2001 Mario Maya Sánchez y Edgar Vásquez Arroyave INGEOMINAS, 2001.
- Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S. A. CEPEDA, Héctor y MURCIA, Luis A (1988) Boletín Geológico – Ingeominas.
- Marco conceptual de la Misión para la Transformación del Campo. Antonio Ocampo – Jefe de Misión, Bogotá D.C., Octubre de 2014.
- Marmato: desaparecen más de 500 años de cultura por reorientación minera. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2008).
- Más espacio y oportunidades para el ciudadano. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Más Estado para una nueva sociedad. Duque Escobar, Gonzalo (2010). La Patria, Manizales.
- Máquinas, equipos y sistemas para la construcción de túneles. Putzmeister Ibérica S.A. España 2007.
- Mecánica básica para estudiantes de ingeniería. Salazar Trujillo, Jorge Eduardo (2007) Apoyo Académico - Obras civiles. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Manizales, Colombia. ISBN 958-9322-50-6.
- Mecánica de rocas aplicada a la industria del petróleo. Bravo, Oscar (2012) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 37, núm. 1: Edición especial para la X Semana Técnica de Geología e Ingeniería Geológica.
- Mecánica de los suelos. (Book). DUQUE E., Gonzalo; ESCOBAR P., Carlos Enrique (2002). Texto para el Curso de Mecánica de Suelos I, del Programa de Ing. Civil. U.N. de Colombia Sede Manizales.
- Mecánica de Suelos, ROBLEDÓ ISAZA, Julio. Vol 1 y 2 U.N. de Colombia. Manizales, 1990.
- Mecánica de Suelos. BERRY & REID, U. Salford, 1993.
- Mecánica de suelos. JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Editorial Limusa. Méjico, 1995.
- Mecánica de Suelos. JUÁREZ BADILLO, Eulalio, RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. México. 1990.
- Mecánica de suelos. ROBLEDÓ, Julio. T 1 y 2. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1990.
- Mecánica de Suelos. LAMBE, T.W. & WHITMAN, R.V.. MIT, 1993.
- Mecánica de rocas: teoría de elasticidad y elementos finitos. CORREA ARROYAVE, Álvaro de J. 1992. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Luis Sánchez y Orlando Reyes (2015). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Medio ambiente, mercado y Estado. Duque Escobar, Gonzalo (2014). La Patria. Manizales.
- Medio ambiente y plan de desarrollo municipal. Michel Hermelín. SNPAD de Colombia. Bogotá. 1993.
- Mejoramiento y estabilización de suelos. FERNÁNDEZ, Carlos, Limusa 1982.
- Memorias de la III Conferencia colombiana de geología ambiental. CRQ- DNPAD Universidad del Quindío et al. Armenia 1994.
- Memorias del I seminario sobre manejo y conservación de suelos. Comité Nacional de Manejo y Conservación de Suelos de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Cali, 1984.
- Memorias del VI Congreso Latinoamericano de Geología. Tomo III, Octubre de 1985. Bogotá, 1985.
- Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geología. U de Caldas. Manizales, Agosto de 2001.
- Metamorfismo de los esquistos verdes y anfíbolitas pertenecientes a los esquistos de Santa Marta, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia): ¿registro de la colisión entre el arco caribe y la margen Suramericana? BUSTAMANTE, Camilo and CARDONA, Agustín and SALDARRIAGA, Mónica and GARCIA-CASCO, Antonio and VALENCIA, Víctor and WEBER, Marión. (2009). Universidad Nacional de Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra (25).
- Metamorfismo en el sector norte de la Cordillera Central de Colombia. RESTREPO, J. 1986. Universidad Nacional. Medellín.
- Métodos para determinar la recarga de acuíferos. Vélez Otálvaro, María Victoria and Vásquez Ariza, Lina María (2004) In: Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología, Medellín, Colombia.
- Metodología de evaluación de susceptibilidad y amenaza por fenómenos de deslizamiento, derrumbe, caída de bloques, flujo de tierra y erosión. TCHMODANOVA, Valentina. Sociedad Colombiana de Geotecnia. 2000.
- Metodología para la construcción de indicadores ambientales para el monitoreo de puertos. Osorio Arias, Andrés Fernando and Quintana Hernández, Yamith Alberto (2010) Gestión y Ambiente, 13 (3). pp. 7-22. ISSN 0124-177X -

- Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño-Oscilación del Sur en Colombia. Rubén Azcárate and Angélica Mejía-Fajardo (2016). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y Comisión Colombiana del Océano. Bogotá, Colombia.
- Metodología y Criterios de Clasificación para Inventario de Movimientos. GONZALEZ G. Álvaro Jaime. I Simposio Suramericano de Deslizamientos. Paipa, 1989.
- Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales. CIMOC - Alcaldía de Manizales, 2002.
- "Middle Miocene near trench volcanism in northern Colombia: A record of slab tearing due to the simultaneous subduction of the Caribbean Plate under South and Central America?" M.Lara A. Cardona G. Monsalve J. Yarce C. Montes V. Valencia M. Weber F. De La Parra D. Espitia M. López-Martínez (2013). Journal of South American Earth Sciences .Ed: Pergamon.Colombia.
- Mineralogía. FONT-ALTABA, M. Editorial Marabout Université. Bélgica, 1965.
- Minería: Anotaciones para un crecimiento previsorio con desarrollo. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2011.
- Minería en América Latina y el Caribe, un enfoque socioambiental. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 21(2):617-637, Julio-Diciembre, 2018.
- Minería en Colombia: ¿a qué precio? Ana Vicente, Neil Martin, Daniel James, Slee, Moira Birss, Sylvain Lefebvre, Bianca BauerPBI Colombia. Boletín informativo no 18. Noviembre de 2011. Ed. Códice Ltda.
- Minería en Colombia: derechos, políticas públicas y gobernanza. Luis Jorge Garay Salamanca (Director) Contraloría General de la República. Mayo 2013
- Minería, Energía, Agua y Cambio Climático en América Latina. Fundación Heinrich Böll 2013. _Coordinado por: Carlos Monge, Fernando Patzy y Claudia Viale. Red Latinoamericana sobre Industrias Extractivas RLIE, FUNDAR, FARO, CEDLA, Terram (Chile) Ibase (Brasil), Taller Ecologista de Mendoza (Argentina) et Al. 2013.
- Minería, territorio y territorialidad del caso del hallazgo aurífero la colosa en el municipio de Cajamarca (Tolima-Colombia) 2000-2013. Sánchez García, Diana Patricia (2013), Universidad Nacional de Colombia.
- Minería y competitividad Internacional en América. Fernando Sánchez Albavera y Jeannette Lardé. Cepal, Chile 2006.
- Minería y paz. Manuel Rodríguez Becerra 2016El Tiempo. Colombia.
- Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. OPS. Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. PAHO, 1997.
- Modelación hidrológica e hidráulica acoplada de la cuenca media y baja del río Magdalena. Sánchez Lozano, Jorge Luis (2017). Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia.
- Modelamiento estructural de la zona límite entre la microplaca de Panamá y el bloque norandino a partir de la interpretación de imágenes de radar, cartografía geológica, anomalías de campos potenciales y líneas sísmicas. Garzón Varón, Fernando (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Modelo cronoestratigráfico para el emplazamiento de los depósitos de vertiente en el Valle de Aburrá. TORO, Gloria E; HERMELIN, Michel; RENDON DIEGO A. (2006). Boletín De Ciencias De La Tierra. Universidad Nacional de Colombia.
- Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. NARANJO, José Luis. 2005. Universidad de Caldas. Manizales.
- Modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el Eje Cafetero. AGUILAR, V.; MENDOZA D.; VELÁSQUEZ A.. Observatorio Sismológico del Sur-Occidente Colombiano- OSSO IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín 2003.
- Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de decisiones. CORREA CALLE, Oscar. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2005
- Modelo flexural del litoral pacífico colombiano, a partir de la correlación de carga orogénica, anomalías gravimétricas y flexión litosférica. . Alarcón Prada, Angel Mauricio (2018). U. N. de Colombia - Sede Bogotá.
- Modelos orogénicos de tectónica de placas en los Andes Colombianos. TOUSSAINT, J. & RESTREPO, J. 1976. Boletín Ciencia de la Tierra N°1. Universidad Nacional de Colombia.
- Métodos de excavación de túneles mediante perforación y voladura. Julio González. Fieras de la ingeniería. Construcción. 2010.
- Métodos tradicionales de excavación de túneles. I.T de Obras Públicas. PCM/ITOP (2011), España.
- Movilidad y desarrollo en el eje urbano y periurbano de Manizales. Duque Escobar Gonzalo (2006) Revista SCIA.
- Movilidad y modelo urbano. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: Foro "Movilidad y Espacio Público". Diciembre 5 de 2017, Centro Cultural del Banco De La República, Manizales — Colombia.
- Movimientos en Masa en la Región Andina. Proyecto Multinacional Andino. Servicio Nacional de Geología y Minería. 2009.
- Muelle de Tribugá Duque-Escobar, Gonzalo (2019) El Tiempo.
- Museo Interactivo Samoga: 2001-2015. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) U.N. de Colombia Sede Manizales.
- Naturaleza y Dinámica de un flujo piroclástico en la zona de Nereidas. GRAND, Mónica; HANDSZER, Adriana. Caldas. V Congreso Colombiano de Geología. Tomo I. Bucaramanga, 1989.
- Navegando el Río Grande de La Magdalena. Duque-Escobar, Gonzalo (2020) Universidad Nacional de Colombia.
- Neira: entre la ruralidad y la ciudad región. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2011) In: Neira: entre la ruralidad y la ciudad región, 19/08/2011, Auditorio del Comité de Cafeteros de Neira.
- Nevado del Ruiz volcano (Colombia): pre-eruption observations and the November 13, 1985 catastrophic event. BARBERI, F and MARTINI, M. and ROSI, M. 1990. In: Journal of Volcanology and Geothermal Research.
- Newton. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2009) Documento de trabajo. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U.N. de Colombia.
- No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2010). Circular Red de Astronomía de Colombia RAC 554.
- No todo lo que brilla es oro. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Nociones de Geología. CASTELLANOS A., Sebastián. Editorial Norma. Santafé de Bogotá, 1980.
- Nociones de Petrografía. (1916) Anales de la Escuela Nacional de Minas, Volumen II, Medellín, Julio de 1916, Numero 13. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- Nociones Geológicas Básicas sobre rocas para Ingenieros. CELIS, Armando. U. N. de Ciol.. Bogotá, 1988.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. Ley 400 de 1997. Bogotá.
- Normatividad minera en Colombia. Agencia Nacional Minera. República de Colombia.
- Noroccidente de Caldas: un territorio forjado en oro, panela y café. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) Universidad Nacional de Colombia.
- Notas sobre Ciencia, Cultura, Educación y Desarrollo. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2011.

- Notas sobre la Prevención y el riesgo por Amenaza Volcánica. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Primer Simposio Internacional sobre Aspectos Vulcanológicos, Sismológicos y Geológicos. FICDUCAL, Manizales, 1986.
- Notas sobre sismos y volcanes en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo 2012. (Rec)
- Nuestras aguas subterráneas. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Nuestro frágil patrimonio hídrico. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) La Patria. Manizales.
- Nuestro planeta la Tierra. BIALKO, A. Editorial MIR. Moscú, 1985.
- Nuestros mares en la economía planetaria. Duque Escobar, Gonzalo (2010) La Patria.
- Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia. Carlos A. Vargas (2011) U.N. Periódico.
- Nuevo Ferrocarril de Antioquia, para estructurar un sistema férreo en Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) In: Martes de la SAI, Martes 9 de Junio de 2015, Sociedad Antioqueña de Ingenieros SAI, Medellín.
- Nuevo Método Austriaco NATM. E.T.S.E.C.C.P.B.- U.P.C. (2002)
- Nuevo Túnel Cumanday, bimodal y competitivo. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014), La Patria.
- Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Tercera Comunicación Nacional.
- Observaciones al componente general del POT de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Torres Arango, Claudia (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia
- Observaciones recientes sobre las características del basamento económico del valle superior del Magdalena en la región de Payandé-Rovira (tolima, colombia)... . Mojica, Jairo and Llinás, Rubén (1984) In: Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 13.
- Obras completas de Francisco José de Caldas. Imprenta Nacional, Octubre 29 – 1966. Homenaje con motivo del sesquicentenario de su muerte.
- Obras de estabilización de taludes y mitigación de riesgos por fenómenos de remoción en masa GARCÍA LÓPEZ, MANUEL. In: I Simposio Internacional de Movimiento de Masas, 2001, CUENCA. MEMORIAS I Simposio Internacional de Movimiento de Masas. 2001.
- Observaciones al componente general del POT de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Torres Arango, Claudia (2017) Profesores del Contexto de CTS y Miembros de la SMP de Manizales. [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] U.N de Colombia.
- Observaciones preliminares sobre flujos de lodo cuaternarios relacionados con la actividad del Volcán Nevado del Ruiz en la región de Armero-Guayabal-Mariquita. Mojica, Jairo; Brieua, Jorge; Villarroel, Carlos; Colmenares, Fabio; Moreno, Manuel (1985), Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 14.
- Observaciones y descripciones petrológicas y estructurales asociadas al tramo meridional de la falla palestina. Cortés, Ricardo (1990). Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 17
- ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) In: Foro Ambiental de Alianza Suma, Universidad de Manizales.
- Onset of fault reactivation in the Eastern Cordillera of Colombia and proximal Llanos Basin; response to Caribbean ¿South American convergence in early Palaeogene time. CAMILO MONTES RODRIGUEZ (2013). En: Annual Report - Geological Society (London) ISSN: 0950-6373. Colombia.
- Opciones de Caldas en medio ambiente, cultura y territorio. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) Revista Civismo. SMP Manizales. Caldas, Colombia.
- Operación de transporte de carga por carretera en Colombia Victor Julio Montoya et Al., Ministerio del Transporte, 2001.
- P. Nikitin. Economía política. Momo Ediciones. Bogotá, 1982.
- Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. OPS- Disaster Management Center. University of Wisconsin. Washington 1975.
- Oro de Marmato: miseria o desarrollo. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de Colombia
- OSSODAS, a portable digital system for seismological signal acquisition. P. Riascos, A. Racines, J. H. Caicedo, J. Mejía, y Hj. M. Earth. Sci. Res. J. Vol 8 No 1 (Dec, 2004): 52 – 55.
- Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Otra vez El Niño: ¿cómo adaptarnos? DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Pacífico biogeográfico y geoestratégico colombiano. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2018) In: Curso de Contexto CTS 2018, Febrero-Junio de 2018, Auditorio Juan Hurtado.
- Pacífico colombiano. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje]. U.N de Colombia.
- Paisaje Cultural Cafetero: Bioturismo y ruralidad en la Ecorregión Cafetera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) In: Paisaje Cultural Cafetero: Mzls, 1-9-2012.
- Paisaje Cultural Cafetero PCC: qué nos hace diferentes. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) In: Segunda Semana del Paisaje Cultural Cafetero, Junio 22 a 25 de 2017, Centro de Convenciones Teatro Fundadores. Manizales,
- Paisaje y Región en la Tierra del Café. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) In: Congreso Regional de Mitigación al Calentamiento Global, Septiembre 11 a 13 de 2017, Teatro 8 de Junio de la Universidad de Caldas.
- Panorama del impacto ambiental de los recientes desastres naturales en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL - PNUMA) (2000) XII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Bridgetown, Barbados.
- ¿Para dónde va el Magdalena?. Manuel Rodríguez Becerra (Ed) 2015. Foro Nacional Ambiental. Bogotá.
- ¿Para dónde va el Magdalena?: elementos sobre logística y transporte verde. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2015) In: III Foro público. 23/09/2015, Honda, Tolima.
- Para la competitividad de Colombia: El regreso del tren andino por la tierra del café. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014).
- Para quién la plusvalía urbana? Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria. Manizales.
- Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales.
- Participación de la sociedad civil en el ordenamiento territorial. Duque Escobar, Gonzalo and Torres Arango, Claudia (2009) In: Jornada Académica y Taller de la SMP de Manizales, 07 Noviembre de 2009, Manizales.
- Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documento de trabajo. La Patria.
- Pensamiento ambiental complejo y gestión del riesgo. Una propuesta epistémico-ético-estética. Ana Patricia Noguera de Echeverri (2006). IDEA U. Nacional de Colombia sede Manizales
- Pensamiento crítico para construir la Paz. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2013
- Pensar el cambio socioambiental: un acercamiento a Santurbán. Álvaro Acevedo Tarazona, Andrés David Correa Lugos, Rev. Colomb. Soc., 42(1), 157-175. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Percal, un modelo de vulnerabilidad urbana y escenarios de pérdidas - Caso Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Jaramillo, Juan Diego. Seminario Taller sobre Vulnerabilidad Sísmica y Escenarios de Riesgo. CARDER, Pereira. 2001.
- Perfil Ambiental Urbano de Colombia, Caso Manizales. Investigación. Idea UN y otros. 1992.

- Periplo científico de Humboldt por América. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2019) Documentación. OAM de la U.N. de Colombia, Sede Manizales. Manizales, Colombia.
- PETRÓLEO Y DESARROLLO. Aguilar G., Orllando and Galeano, Carmen and Perez B., Leonel (1998). In: Colombia Orinoco. Fondo FEN Colombia, Bogotá, pp. 289-301. ISBN 958-9129-45-5
- Pipelines and Landslides in rugged terrain: A database, historic risks and pipeline vulnerability. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. In: International Conference on Terrain and Geohazard Challenges Facing Onshore Oil and Gas Pipelines, 2004, Londres. 2004.
- Plan de Acción Inmediato PAI Municipio de Marmato ORTIZ ORTIZ, Doralice; DUQUE ESCOBAR, Gonzalo et Al. (2010). Corpocaldas, Corporación Aldea Global.
- Plan de Acción Inmediato PAI, Municipio de La Dorada. ORTIZ ORTIZ, Doralice; DUQUE ESCOBAR, Gonzalo et Al. (2010). Corpocaldas, C. Aldea Global.
- Plan de Manejo de la Cuenca Magdalena-Cauca Autónoma. Cormagdalena. In: Foro Calidad Ambiental MADS. Bogotá, 30 Nov 2017.
- Plan de Manejo de la Reserva Forestal Protectora de las Cuencas Hidrográficas de Río Blanco y Quebrada Olivares. Manizales, Abril de 2010
- Plan de ordenación y manejo ambiental cuenca del río Guarínó: fase prospectiva. ORTIZ ORTIZ, Doralice; DUQUE ESCOBAR, Gonzalo et Al (2009). Reporte técnico. Corpocaldas, Manizales.
- Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná en el departamento de Caldas – Síntesis del diagnóstico del POMCA Chinchiná. CORPOCALDAS – ASOCARS – UN.
- Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Campoalegre: fase prospectiva. ORTIZ ORTIZ, Doralice; DUQUE ESCOBAR, Gonzalo et Al (2008). Reporte técnico. Comisión Conjunta CORPOCALDAS – CARDER – UAESPNN. Manizales.
- Plan Estratégico Intermodal de Infraestructura De Transporte PEIIT. Ministerio de Transporte (2014).
- Plan Estratégico Intermodal y Plan Maestro de Transporte. Juan Martin Caicedo (2015) Cámara Colombiana de Infraestructura. In Foro: “La infraestructura logística y de transporte en el mundo y la articulación de Colombia”.
- Plan estratégico Macrocuena Magdalena-Cauca. Unión Temporal Macrocuencas Magdalena – Cauca y Caribe. Valoración Económica Ambiental S.A.S. EConcept. Optim Consult. 2018.
- Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) 2015-2035. Ministerio del Transporte de Colombia (2015).
- Plan Maestro Fluvial de Colombia – ARCADIS Nederland BV-JESYCA S.A.S. 2015.
- Plan Nacional de Desarrollo Minero con horizonte a 2025. Unidad de Planeación Minero Energética UPME 2017. Ministerio de Minas y Energía. REPUBLICA DE COLOMBIA
- Planeación preventiva y cultura de adaptación ambiental. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011).
- Planes de seguridad del agua: fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. Pérez Vidal, Andrea and Torres Lozada, Patricia and Cruz Vélez, Camilo Hernán (2009) Rev. Ingeniería e Investigación.
- Planificación del ordenamiento productivo y social de la propiedad. UPRA 2014. Min Agricultura, Colombia.
- Planteamiento y solución a un problema topográfico: problema “ALEPH”. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (1984). Intersección Cónica. U. N. de Colombia.
- Plataformas Logísticas y Transporte Intermodal en Colombia. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) In: Conferencia Martes de SAI de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, Auditorio de la SAI y Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño en Rionegro.
- Plegamientos y fracturamiento de rocas. RAMSAY, John G. Editorial H. Blume. España, 1977.
- Plusvalía urbana para viabilizar el POT de Manizales. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Foro-Debate: “Cargas y Beneficios en el POT de Manizales”, Concejo Municipal de Manizales.
- Pobreza y ruralidad cafetera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012). La Patria. Manizales.
- Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia 2010.
- Por La Aurora, invocando el principio precautorio. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2017) In: Concejo de Manizales.
- Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia: legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice (2013) Corporación Aldea Global, Pereira, Colombia.
- Política Ambiental y Minería en Colombia. Ministerio del Medio ambiente de, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia (2009).
- Política de modernización agropecuaria y rural. 1994-1998. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social. República de Colombia. Avances y ejecuciones en la región del occidente. Bogotá. 1995.
- Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia 2010.
- Por falta de bosques con el agua al cuello. DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo (2010) Red de Astronomía de Colombia RAC.
- ¿Por qué el Aeropuerto del Café? DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje] U. N. de Col.
- Prácticas, territorios y representaciones en Colombia, 1849-1960. CEBALLOS GÓMEZ, Diana Luz (2009) Universidad Nacional de Colombia. ISBN 978-958-44-5676-72.
- Prediagnóstico de aspectos geológicos. HERMELÍN, Michel y VELÁSQUEZ, Andrés. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín1985.
- Preocupante minería en páramos. Santiago Valenzuela A. | 2015. El Colombiano. Medellín.
- Preparados ante un tsunami. Cuadernos de trabajo para el docente. Comisión Colombiana del Océano CCO (2011). Colombia.
- Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2019). In: Encuentro Regional de los EAT de la Ecorregión Cafetera de Colombia, Manizales.
- Prévenir et gérer les risques naturels au niveau local pour le développement durable des territoires. Henri De Choudens (2008) Institut des Risques Majeurs. IRMa-Grenoble. Francia.
- Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2019) U.N. de Colombia.
- Principios de estratigrafía. Blandón Montes, Astrid (2002) Documento de trabajo. - Principles of Geomorphology. THORNBURY, William D. Wiley International Edition. (Sec, Ed.). New York 1969.
- Problema “ALEPH”: planteamiento y solución a un problema topográfico. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (1984).
- Problemática ambiental. Jorge Julián Vélez Upegui (2016). Ed Universidad Nacional de Colombia.
- Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Ruben Darío and Ortiz Ortiz, Doralice and Vela Murillo, Norma Patricia and Orozco Muñoz, José Miguel (2014) Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. CARDER, Corporación Aldea Global, CAR socias del proyecto. Pereira.

- Procesos Factores y Causas de Inestabilidad de Taludes y Laderas. MONTERO, Juan. Curso de Estabilidad de Taludes. U. Nal- MOPT. Santafé de Bogotá, 1992.
- Pronóstico ENSO Dic-2019. International Research Institute for Climate and Society IRI y el Climate Prediction Center CPC de la NOAA CPC-IRI. Enero 9 de 2020.
- Propuesta de técnica para la determinación del comportamiento del terreno en excavaciones subterráneas con base en un túnel exploratorio: Caso túnel de la línea. Pérez Pérez, Diana Marcela (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Propuesta metodológica para la definición del límite de la ronda hidráulica de la cuenca media del río Magdalena. GAITÁN CAMPOS, JORGE E. (2016). Escuela Colombiana de Ingeniería JGA.
- Programa de prevención sísmica para Medellín PNUD- Universidad EAFIT. Estudio de la amenaza, zonificación, análisis y vulnerabilidad sísmica para Medellín, Medellín, 1994.
- Programa para la Prevención y Atención de Desastres de Manizales, PADEM. Investigación. 1992.
- Propagación de olas e inundación por tsunamis: análisis numérico de una solución. Mario Andrés Yandar Lobón. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia. 2015.
- Propiedades ingenieriles de los suelos. MARQUEZ, Gabriel. U.Nal.de C. Medellín, 1978.
- Propuesta de un Plan minero-Industrial de Caldas 2006-2016. POVEDA RAMOS, Gabriel. Gobernación de Caldas & Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Medellín, mayo de 2006.
- Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de volcanes y sus amenazas. Gil Cifuentes, Paola Carolina (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia. Martínez Prada, Renson Jesús (2010) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Propuesta Metodológica para los Análisis de Vulnerabilidad. Informe de Consultoría Cardona, Omar Darío; Hurtado, Jorge Eduardo. Proyecto UNDRO/ACDI/ONAD para la Mitigación de Riesgos en Colombia. Inédito. Cali, 1990.
- Propuesta Metodológica para la Microzonificación de Manizales; Investigación, Grupo de Trabajo Académico GVTG, 2002/03.
- Prospectiva energética del Eje Cafetero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 1991. Programa: Caldas Siglo XXI – U.N. -C R E C E.
- Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. (Vol 2) Richard L Snyder; J. Paulo de Melo-Abreu y Scott Matulich. FAO 2010.
- Proyecto de la Red Sísmica del Eje Cafetero. Investigación. Manizales, 1992/00.
- Publicaciones Insugeo: Conicet y Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
- Puertos para el siglo XXI en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2008) In: Manizales.
- Puertos y transporte marítimo en América Latina y el Caribe: un análisis de su desempeño reciente. Ricardo J. Sánchez. Cepal – UN. Chile 2004.
- Pyroclastic rocks. TILLING, Robert I. 1991. Geologist, Branch of Igneous and Geothermal Processes, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California.
- Quaternary eruptive history and hazard-zone model at Nevado del Tolima and Cerro Machin volcanoes, Colombia. Thouret, Jean-Claude; Cantagrel, J-M; Robin, C.; Murcia, A.; Salinas, R.; Cepeda, H. Journal of volcanology and geothermal research. Medellín. 1995.
- ¿Qué es Adaptación al Cambio Climático? CARE Internacional. Documentos sobre Cambio Climático. [Disponible online]. U.N. de Colombia Sede Manizales.
- ¿Qué es la Tierra? TAKEUCHI-UYEDA-KANAMORI. Editorial Orbis. España, 1986.
- ¿Qué hacer con la vía al Llano? Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación. Razón Pública. Bogotá.
- ¿Qué hacer frente a los problemas ambientales? Coupé, Françoise (1989) In: Problemática ambiental del Valle de Aburrá. Concejo de Medellín, Medellín, Colombia, pp. 71-77.
- ¿Que se nacionalice la Drummond! Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria, Manizales.
- Química de los procesos pedogenéticos. Zapata Hernández, Raul Darío (2006) Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Medellín. ISBN 9583398667.
- Radiación Solar. IDEAM.
- Realidad y conflictos en el Páramo de Santurbán. Jorge Castellanos Pulido_2017. Instituto De Estudios Para El Desarrollo Y La Paz – INDEPAZ – Bucaramanga, Santander.
- Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima, ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.
- Reflexiones sobre el POT de Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Reflexiones sobre tecnología y medio ambiente. Duque Escobar, Gonzalo (1993) Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Reforma agraria y poder estatal (1958-1980). Camilo Andrés Acero Vargas (2018) Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Colombia.
- Región, espacio y territorio en Colombia. VARGAS, G M; OFFEN, K; CHAPARRO, J; ESPINOSA, M A; AVELLA, F; RAMÍREZ, F O; OSORIO, F; SÁNCHEZ, F V; LEÓN, N; AND RODRIGUEZ, B; CASTIBLANCO, ANDRÉS; VARGAS, G; ESPINOSA, J O; BOCCHETTI, C. (2006) Conferencias en geografía. U. Nacional de Colombia.
- Regiones Naturales de Colombia. MARTÍNEZ, Andrés. Colombia es mi Pasión, en:
- Regiones y Ciudades en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007) U.N. de Colombia
- ¿Regresión ambiental en la Reserva de Río Blanco? DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2017) La Patria, Manizales.
- "Relación entre la cantidad de lluvia y la ocurrencia de deslizamientos en la carretera Manizales – Chinchiná". LLANO GARCÍA, Jaime Alberto y RESTREPO RIVERA, Jhon Belisario. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2.000.
- Relaciones entre vivienda, ambiente y hábitat. Moreno Jaramillo, Cecilia Inés (2002) In: Catedra La Vivienda y El Hábitat Sostenible, 9-10 Diciembre 2002, Bogotá, Colombia
- Relaciones lluvias – deslizamientos y zonificación geotécnica en la comuna dos de la ciudad de Manizales. ARANGO GARTNER, Juan David. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas. 2.000.
- Relaciones ONG y Estado en Desarrollo Sostenible. Carmen Candelo, Eloy Corrales, Absalón Machado y Carlos Salgado. Seminario Taller Internacional. CINEP-IICA. Bogotá. 1995.
- Rentas mineras por países (% del PIB). Medición del desarrollo sostenible en el nuevo milenio (Banco Mundial, 2011).
- Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua. ENA 2018. IDEAM: Bogotá, D.C., 2018.
- Retrospectiva histórica de la minería en Marmato. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) PNC. Periódico de la Policía Nacional de Colombia (nº 9).
- Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Apoyo Académico – Ingenierías. SALAZAR TRUJILLO, Jorge Eduardo (2007) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- Resumen de: América Latina: subdesarrollo o revolución. GUNDER FRANK, Andre. México, 1963.

- Réunion d'experts sur la mesure du commerce électronique pour le développement de l'économie numérique". SABAG, VERGARA, Alejandro. Conférence Des Nations Unies Sur Le Commerce Et Le Développement. Salle XXVI, Palais des Nations, Genève 8-10 septembre 2003.
- Riesgo en zonas andinas por amenaza volcánica. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2006) Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (1995) In: VII Curso Internacional sobre Microzonificación y su Aplicación al Planeamiento Urbano para la Mitigación de Desastres- CISMID, 16 de Octubre al 10 de Noviembre de 1995, Lima, Perú.
- Riesgo sísmico: los terremotos. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007) In: III Foro científico colosario 75 años. Riesgo Volcánico del Ruiz, Realidades e Hipótesis, DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Boletín de Vías N° 56. Universidad Nacional de Colombia, 1986.
- Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) UN Periódico.
- Riesgo sísmico: los terremotos. Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: III Foro Científico Colosario 75 años – Área de Matemáticas, Neira, Caldas 2007. Act. 2018.
- Riesgos ambientales: Apuntes para una nueva perspectiva desde la construcción social del espacio. Mendoza Peñuela, Carolina; Sánchez Calderón, Fabio Vladimir Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2004.
- Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2018) UN Periódico. ISSN 16570987
- Riesgos y vulnerabilidad: un enfoque de actuación en lo urbano. Moreno Jaramillo, Cecilia Inés and Múnera Brand, Ana Mercedes (2000) In: Enfoques y metodologías sobre el hábitat: U. N. de C. CEHAP, Medellín.
- Riosucio mestiza e indígena. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014). La Patria.
- Río Blanco como área de interés ambiental. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018). SMP Manizales-UN de C.
- Río Blanco, cuna de vida... DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) In: II Encuentro Internacional de Paisajes Culturales– Manizales.
- Río Blanco: el legado de Conrado Gómez Gómez. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2017) La Patria.
- Río Cauca: características, ubicación, mapa, y más. In Ríos del Planeta. Consultado el 19/09/2019.
- Río Cauca: la geografía económica de su área de influencia. G. J. Pérez-Valbuena; A.M. Arrieta-Arrieta; J. G. Contreras-Anayaii. (2016) Centro de Estudios Económicos Regionales del B. de la R.
- Rock Slope Engineering. HOEK, Evert and BRAY, John. IMM. London, 1977.
- Rutas para la Alianza Pacífico: ferrocarriles e hidrovías clave para Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014).
- Ruralidad y conflicto en Colombia. Jair Preciado Beltrán (2006). U. Distrital, Bogotá.
- Salamina patrimonial y emblemática. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) La Patria. Manizales.
- Samaná, tierra de agua y miel. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) Documentación. La Patria, Manizales.
- Samoga: el Museo Interactivo. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) Centro de Museos de la U. de Caldas, Manizales.
- Sector minero en Colombia: Crecimiento sostenible y competitividad Carolina Rojas. 2018 ANDI. Colombia
- Sector Transporte. Colombia: Desarrollo Económico Reciente en Infraestructura. Balanceando las necesidades sociales y productivas de infraestructura. Germán Ospina. Banco Mundial. 2004.
- Seis diálogos con el territorio. 2012. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Escuela de Arquitectura U.N. (Recopilación)
- Seis girasoles emblemáticos para la problemática socioambiental de Caldas. Gonzalo Duque Escobar (2013) Partido Verde de Caldas.
- Seguridad vial en túneles. Manuel Romana Ruiz. (2006) UPV. Comité de Explotación de Túneles, C 3.3 de PIARC.
- Seminario Internacional de Manejo Sanitario en Situaciones de Desastre. Universidad Javeriana- OPS- ACODAL- Ministerio de salud de Colombia. Melgar. 1991.
- Significado y desafíos del regreso del tren. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria,
- Simulación geoestadística aplicada al modelamiento de yacimientos de petróleo. Castaño Agudelo, Andres Felipe and Vergara Elorza, Francisco (2004) Pregrado thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Simulaciones numéricas de propagación de tsunami para la costa pacífica de Colombia. Jhon Henry Caicedo, Bruno Martinelli, Hansjürgen Meyer, Julián Augusto Reyna M. (1994). Universidad del Valle, OSSO; Cuerpo Suizo de Socorro; Centro de Control de Contaminación del Pacífico -CCCC, DIMAR, Armada de la República de Colombia.
- Sinergia y pertinencia en las ciencias básicas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) Circular RAC 599.
- Sísmica y Tectónica de Colombia y Bucaramanga. ACOSTA, Carlos E. Primera Conferencia Regional de Geotecnia del Oriente Colombiano. Bucaramanga, 1977.
- Sismo, bahareque y laderas DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (1999) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]
- Sismos y volcanes en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010) Documento de trabajo. U. N. de Colombia.
- Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2012. [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] U.N. de Colombia.
- Sistema Bimodal Cafetero: ferrocarril y carretera para integrar la Región Andina. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) Universidad Nacional de Colombia.
- Sistema cárstico de la Formación Rosablanca cretácico inferior, en la provincia santandereana de Vélez, Colombia. Mendoza, Jaime E, Moreno Murillo, Juan M, Rodríguez Orjuela, Gustavo. Geología Col. Vol. 34 (2009)
- Sistema Férreo Nacional/ Transporte Fluvial. Seguimiento a Proyectos de Infraestructura. Informe Dirección Técnica. CCI. Agosto 14 de 2012.
- Sistema Ferroviario para la Región Andina de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2015). Manizales.
- Sistema multimodal en la Región Andina: Propuestas para PND 2014 - 2018. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2015), Alma Mater. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, República de Colombia.
- Sistema Urbano y Ciudad Región del Eje Cafetero. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: Sesión Conjunta de Concejos Municipales de la RAP del Eje Cafetero, 26 de Noviembre de 2018., Termales El Otoño, Manizales.
- Sistematización de Experiencias y Estrategias de los Planes de Acción Inmediatos la cuenca del río Guarínó y la Charca de Guarinocito. Vela Mo, Norma Patricia and Duque E, Gonzalo and Ortiz O, Doralice (2012) Manizales.
- Situación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en Colombia. Mauricio Alfonso Rubio (2013) MINTIC.
- Sobre Hombros de Gigantes. HOYOS PATINO, Fabián. Hombre Nuevo Editores E. U. Colombia. 2001.
- Sobre Río Blanco: los derechos y la reserva protectora. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: Audiencia con el Procurador del Medio Ambiente, Martes 6 de Marzo de 2018, Procuraduría Regional de Caldas. Manizales.

- Sociedad y Medio Ambiente. Subregión 1 en Risaralda. O. Arango; C.A. Caro; F. Maldonado; M. Pabón; P. Pineda; G. Rodríguez; V. Zuluaga. Carder-Facultad de Ciencias ambientales. UTP. Pereira. 1998.
- Soil Testing for Engineering, T.W. Lambe. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1951. Reed 1986.
- Sol. clima y calentamiento global, Duque Escobar, Gonzalo (2014). La Patria.
- Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. WWDR 2018. Resumen ejecutivo. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. ONU.
- Stephen Hawking. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) In: Año Internacional de la Astronomía IYA 2009, Observatorio Astronómico de Manizales.
- Stratigraphy and quaternary eruptive history of the Ruiz-Tolima volcanic massif, Colombia. Thouret, Jean-Claude; Murcia, A; Salinas, R; Parra, E; Cantagrel, Jean-Marie. Symposium international géodynamique andine. Paris, 1990.
- Stratigraphy of volcanic ashes from Southern Antioquia, Colombia: Possible climatic implications. TORO VILLEGAS. Gloria Elena (1993) Colombia Quaternary Of South America And Antarctic Peninsula. V.8.
- Structural imprints at the front of the Chocó-Panamá indentor: Field data from the North Cauca Valley Basin, Central Colombia. SUTER, F., SARTORI, M., NEUWERTH, R. & GORIN, G. 2008. Tectonophysics, Volume 460.
- Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Bases para el Plan de Desarrollo de Caldas 2016-2019. CROT de Caldas.
- Suelos de la zona cafetera. GRISALES, Alfonso. Fondo Cultural Cafetero, Volumen 4., Edl Bedout Bogotá, 1977.
- Suelos. Indicadores. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Colombia.
- Sulfur dioxide from Nevado del Ruiz volcano, Colombia: Total flux and isotopic constraints on its origin. WILLIAMS Stanley, STURCHIO Neil, CALVACHE Marta Lucia, MENDEZ RICARDO A, LONDONO Adela, GARCIA Nestor. Holanda Journal Of Volcanology And Geothermal Research. Elsevier V.42. Superstorms: Extreme Weather in the Heart of the Heartland. SWAILS, Terry. 2005. Farcountry Press.
- Supía: 475 años bajo la tutela del cerro Tacón. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2015) La Patria, Manizales.
- Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels. Federal Highway Administration FHWA (2009)
- Tecnología alternativa. DICKSON, David. Divulgación Científica. Muy Interesante. Orbis. España, 1985.
- Tecnología para calcular riesgos naturales. Agencia de Noticias UN (2015)
- Tecnologías para el Estudio de Amenazas Naturales en el Medio Andino. SPETERS, Robert. Notas de la Charla. ITC y DTU de Holanda. Jueves 30 de marzo de 1991, U.N. de Col.
- Tecnología y territorio: punto de inflexión del conflicto urbano. Zuleta Ruiz, Fabián Beethoven and Rueda Bedoya, Rafael Fernando (2000). Ensayos Forum (15). Universidad Nacional. CEHAP Sede Medellín.
- Tectónica de fracturas en el suroeste de Colombia. Acosta A., Carlos E. (1986) Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences; Vol. 15.
- Temas cívicos para agendas de desarrollo regional. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012). SMP Manizales.
- TEMAS DE AGENDA PUBLICA PARA MANIZALES Y CALDAS. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (Comp).
- TEMAS DE CALDAS. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (Comp)
- TEMAS DE ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (Comp)
- TEMAS ECONÓMICOS DE INTERÉS PARA CALDAS. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (Comp)
- TEMAS HIDROGEOLÓGICOS Y AMBIENTALES AFINES. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (Comp)
- Temas rurales para la ecorregión cafetera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011). La Patria. Minizales.
- TEMAS VERDES PARA LA ECORREGIÓN CAFETERA... DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (Comp)
- Templanza y solidaridad frente al desastre. Duque Escobar, Gonzalo (2010) Ed. RAC
- Teoría Económica: Fundamentos de CTS. Gonzalo Duque-Escobar (2006) Universidad Nacional de Colombia.
- Teoría Económica: Economía general. Gonzalo Duque-Escobar (2006) Universidad Nacional de Colombia.
- Teoría Económica: Macroeconomía. Gonzalo Duque-Escobar (2006) Universidad Nacional de Colombia.
- Teoría Económica: Microeconomía. Gonzalo Duque-Escobar (2006) Universidad Nacional de Colombia.
- Teoría General de Sistemas. VAN GIGCH, John P.. Ed. Trillas. México. 1990.
- Tercera versión del Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Nevado Ruiz. OVM Ingeominas (2015) In: Conmemoración de los 30 años de la erupción de 1985.
- Tercera vía y desarrollo en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria. Manizales, Colombia.
- Termocronología y geocronología del basamento metamórfico del Macizo de Santander, Departamento de Santander. Amaya Ferreira, Sergio (2016) Doctorado thesis; Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. RETREPO, J. & TOUSSAINT, J. 1988. Episodes, Vol. 11, N° 3.
- Terremotos en el occidente colombiano. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2019). Manizales, Colombia.
- Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) In: Celebración de los 102 años de fundación de la SMP de Manizales, Junio 27 y 28, Aud. SMP, Manizales.
- Territorios para el desarrollo socioambiental de Manizales y Caldas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) In: Ministerio del Interior: Agenda Legislativa de Modernización Territorial, Manizales.
- Textos "verdes". Recopilación de Documentos con coautoría de Gonzalo Duque Escobar. U.N de Colombia.
- The great Tumaco, Colombia earthquake of 12 December 1979. HERD, D. G.; YOUD, T.L.; MEYER, H; ARANGO, J.L. and PERSON, W. SCIENCE, Vol. 211, N° 4481, p. 441- 445.
- The Magdalena River: Master Plan. Hidrochina 2013. Cormagdalena.
- The Mechanic of Soil, ATKINSON, J H and BRANSBY, P L . Ed. Mc Graw Hill. 1985.
- The Potential Impacts of the Panama Canal Expansion and Evolving Post-Panamax/Super PostPanamax Container Ship Routes on Michigan Freight and Hub Logistics. J. D. Snyder. Kevin Doyle / Pardeep Toor. (2013) Michigan State University.
- The Quebradagrande Complex: A Lower Cretaceous ensialic marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. NIVIA, A., MARINER, G., KERR, A. & TANEY, J. 2006. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 21.
- Tiempo y Clima. TOHARIA, Manuel. Colección Salvat. España, 1985.
- Tierra y ruralidad en Colombia. Duque-Escobar, Gonzalo (2020). Contexto en CTS de la U. N. de Colombia- Manizales.
- Tipos de Ecosistemas. Región Andina. Ministerio del Medio Ambiente. Colombia.
- Topología de áreas no polarizadas. ORTIZ, Ángel Ignacio y RODRIGUEZ, Mario G. Análisis Geográficos. IGAC. Bogotá. 1984.
- Transformaciones agrarias y luchas campesinas en Colombia. León Zamosc (1992) Universidad Nacional de Colombia.

- "Transient Cenozoic tectonic stages in the southern margin of the Caribbean plate: U-Th". CARDONA, V. VALENCIA, J. DUQUE, CAMILO MONTES RODRIGUEZ, P. REINERS, K. DOMANIK, S. NICOLESCU, V. VILLAGOMEZ. (2011). *Geologica Acta: An International Earth Science Journal*. USA.
- Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. Juan Camilo Restrepo-López; Juan Carlos Ortiz –Royer; Luis Otero-Díaz; Silvio Raul Ospino-Ortiz. (2015) *Revista Academia Colombiana de Ciencias* Vol. 39 Núm. 153.
- Transporte y territorio urbano: del paradigma de la causalidad al de la dialéctica. Carme Miralles-Guasch. Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona. España, 2001.
- Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible? DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2019). Razón Pública, Bogotá.
- Túnel Cunday para la Transversal Cafetera en Caldas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) Vía Manizales-Honda: Conversatorio SCIA, Manizales.
- Túnel de La Línea. Duque Escobar, Gonzalo (2020). Documento SMP Manizales-UN de Colombia.
- Túnel Manizales. DUQUE E., Gonzalo; DUQUE E., Eugenio. (2010) In: XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, SCG – U.N. de Col. 21-24 de Sep 2010, Manizales.
- Túneles en roca blanda. DUQUE E., Gonzalo; DUQUE E., Eugenio. U.N. de Colombia.
- TUNELES: videos y documentos. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (Rec)
- UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2015) Museo Interactivo Samoga. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Un canal bioceánico por el Chocó biogeográfico. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) In: I Seminario-Taller Internacional sobre el Canal Interoceánico del Chocó, U. Tecnológica de Chocó.
- Un canal Interoceánico por el Chocó biogeográfico. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: I Seminario-Taller Internacional sobre el Canal Interoceánico del Chocó, Universidad Tecnológica de Chocó, Quibdó.
- Un contexto para el puerto de aguas profundas en Tribugá, Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2007) Consejo Municipal de Manizales. U. N. de Col. Manizales.
- Un contexto para el turismo caldense en el entorno de Pacífico Tres. In: Proyección Turística de la Región del Centro y Occidente de Caldas – II Encuentro, viernes 23 de agosto de 2019, Centro Recreacional La Rochela. Santágueda (Palestina), Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2019)
- Un diálogo con el Paisaje Cultural Cafetero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) 53º Congreso Nacional SMP,
- Un "ferrocarril verde" para articular los mares de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) La República.
- ¿Un mega-puerto en bahía Málaga? DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010). Manizales, Caldas, Colombia.
- Un millón de hogares campesinos en Colombia tienen menos tierra que una vaca. Antonio Paz Cardona / Mongabay Latam (2018) Semana sostenible. Colombia.
- Un nuevo modelo educativo. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria, Manizales.
- Un nuevo modelo urbano. Duque Escobar, Gonzalo (2012) La Patria
- Un pacto con la sociedad y la naturaleza. Duque-Escobar, Gonzalo. Documento de soporte para la propuesta de la Federación Nacional de SMP de Colombia. Mayo - 2020.
- Un país con grandes retos ambientales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2019). Museo Interactivo Samoga, Manizales.
- Un Plan de Acción para encausar el megaproyecto San José. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2019) In: Cabildo Abierto de la Comuna de San José. Colegio de la Divina Providencia. Manizales.
- Un plan maestro de transporte "multi" pero no intermodal. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria.
- Un río difícil. El Magdalena: historia ambiental, navegabilidad y desarrollo – Memorias. Márquez Calle, Germán (2016) *Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe*, núm. 28, Universidad del Norte Barranquilla, Colombia.
- Un SOS por la bambusa guadua. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) La Patria. Manizales.
- Un SOS por los derechos de la Reserva de Río Blanco. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) Documento UN-SMP de coadyuvancia para la defensa de la Reserva de Río Blanco. [Objeto de aprendizaje – Teaching]
- Un territorio forjado en oro y café. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2013) La Patria. Manizales
- Un tren andino para la hidrografía del Magdalena. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2015).
- Una aproximación a las condiciones que explican la dinámica fluviomorfológica del río Cauca en su Valle Alto. Soto Chávez, Claudia Yiselly (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Una Aproximación Microeconómica a los Determinantes de la Elección del Modo de Transporte. Pablo Marcelo García. Centro de Estudios para la Producción. Argentina, 2002.
- Una comparación de la tectónica de basamento de las cordilleras Central y Oriental: respuesta. Kammer, Andreas and Mojica, Jairo (1997) *Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences*; Vol. 22
- Una lectura al PCC desde Pijao. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) U.N. de Colombia. Pijao, Quindío.
- Una mirada a los mares de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2019) La Patria, Manizales.
- Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2012) Documento de discusión. Manizales.
- Una salida al mar para el occidente colombiano. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2009) In: 2º Congreso Alianza Antioquia-Eje Cafetero de SMP, Mayo 22 a 24 de 2009, Envigado.
- Una Visión del Recurso Agua desde la Dinámica Fluvial. Vélez Upegui, Jorge Julián (2009) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Una visión de transporte urbano sostenible en Colombia. Duarte Carvajal, Eduardo (2009). UN Sede Medellín.
- Una visión sistémica del Aeropuerto del Café – Aerocafé. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2017) Palestina, Caldas.
- Universidad, educación y región. Duque Escobar, Gonzalo (2012) La Patria, Manizales.
- Urabá frente a los mares de Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Urban Transportation Economics. Small, K. (1992). Vol. 51 of *Fundamentals of Pure and Applied Economics series*.
- Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero. Rodríguez J M., Camargo J C., Niño J. Pineda A M., Arias L M., Echeverry M A., Miranda C L., (eds). 2009. CIEBREG. Pereira.
- Urbanismo, naturaleza y territorio en la Bogotá Republicana. 1810-1910. Palacio Castañeda, Germán A. (2012) In: Ciudad y naturaleza: tensiones ambientales en Latinoamérica, siglos XVIII-XXI. Estudios Urbanos y Ambientales (3). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- Utilización combinada de los Recursos Hidráulicos de la Hoya Hidrográfica del Alto Cauca y la Vertiente del Pacífico. Germán Oromas. R. ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. Vol XXVII - Bogotá, 1972 - N 104.
- Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero. Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos. CIEBREG (2009). Pereira, Colombia.

- Valoración Económica de la calidad ambiental. Diego Azqueta Oyarzun. Mc Graw Hill. España. 1994.
- Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia. IDEAM – UNAL. Bogotá, D.C., 2018.
- Variabilidad de las anomalías de caudales medios mensuales con el área de la cuenca. Góez Arango, Catalina y Poveda Jaramillo, Germán (2004). Universidad Nacional de Colombia.
- Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2011) El Andino.
- Vida y desarrollo para el territorio del Atrato. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2017) La Patria.
- Visión Colombia Segundo Centenario: 2019. DNP (2019), Bogotá, Colombia.
- Visión prospectiva del Aeropuerto del Café. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) In: Sesión del Concejo Municipal de Palestina sobre Aero-café. Jueves 18 de Agosto de 2016, Caldas.
- Visión retrospectiva y prospectiva del desarrollo regional. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2010) U. N de Col.
- VOLCANES.... DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de C (Rec)
- Volcanic hazard maps of the Nevado del Ruiz volcano, Colombia. Héctor Cepeda Vanegas y Eduardo Parra P. (1989) Journal Of Volcanology And Geothermal Research. Ed: Elsevier. USA.
- Volcanoes. Gordon A. Macdonald. University of Hawaii. Prentice Hall, Inc 1971.
- Volcanoes. MACDONALD, Gordon A. University of Hawaii. Prentice Hall, Inc. 1972.
- Volcanoes of the world. SIMKIIN T., SIEBERT L., MCCLELLAND L., BRIDGE D., NEWHALL D., LATTER J.H.. Smithsonian Institution, USA. 1968.
- Volcanoes. Williams and McBirney. Freeman, Cooper & Co. San Francisco CA USA. 1979.
- Volcanology. McBIRNEY A.R. and WILLIAMS H. Freeman, Cooper & Co.. San Francisco. 1979.
- Vulcanitas del SE-de Colombia: retro-arco alcalino y su posible relación con una ventana astenosférica. Carlos Alberto Borrero Peña (2006). Boletín De Geología ed: Ediciones UIS. Col.
- Vulnerabilidad de Río Blanco frente a la expansión urbana. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Documento UN-SMP Manizales. [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia.
- Vulnerabilidad de las laderas de Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2017) Presentación ante la Comisión Cuarta del Concejo de Manizales, del Jueves 13 de Mayo de 2017.
- Vulnerabilidad: El Entorno Social, Político y Económico de los Desastres. Blaikie, Piers et al. (1996) La Red. IT Perú. Tercer Mundo Editores, Colombia.
- Vulnerabilidad y uso de la planicie de inundación. ARBELÁEZ ARBOLEDA, Ana Cecilia and POSADA GARCÍA, Lilian and VÉLEZ OTÁLVARO, María Victoria (2002) In: XV Seminario Nal de Hidráulica e Hidrología, Medellín.
- Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. OPS. PAHO, 1997 Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.
- XI Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. SCI 25 años, Bogotá, Octubre de 2001.
- ¿Y qué es eso, desarrollo sostenible? Gustavo Wilches-Chaux. (2007) Segunda edición. NBP, In: MinAmbiente.
- Yuma, el río de Colombia impactando el territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2011) U.N. de Colombia, Sede. Manizales, Colombia.
- Zonas de Reserva Forestal en Colombia. UPME.
- Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia. Nelson Omar Vargas Martínez (2005). IDEAM.
- Zonificación Ambiental POMCA de la Cuenca Hidrográfica del Río Chinchiná. CORPOCALDAS, ASOCARS, Universidad Nacional Sede Manizales. Julio, 2015.
- Zonificación del uso de microcuencas urbanas como base para el ordenamiento territorial. BOTERO FERNÁNDEZ, Verónica and SMITH QUINTERO, Ricardo Agustín and PATINO Q., Jorge Eduardo (2004) In: XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 18-10-22 de octubre, Brasil.
- Vulnerabilidad de Río Blanco frente a la expansión urbana. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2018) UN-SMP Manizales.
- Vulnerabilidad: El Entorno Social, Político y Económico de los Desastres. Blaikie, Piers et al. (1996) La Red. IT Perú. E-Tercer Mundo, Colombia.
- Vulnerabilidad urbana: evaluando los nuevos factores de riesgo en Lima metropolitana. Oxfam América (Perú) 2015. Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-06659.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2010

<p>Anexo 1: <i>Geomecánica.</i></p> <p>Anexo 2: <i>Geotecnia para el trópico andino.</i></p> <p>Anexo 3: <i>Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.</i></p> <p>Anexo 4: <i>Riesgo sísmico: los terremotos</i></p> <p>Anexo 5: <i>Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial</i></p> <p>Anexo 6: <i>El desastre de Amero por la erupción del Ruiz</i></p> <p>Anexo 7: <i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></p> <p>Anexo 8: <i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia</i></p> <p>Anexo 9: <i>Túnel Manizales</i></p> <p>Anexo 10: <i>El futuro de la ciudad</i></p> <p>Anexo 11: <i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></p> <p>Anexo 12: <i>Albert Einstein en los cien años de la TGR.</i></p> <p>Anexo 13: <i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></p> <p>Anexo 14: <i>Cultura y Astronomía (CyA)</i></p> <p>Anexo 15: <i>Astrofísica y Estrellas</i></p> <p>Anexo 16: <i>El camino a las estrellas.</i></p> <p>Anexo 17: <i>Mecánica planetaria.</i></p> <p>Anexo 18: <i>Tiempo y Calendarios.</i></p> <p>Anexo 19: <i>La Luna</i></p> <p>Anexo 20 <i>Guía astronómica</i></p>	<p>Anexo 21: <i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico</i></p> <p>Anexo 22: <i>Navegando el Río Grande de la Magdalena</i></p> <p>Anexo 23: <i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></p> <p>Anexo 24: <i>El Río Cauca en el desarrollo de la región</i></p> <p>Anexo 25: <i>Introducción a la teoría económica</i></p> <p>Anexo 26: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 27: <i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i></p> <p>Anexo 28: <i>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio</i></p> <p>Anexo 29: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 30: <i>Preservación Ambiental e Hídrica y PCCC.</i></p> <p>Anexo 31: <i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT</i></p> <p>Anexo 32: <i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></p> <p>Anexo 33: <i>La economía en la era del conocimiento.</i></p> <p>Anexo 34: <i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i></p> <p>Anexo 35: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 36: <i>Fundamentos de economía y transportes.</i></p> <p>Anexo 37: <i>Colombia intermodal: hidro vías y trenes</i></p> <p>Anexo 38: <i>UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga</i></p> <p>Anexo 39: <i>Textos "verdes"</i></p> <p>Anexo 40: <i>Videos del autor.</i></p>
---	---

HOME:

Manual de geología para ingenieros

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

