



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Serie: Estudios de Biodiversidad 6

ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA VEGETAL

Las plantas son seres vivos indispensables para el equilibrio de los ecosistemas; son el primer eslabón de la cadena trófica, sin su presencia los otros seres vivos no existirían y el planeta sería triste y desolado; ellas son los únicos seres vivos capaces, en el proceso fotosintético, de absorber el CO₂ atmosférico, liberar oxígeno, mitigar el cambio climático, y además, elaborar alimentos válidos para sí y para los otros seres vivos; proveen principios activos para la elaboración de fármacos y desde siempre, como parte de la cultura, han servido para las prácticas de prevención y curación de enfermedades de la población humana y animal; un número considerable de especies producen sustancias que actúan como insecticidas importantes para las prácticas agroecológicas; proporcionan materia prima para la industria de la madera; y, son indicadoras de la contaminación y sirven para remediación. La valía de las plantas resalta en toda gestión humana, por lo tanto es necesario conocerlas a través de estudios de observación y descripción. Esta obra contiene las bases de anatomía y morfología y está destinada a apoyar a estudiantes secundarios y universitarios, así como a técnicos e investigadores de las ciencias naturales, pese a que la tarea de comprender la valía de las plantas no es exclusividad de un sector de las ciencias biológicas, sino de toda la humanidad.

ISBN-13: 978-9978-355-57-2



9 789978 355572

ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA VEGETAL

ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA VEGETAL



Guillermo A. Chuncho V.
Carlos G. Chuncho M.
Zhofre H. Aguirre M.

Anatomía y morfología vegetal

Guillermo A. Chuncho V.

Carlos G. Chuncho M.a

Zhofre H. Aguirre M.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Ph. D. Nikolay Aguirre

Rector UNL

Ph. D. Mónica Pozo Vinueza

Vicerrectora Académica

Ph. D. Max Encalada Córdova

Director de Investigación

ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA VEGETAL

Autores:

Guillermo A. Chuncho V.

Carlos G. Chuncho M.

Zhofre H. Aguirre M.

Citación:

Chuncho G., Chuncho C., y Aguirre Z. 2019. Anatomía y morfología vegetal. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 134 páginas

Revisión Par Académico:

Ing. Omar Cabrera Cisneros

Fani Tinitana, Ph.D.

ISBN-978-9978-355-57-2

Diseño e impresión:

EDILOJA Cía. Ltda.

Telefax: 593-7-2611418

San Cayetano Alto s/n

www.ediloja.com.ec • edilojainfo@ediloja.com.ec

Loja-Ecuador

Agosto, 2019

Loja, Ecuador

Dedicatoria

A la memoria de mis padres:

Carlos G. Chuncho S. y María N. Viñamagua B.

A mi esposa: María Rosario e hijos: Carlos Guillermo, Jack Daniel, Melina
Alexandra y Juan Carlos

Guillermo

A mi Dios y mis padres, por las inconmensurable enseñanzas en la extensión
del tiempo.

Carlos Guillermo

A Dios y mi familia

Zhofre

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, por la oportunidad de cumplir funciones académicas y hacer posible la publicación de esta obra, anhelo sentido para contribuir a la comprensión de jóvenes deseosos de conocer lo extraordinario de las plantas, sin en ellas nuestro planeta tierra sería desolado y triste.

A los Pares revisores:

Ing. Omar Cabrera Cisneros y Fani Tinitana, Ph.D. por su dedicación, tiempo y buenos comentarios sobre la presente obra

Los autores

Presentación

La presente obra “Anatomía y Morfología Vegetal”, está estructurada, con criterio pedagógico, en dos temas generales: importancia de las plantas y la ciencia para su estudio, la Botánica. En el primer tema se resalta las bondades o papel que desempeñan para beneficio del hombre y el ambiente. En el segundo tema, se aborda subtemas, como sistemática vegetal, solamente con enunciados generales. Se da mayor amplitud y énfasis a la morfología, que estudia la forma externa y organización interna de las plantas, que incluye a la citología e histología.

Los conceptos que se abordan en morfología son básicos pero importantes para motivar a estudiantes, especialmente de los niveles medios y superior, que se introducen a la campo de la biología y para aquellos que buscan su especialidad en el conocimiento de las plantas, pues la morfología, externa e interna, es la columna vertebral de la sistemática de la plantas, misma que permite entender, la diversidad, filogenia y evolución vegetal. Además, esta rama de la botánica al estudiar se entenderá los esquemas de clasificación y nomenclatura con fines comparativos entre taxones. Se resalta que el conocimiento de la forma y estructura de la planta es esencial para entender su funcionamiento.

Ademas, facilitará a aquellos estudiantes que se introducen a otras ramas afines a la biología, sin descartar a otras ramas del saber, pues el conocimiento de la importancia de las plantas es tarea de todos los seres humanos.

Esta obra, como particularidad, contiene un número de fotografía de plantas o sus partes de la flora ecuatoriana, distribuidas en 96 figuras, a full color.

Índice

Dedicatoria	5
Agradecimiento.....	7
Presentación	9
Índice	11
1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LAS PLANTAS.....	15
1.1. PRODUCEN ALIMENTO.....	16
1.2. PRODUCEN OXÍGENO	17
1.3. ABSORBEN CO ₂	17
1.4. PROPORCIONAN MATERIA PRIMA PARA LA INDUSTRIA.....	18
1.5. SON FUENTE DE ENERGÍA.....	19
1.6. TIENEN PRINCIPIOS ACTIVOS PARA LA MEDICINA	20
1.7. SON COMPONENTES FUNDAMENTALES DE LA BIOCENOSIS	22
1.8. PRODUCEN SUSTANCIAS PARA CONTROL DE PLAGAS EN LOS CULTIVOS.....	22
1.9. SON INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN Y SIRVEN PARA LA REMEDIACIÓN.....	23
2. BOTÁNICA.....	25
2.1. SISTEMÁTICA VEGETAL.....	25
2.1.1. Subreino thallobionta	26
2.1.1.1. Algas (Ficofitos)	26
2.1.1.2. Hongos	28
2.1.1.3. Líquenes.....	29
2.1.2. Subreino embryobionta	30
2.1.2.1. División Bryophytas	31
2.1.2.1.1. Hepáticas.....	31
2.1.2.1.2. Musgos.....	32
2.1.2.2. División Lycopodiophyta	32
2.1.2.3. División Equisetophyta o Sphenophyta	33
2.1.2.4. División Polypodiophyta	34
2.1.2.5. División Pinophyta	34
2.1.2.6. División Magnoliophyta (Angiospermas)..	35

2.2. MORFOLOGÍA.....	36
2.2.1. Citología.....	36
2.2.1.1. Definición de célula.....	36
2.2.1.2. Forma de las células vegetales.....	37
2.2.1.3. Tamaño de las células vegetales.....	37
2.2.1.4. Estructura de la célula vegetal.....	37
2.2.1.5. Descripción general de los componentes de la célula vegetal.....	38
2.2.1.5.1. Protoplasto.....	38
2.2.1.5.2. Pared celular.....	51
2.2.2. Histología.....	52
2.2.2.1. Meristemos.....	53
2.2.2.1.1. Origen.....	53
2.2.2.1.2. Características.....	53
2.2.2.1.3. Clases.....	54
2.2.2.1.4. Ubicación.....	55
2.2.2.1.5. Función.....	55
2.2.2.2. Tejido parenquimático.....	55
2.2.2.2.1. Origen.....	55
2.2.2.2.2. Características.....	56
2.2.2.2.3. Clases.....	56
2.2.2.2.4. Ubicación.....	57
2.2.2.2.5. Función.....	57
2.2.2.3. Tejido colenquimático.....	57
2.2.2.3.1. Origen.....	57
2.2.2.3.2. Características.....	57
2.2.2.3.3. Clases.....	58
2.2.2.3.4. Ubicación.....	58
2.2.2.3.5. Función.....	59
2.2.2.4. Tejido esclerenquimático.....	59
2.2.2.4.1. Origen.....	59
2.2.2.4.2. Características.....	59
2.2.2.4.3. Clases.....	59
2.2.2.4.4. Función.....	60
2.2.2.5. Tejido epidérmico.....	62
2.2.2.5.1. Origen.....	62
2.2.2.5.2. Características.....	62
2.2.2.5.3. Clases de células epidérmicas.....	63

2.2.2.5.4. Ubicación del tejido epidérmico .	64
2.2.2.5.5. Función.....	64
2.2.2.6. Peridermis	65
2.2.2.6.1. Origen	65
2.2.2.6.2. Características.....	65
2.2.2.6.3. Ubicación.....	66
2.2.2.6.4. Función	66
2.2.2.7. Tejido vascular.....	66
2.2.2.7.1. Origen	66
2.2.2.7.2. Clases y sus características	66
2.2.2.7.3. Ubicación.....	71
2.2.3. Anatomía y morfología de las plantas.....	71
2.2.3.1. Sistema radical.....	71
2.2.3.1.1. La raíz.....	72
2.2.3.2. Sistema caulinar	80
2.2.3.2.1. El tallo.....	81
2.2.3.2.2. La hoja.....	92
2.2.3.2.3. La flor	104
2.2.3.2.4. El fruto	112
2.2.4. La semilla.....	117
2.2.4.1. Definición.....	117
2.2.4.2. Tamaño de las semillas	117
2.2.4.3. Estructura de la semilla	117
2.2.4.3.1. Estructura de la semilla de las dicotiledóneas	117
2.2.4.3.2. Estructura de la semilla de las monocotiledóneas	119
2.2.4.4. Germinación de la semilla.....	119
2.2.4.4.1. Factores externos	120
2.2.4.4.2. Factores internos.....	120
2.2.4.5. Tipo de semillas de dicotiledóneas y monocotiledóneas.....	121
3. BIBLIOGRAFÍA.....	125

1.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LAS PLANTAS

Según Gray y Shear (2002) la vida se originó en los mares primitivos menos de mil millones de años después de que se formó la Tierra. Debieron pasar otros tres mil millones de años antes de que las primeras plantas y animales aparecieran sobre los continentes. Sin embargo, Cowen (s/f) sostiene que no se tiene idea de cuándo fue que las plantas colonizaron por primera vez la tierra firme. Seguramente debieron surgir en forma gradual del agua hacia la tierra, y las primeras plantas terrestres debieron haber sido en gran medida acuáticas, viviendo en pantanos y marismas. El aparecimiento de la plantas permitieron la creación de un ambiente propicio para la evolución de los animales con sus diferentes grados de organización. De lo expuesto se colige que las plantas jugaron y son parte fundamental en el proceso de la evolución de la tierra.

El estudio de las plantas es de vital importancia, su conocimiento permite, entre otras cosas, comprender la interacción con los otros seres vivos que habitan el planeta. Sin su presencia la tierra sería un planeta sombrío y desolado. Ningún organismo puede reemplazarlas en sus funciones.

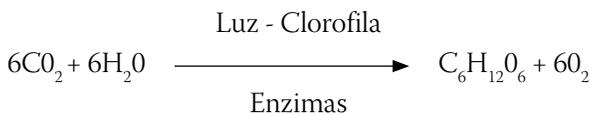
1.1. PRODUCEN ALIMENTO

En el proceso de la fotosíntesis, fenómeno fisiológico que permite el aprovechamiento de la luz solar, el agua absorbida del suelo a través de las raíces, el CO_2 y acción de enzimas, las plantas verdes sintetizan compuestos orgánicos: primero carbohidratos, luego grasas, proteína y vitaminas, que se constituyen en alimentos que sirven para las propias plantas, los animales y el hombre (Uribe, 1991).

De las plantas se utilizan como alimentos, sus raíces (yuca, camote, remolacha, rábano, zanahoria); sus tallos (tubérculos de papas); sus hojas (col, lechuga, espinaca, acelga); sus frutos (papaya, aguacate, piña, cítricos, mango, manzana, pera, moras, fresa, uvas, pimiento, tomate y naranjilla); y, de las semillas, todos los denominados granos, ejemplo: fríjol, arveja, cebada, trigo, centeno, haba, arroz, soya y lenteja. El proceso de la fotosíntesis, en el que se sintetizan los alimentos, se observa en la Figura 1.



Figura 1. Componentes que intervienen en el proceso de la fotosíntesis para producción de alimentos



Reacción química en el proceso de la fotosíntesis (Uribe, 1991)

1.2. PRODUCEN OXÍGENO

Las plantas verdes, en el proceso de la fotosíntesis, producen oxígeno, elemento fundamental para la respiración de casi todos los seres vivos (Uribe, 1991). La producción es significativa, por ejemplo, según Carbal *et al.* (2015) en un manglar en la Ciénaga de la Virgen, Cartajena, Colombia, con una extensión aproximada de 775 ha contribuyen con 5308,44 Ton aproximadamente de oxígeno liberado al año.

El oxígeno, en el planeta, cumple un papel fundamental: la respiración. Además, Uribe (1991) manifiesta que este gas se desplaza a la ionosfera, y allí por la acción de diversas reacciones fotoquímicas, es transformado en ozono (O₃), mismo que forma capas que actúan como filtros de las radiaciones solares impidiendo así que lleguen a la superficie terrestre demasiados rayos de luz ultravioleta, los que pueden causar problemas genéticos en los seres vivos que la habitan.

1.3. ABSORBEN CO₂

Las plantas tienen la capacidad de absorber el CO₂ atmosférico para el proceso de la fotosíntesis lo que posibilita disminuir la concentración de este gas, misma que continuamente, podría estar incrementándose por las combustiones que a diario ocurre en la industria, vehículos automotores y los campos.

El CO₂ no es tóxico, pero es un contaminante de la atmósfera, debido que es más pesado que el oxígeno y tiende a situarse cerca de la superficie terrestre, desplazando al oxígeno hacia a la atmósfera, disminuyendo así la disponibilidad del mismo para la respiración de los organismos que lo necesitan (Uribe, 1991)

Por el incremento de CO₂ y otros gases como: metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) considerados como gases de efecto invernadero, las condiciones climáticas del planeta están sufriendo variaciones significativas. Al CO₂ se le atribuye el 65 % del efecto invernadero. El Grupo Internacional sobre el Cambio climático (IPCC) (2014) estima que los gases de efecto invernadero han cambiado la temperatura media de la superficie de la Tierra¹ de 0,3 a 1,3,°C durante el periodo de 1951 a 2010.

¹ Esfera de la tierra, Figura 2, tomada en <http://geografia.sanvalero.net/>

En la Figura 2 se indica el proceso del efecto invernadero.



Figura 2. Esquema del proceso del efecto invernadero² en la atmósfera terrestre

Frente a esta realidad, las plantas juegan un papel fundamental, pues éstas al absorber el CO₂ estarían disminuyendo este gas de la atmósfera, lo que posibilitaría evitar, en parte, el efecto invernadero.

1.4. PROPORCIONAN MATERIA PRIMA PARA LA INDUSTRIA

Las plantas son fuente importante de materia prima para diferentes industrias. Según la FAO (2012) en todas las regiones del mundo la madera ha sido el principal motor del desarrollo económico. Es material básico en la fabricación de muebles, talla de madera, la artesanía y para otras pequeñas o medianas empresas. El aumento de la inversión en empresas basadas en la madera generará más empleo, creará activos reales, duraderos y contribuirá a reactivar la vida de millones de personas pobres que habitan en zonas rurales.

En particular en Ecuador, los bosques son proveedores de un gran número de bienes y servicios para la población, así como también de madera para la industria nacional (EcuadorForestal, 2007). Un 64 % de la madera que se aprovecha en el país proviene de plantaciones forestales, bosques nativos y de árboles en sistemas agroforestales. Las plantaciones de especies exóticas

² Imagen de la atmosfera y el sol, tomado en <http://www.batanga.com/curiosidades/2011/03/23/5-datos-interesantes-sobre-el-sol>

como eucalipto y pino se ubican en la región Sierra, mientras que la balsa, teca, pachaco y melina están en la Costa. El uso de la madera de bosque nativo se concentra en los bosques naturales de la zona norte de Esmeraldas (noroccidente del país) y la Región Amazónica (Ministerio del Ambiente; International Tropical Timber Organization, 2011). Según la FAO (2015) en Ecuador se da extracciones y producción de los productos madereros y de papel que se especifica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Extracciones y producción de los productos madereros y de papel en Ecuador

Clase	Unidad	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	X 1.000										
Madera en rollo	Metro cúbico	6.632	6.648	5.84	6.082	6.016	6.855	7.031	7.043	7.056	7.069
Madera en rollo industrial	Metro cúbico	1.211	1.211	1.863	1.97	1.94	1.93	2.091	2.091	2.091	2.091
Trozos para aserrar y para chapas	Metro cúbico	298	298	1.121	1.198	1.28	1.27	1.28	1.28	1.28	1.28
Madera para pasta, rolliza y partida	Metro cúbico	913	913	492	476	364	364	481	481	481	481
Otras maderas en rollo industriales	Metro cúbico	0	0	250	296	296	296	330	330	330	330
Combustible de madera	Metro cúbico	5.421	5.437	3.977	4.112	4.076	4.925	4.94	4.952	4.965	4.978

Fuente de datos: FAOSTAT-Forestal, 2015

1.5. SON FUENTE DE ENERGÍA

Las plantas relacionadas como fuentes de energía, tienen que ver con tres aspectos: a) la madera sirve como combustible por su fácil adquisición y bajo costo; b) a partir de la plantas se han generado combustibles, fuentes de energía básicas, como es el caso de los recursos naturales no renovables: el petróleo, carbón y gas natural, que se formaron, en el período carbonífero (hace aproximadamente 300 millones de años), a partir de la descomposición incompleta de la exuberante vegetación sepultada por depósitos sedimentarios en condiciones de altas presiones, temperaturas y poco oxígeno (Uribe, 1991); y, c) producción de biocombustibles. Al iniciarse los preparativos, dos años antes, para la edición 2008 del Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación, se generó expectativas en torno a la utilización de biocombustibles líquidos derivados de productos agrícolas básicos como recurso que podría mitigar el cambio climático; sin embargo, se han registrado notables cambios en la manera

de percibir los biocombustibles, pues análisis recientes han planteado serias interrogantes sobre la profundas repercusiones ambientales de la producción de biocombustibles (FAO, 2008).

1.6. TIENEN PRINCIPIOS ACTIVOS PARA LA MEDICINA

Por las diferentes condiciones, especialmente climáticas, del planeta, existe una diversidad extraordinaria de especies de plantas con principios activos válidos para la medicina, utilizadas por el hombre desde épocas remotas, para la prevención y curación de enfermedades. Según Uribe (1991) los principios activos son la base para la síntesis de drogas en los laboratorios. Existen un porcentaje significativo de drogas de origen vegetal para el tratamiento de enfermedades.

En el Ecuador, por sus particularidades fisiográficas y climáticas, ha posibilitado la existencia de una diversidad de plantas medicinales, tanto cultivadas como silvestres, constituyendo parte de la extraordinaria biodiversidad. Por ejemplo, existe un número considerable de plantas medicinales en los andes ecuatorianos. Según Cerón (2006), 273 especies de plantas medicinales se expendían en las hierberías de los mercados y 255 se han registrado como silvestres, de las cuales 199 (78 %) son nativas, 43 (16,7 %) introducidas y 13 (5,1%) endémicas.

Se considera que todas las civilizaciones que han poblado la tierra, han utilizado en mayor o menor medida plantas medicinales. Desde el inicio de los tiempos, el ser humano ha estado en estrecho contacto con su ambiente, lo que ha permitido ir perfeccionando el conocimiento sobre las especies medicinales, hasta llegar a la actualidad (Gil *et al.* 2006)

El uso en mayor o menor escala de las plantas con propósitos medicinales está en relación con la cultura de los pueblos. Para unos es práctica permanente, otros, sin descartar las bondades de las plantas, dan preferencia a la medicina formal. En los grupos humanos, especialmente las etnias, la validez de la importancia de las plantas para el tratamiento de enfermedades, como un hecho inherente a la propia vida, es transmitida de generación en generación.

En la Figura 3 se ilustran ejemplos de especies de plantas con propiedades medicinales.



Amaranthus caudatus L. (sangorache)



Aloe arborescens Mill. (sábila)



Ruta graveolens L. (ruda)



Ilex guayusa Loes. (guayusa)



Croton lechleri Müll.Arg. (sangre de drago)



Banisteriopsis caapi (Spruce ex Griseb) Morton. (ayahuasca³)



Cinchona officinalis L. (cascarilla)



Eriobotrya japonica (Thunb.) Lindl. (nispero)



Linum usitatissimum L. (linaza)



Borago officinalis L. (borraja)



Cheilocostus speciosus (caña agria)



Morinda citrifolia L. (noni)

Figura 3. Ejemplos de especies de plantas medicinales del Ecuador

3 Fotografía de planta de ayahuasca tomada en http://es.wikipedia.org/wiki/Banisteriopsis_caapi

1.7. SON COMPONENTES FUNDAMENTALES DE LA BIOCENOSIS

Al ser las plantas componentes fundamentales de la biocenosis, parte de la estructura de los ecosistemas, interaccionan de tal manera que hacen posible el funcionamiento armónico de estas unidades de la naturaleza.

A más de ser los organismos denominados productores, por la particularidad única que tiene para captar la energía solar que, junto con otros factores, les permite sintetizar compuestos orgánicos complejos, válidos para el crecimiento y desarrollo de otros organismos; son el hábitat de sí mismas, de aves, insectos, reptiles y mamíferos. Además, cumplen otras funciones como: la regulación del ciclo hidrológico, atenuación de la erosión de los suelos y contaminación atmosférica. En definitiva equilibran los ecosistemas, posibilitando, en esas condiciones, la perpetuidad de la vida.

1.8. PRODUCEN SUSTANCIAS PARA CONTROL DE PLAGAS EN LOS CULTIVOS

Algunas especies de plantas, producen sustancias que utilizadas en extractos o polvos, actúan como insecticidas, eliminando gran diversidad de insectos perjudiciales para la agricultura (Uribe, 1991). El uso de extractos vegetales para el control de plagas agrícolas era una práctica ancestral, ampliamente utilizada en diversas culturas y regiones del planeta (Molina, 2001). La actividad biológica de estos extractos y sustancias de origen vegetal para el control de arvenses, plagas y enfermedades en el sector agrícola, se ha dado en casos comprobados, siendo la piperaceae, una de las familias más promisorias para este propósito (Celis *et al.* 2008). Además, puede utilizarse: ajo, ají, santa maría, molle, marco, cebolla y tabaco. En la Figura 4, se dan ejemplos



Figura 4. Ejemplos de plantas que pueden utilizarse para extraer sustancias con propiedades insecticidas

1.9. SON INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN Y SIRVEN PARA LA REMEDIACIÓN

Las experiencias han mostrado, que algunas plantas (Figura 5) son indicadoras de la calidad ambiental. Anze *et al.* (2007) señalan, por ejemplo, que *Raphanus sativus*, es indicador de la calidad integral del aire y, *Lolium multiflorum*, como acumulador de metales pesados; y la cv Lema asimismo es utilizada para la detección de flúor y SO_2 en el aire debido a la capacidad de acumular flúor y azufre en sus tejidos; y, por su parte, Méndez y Monge (2011) manifiestan que son muchos los estudios realizados a nivel mundial que emplean los líquenes para biomonitorrear la calidad del aire, utilizándolos como bioindicadores cuando manifiestan síntomas particulares como respuesta a los cambios ambientales o como bioacumuladores cuando por medio de ellos, se logran medir químicamente sustancias acumuladas en sus tejidos.

Además, algunas especies de plantas sirven para la fitorremediación de la contaminación. Por ejemplo, con este propósito, Barreto y Paredes (2015) investigaron las plantas: *Pistia stratiotes* L. y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y encontraron que estas especies tienen una alta capacidad de absorción de cobre. Esto posibilita la fitorremediación de aguas contaminadas con este metal, como es el caso de efluentes mineros.

4 Fotografía de plantas de ajo, tomada en <http://www.tusplantasmedicinales.com/ajo-planta-curativa-milenaria/>

5 Fotografía de frutos de ají, tomada en http://provefru.com/product_info.php/products_id/39



Figura 5. Plantas Indicadoras de la calidad ambiental

Al fijarse las bondades que las plantas prestan al hombre, es importante estudiarlas, para comprender la magnitud de su valía, pero no como una tarea exclusiva de los biólogos, ingenieros (agrónomos, forestales, agrícolas, ambientalistas y zootecnistas), médicos veterinarios y otros profesionales relacionados con las ciencias naturales, sino como una tarea de toda la humanidad, pues toda ella es beneficiaria de las plantas. La ciencia que estudia las plantas es la Botánica.

6 Fotografía de plantas de rábano tomada en http://guiaverde.com/guia_de_plantas/raphanus_sativus_3056

7 Fotografía de planta de tabaco tomada en <https://gobotany.newenglandwild.org/species/nicotiana/tabacum/>

8 Fotografía de planta de tradescantia tomada en <http://purijardin.blogspot.com/2011/09/tradescantias.html>

2.

BOTÁNICA

La Botánica es una ciencia, parte de la biología, que estudia las plantas en general. Según Uribe (1991), para el estudio de las plantas se han delimitado ciertos campos específicos, siendo los más importantes: Morfología, Sistemática y Fisiología Vegetal. Además, considera ramas específicas de la botánica como: Fitoquímica, Botánica Económica, Fitogeografía, Etnobotánica, Paleobotánica, Ecología Vegetal y Palinología.

El presente libro hace mención a referentes generales de sistemática y, se da mayor énfasis a los aspectos de anatomía y morfología vegetal.

2.1. SISTEMÁTICA VEGETAL

La sistemática vegetal se encarga de describir, identificar o clasificar y dar nombres a las plantas, teniendo en cuenta aspectos morfológicos, fisiológicos, citológicos, histológicos, fitoquímicos y filogenéticos (Uribe, 1991)

Antes de señalar la clasificación de las plantas es necesario tomar en cuenta que existe una clasificación de los seres vivos, que los distribuyen en cinco reinos: Prokaryotae o procariotes (antes denominados Monera), Protista o protistas, Fungi u hongos; Plantae o plantas y Animalia o animales (Solomon *et al.* 1996). A las algas y hongos, dadas sus características específicas se incluyen dentro de los reinos Protista y Fungy, respectivamente; pero la propuesta de Cronquist (1984) a las algas y hongos los considera dentro del reino vegetal

Se presenta una clasificación general de las plantas, derivada de una síntesis realizada por Cronquist (1984), en dos subreinos:

Subreino Thallobionta (talofitas) y **Subreino Embrybionta** que incluye ocho divisiones: Bryophyta: musgos y hepáticas; Rhyniophyta; Psilotophyta; Lycopodiophyta: licopodios; Equisetophyta: cola de caballo; Polypodiophyta: helechos; Pinophyta: pinos, araucarias, ciprés, podocarpus; y, Magnoliophyta (angiosperma). Esta última división, se subdivide en dos clases: Magnoliopsida (dicotiledóneas) y Liliopsida (monocotiledóneas).

Actualmente para la clasificación específica de las angiospermas, basada en criterios filogenéticos, se sigue la recomendación del Grupo de la Filogenia de Angiospermas o en inglés "Angiosperm phylogenetic groups, APG), y existen: APG (1998); APG II (2003), APG III (2009); y, APG IV (2016).

Según APG IV las angiospermas se dividen en tres clases: magnoliidae o magnólidas, monocotiledóneas o monocots y eudicotiledóneas o eudicots (Cole *et al.* 2016)

En este libro no se trata del estudio de sistemática vegetal, sino sobre morfología vegetal, es decir forma externa y organización interna de las plantas, por lo tanto para describir las características, especialmente formas externas, se relaciona la clasificación de plantas propuesta por Cronquist (1984), relativa a los subreinos: Thallobionta y Embryobionta, dentro del segundo caso, las divisiones: Bryophytas, Lycopodiophyta, Polypodiophyta y Pinophyta. Y se considera para la estudio de la morfología de las angiospermas, el sistema APG IV.

2.1.1. Subreino thallobionta

En este subreino se incluyen las bacterias, algas y hongos. Se hace referencia solo: algas y hongos. Y, además, se incluye a líquenes que son asociaciones entre un hongo y un socio fotosintético, ya sea una alga o una cianobacteria

2.1.1.1. Algas (Ficofitos)

Son seres unicelulares o pluricelulares. La mayoría de algas son fotosintéticas. Las fotosintéticas poseen uno más cloroplastos por célula por lo que hacen uso de las reacciones lumínica y el ciclo de Calvin para convertir la energía luminosa en energía química (Nabors, 2006). Viven en hábitats acuáticos, dulces o marinos, o con alto contenido de humedad, como en los bosques umbríos. Tienen aplicaciones variadas, desde la farmacológica hasta la alimentaria.

En atención a los cinco reinos, las algas están dentro del reino Protista, aunque este reino sea considerado por sistemáticos como un reino artificial, porque sus miembros no están estrechamente relacionados en términos filogenéticos (Nabors, 2006)

Se hace referencia a aspectos generales de tres tipos de algas, verdes, pardas y rojas:

Clorofíceas. Éstas comprenden uno de los mayores grupos de algas, por su gran número de especies y la variedad de formas que incluyen algas unicelulares (como las diatomeas), multicelulares y filamentosas. Su similitud con las plantas terrestres con respecto a su metabolismo, tipo de pigmentos fotosintéticos, y estructura celular, es la mejor evidencia para demostrar el origen de las plantas verdes a partir de este grupo de algas. Almacenan sustancias de reserva en forma de almidón y los componentes de su pared celular son la celulosa. Su distribución es muy amplia y están presentes en todos los ambientes acuáticos como los ríos, lagos y mares. Un gran porcentaje de color verde de las aguas está determinado por las algas verdes, gracias a que su cloroplasto está muy bien definido, presentando un color verde intenso (Peña, *et al.* 2005).

Las clorofíceas tienen gran importancia relacionado a su uso. Por ejemplo, las especies: *Codium fragile* y *Ulva lactuca* ampliamente abundantes en Chile, pueden ser utilizadas en la elaboración de alimentos o suplementos alimentarios, podrían suplir la necesidad proteica que requieren los peces; además, de entregar: vitaminas, antioxidantes y una gran cantidad de minerales y producir productos alimenticios para el control de peso en los humanos (Ortiz, 2011)

Feofíceas. Se considera que existen unas 1500 especies de algas pardas, la mayoría de la cuales son marinas. Son pluricelulares y poseen un cuerpo parecido al de una planta conocida como talo. Este grupo comprende las laminarias gigantes, como *Macrocystis* y *Nereocystis*, así como especies diminutas del tipo *Ralfsia expansa*, conocida como costra negra, dado que parece una mancha de alquitrán en una roca (Nabors, 2006)

Estas algas son utilizadas en alimentación humana y también como fertilizantes, siendo importante fuente de ácido algínico, cuyas propiedades coloidales son aprovechadas, por ejemplo, en farmacología en pomadas y suspensiones (Vidotti y Rollemberg, 2004)

Rodofíceas. La mayor parte de las cerca de 5 000 especies son marinas; menos de 100 especies identificadas viven en agua dulce. Las mayoría son pluricelulares, y sus talos miden unos 10 centímetros de longitud. Las diferentes especies pueden ser de vida libre, epífitas o parásitas. Son quizás más conocidas por la complejidad de sus ciclos vitales. Las ficobilinas y los carotinoides otorgan a estas algas, como *Rhodymenia pseudopalmata*, su característico color rosa o rojo. Las paredes celulares poseen celulosa como armazón, pero son en su mayoría mucílagos con agar y carragenanos, los cuales son polímeros de galactosa y se comercializan como espesantes (Nabors, 2006). Las especies de *Gelidium* y *Gracilaria*, son fuentes principales para la industria mundial del agar (FAO, 2002).

En la Figura 6 se observa ejemplos de macroalgas



Figura 6. Tipos de algas: Clorofíceas (algas verdes), feofíceas (alga parda) y rodofíceas (alga roja).

2.1.1.2. Hongos

Aunque en consideración de la clasificación de Cronquist (1984), están dentro de los vegetales, es necesario precisar que son organismo muy especiales, diferentes del resto de los demás seres vivos: microorganismos (bacterias, amibas y afines), animales y plantas. No tienen tejidos, no forman semillas, pero sí esporas y órganos reproductores. Su composición química es semejante

9 Macroalgas clorofíceas tomado en <http://www.ingenieros.es/en/news/see/japon-china-y-corea-del-sur-concentran-el-84-de-las-patentes-de-macroalgas/3850>

10 Macroalgas feofíceas tomado en <http://oceanografos.wordpress.com/2012/03/26/consumir-macroalgas-ayuda-a-reducir-el-peso-en-humanos/>

11 Macroalgas rodofíceas, tomado en <http://www.europapress.es/andalucia/malaga-00356/noticia-investigadores-una-desarrollan-modelos-detectar-introduccion-especies-invasoras-algas-rojas-20131009124134.html>

a la de una célula animal, más que a la de una célula vegetal y su reproducción sexual es diferente a la de todos los organismos. A los hongos microscópicos y macroscópicos, se han segregado en un grupo independiente de organismos, que recibe el nombre de Fungi (Guzmán y Piepenbring, 2011). Son eucariotas, organismos cuyos núcleos celulares están contenidos en membranas (Nabors, 2006)

Desde el punto de vista de la acción o papel que desempeñan, existen hongos perjudiciales y benéficos para el hombre. Los perjudiciales, son responsables, por ejemplo, de enfermedades de plantas y animales; y, los benéficos, sirven, en algunos casos, para la alimentación e industria. En la Figuras 7 se observan tipos de hongos.



12

Figura 7. Tipos de hongos

2.1.1.3. Líquenes

Los líquenes son asociaciones vivas entre un hongo y un socio fotosintético, ya sea una alga o una cianobacteria. En este caso el hongo se denomina micobionte y el alga o cianobacteria se denomina fotobionte. Al menos, 23 géneros de algas y 15 géneros de cianobacterias se dan en los líquenes. Los cálculos del número de especies de líquenes varía entre 13 500 y 30 000.

12 Hongo comestible (*Ustilago maydis*) encontrado en el choclo de una planta de maíz

El cuerpo de un líquen, denominado talo, contiene básicamente hifas fúngicas. En algunos talos, las células del fotobionte aparecen por todo el líquen. No obstante, lo normal es que las células fotosintéticas aparezcan en una capa cerca de la parte superior del talo (Nabors, 2006).

Los líquenes son bastante sensibles a las perturbaciones del medio y a la contaminación medioambiental. Por ejemplo, los cambios en la humedad media de una región por tala de árboles o de la retención de ríos pueden hacer que algunas especies se extingan y que otras aparezcan (Nabors, 2006). En la Figura 8 se observa ejemplos de líquenes encontrados en la hoya de Loja.



Figura 8. Tipo de líquenes de la hoya de Loja

2.1.2. Subreino embryobionta

El subreino Embryobionta abarca un grupo de plantas bien definido, respecto a muchas características morfológicas, anatómicas y fisiológicas que le son comunes. Por ejemplo, todas las embriofitas, a excepción las briofitas, tienen en forma características, tejidos conductores especializados llamados xilema y floema (plantas vasculares)

La reproducción es sexual y asexual. Regularmente producen esporas sexuales por división reduccional como parte del ciclo biológico sexual. La reproducción asexual, no implica la formación de esporas (Cronquist, 1984).

El subreino comprende las siguientes divisiones que se describen:

2.1.2.1. División Bryophytas

Los briófitos, que se encontraban entre los primeros vegetales terrestres, han existido, según los testimonios fósiles, desde hace más de 400 millones de años y, tal vez, al tenor de las pruebas moleculares, hace incluso 700 millones de años. Son plantas, consideradas no vasculares porque carecen de un sistema de transporte extensivo con xilema y floema. Suele decirse que no poseen raíces, tallos y hojas “verdaderos”, pues estos términos se aplican tradicionalmente a los órganos de los esporófitos de las plantas vasculares. En las plantas vasculares el esporofito es dominante, y el gametofito es independiente, en algunas especies y dependiente del esporofito, en otras. Contrariamente en las Bryophytas el gametofito es dominante y el esporofito se encuentra unido al gametofito y dependen de él para obtener el agua y nutrientes. Los briófitos más familiares son los musgos que crecen en medios húmedos, pero también se encuentran en regiones secas como las tundras. Las Bryophytas incluyen a las hepáticas, los musgos y los antoceros (Nabors, 2006).

2.1.2.1.1. Hepáticas

Las hepáticas pueden dividirse en dos categorías: talosas y foliáceas. En las talosas, el gametofito es una estructura plana y verde, que parece una lámina o una alga, de varios centímetros de ancho y, generalmente, de entre una y diez células de grosor. El tallo crece horizontalmente, como resultado de la división y elongación de las células meristemáticas en las puntas de cada rama. Las ramas se dividen para formar dos partes iguales, que crecen alejándose la una de la otra y formando un ángulo. En las hepáticas foliosas, el gametofito es más parecido a una planta, normalmente con tres hileras de hojas planas que tienen el grosor de una célula, en una estructura ramificada que forma una especie de alfombra (Nabors, 2006). En la Figura 9 se ilustran ejemplos de hepáticas.



Figura 9. Plantas hepáticas encontradas en la hoja de Loja

2.1.2.1.2. Musgos

Grupo que pertenece al filo Bryophyta, abarca tres clases principales: Sphagnopsida, Andreaeopsida y Bryopsida. Los musgos de esta última clase son los más conocidos, se nombran informalmente “musgos verdaderos”. Los musgos tienden a crecer de manera más abundante y con la más amplia variedad de especies en regiones lluviosas y forestales, así como en humedales, algunas especies crecen en desiertos y en rocas expuestas relativamente secas y unas pocas especies son acuáticas (Nabors, 2006). En la Figura 10, se observa la estructura de un tipo de musgo.



Figura 10. Estructura de los de musgos

2.1.2.2. División Lycopodiophyta

Esta división comprende unas 1 000 especies vivas, clasificadas en: Lycopodiales (licopodios), Selaginallales (selaginelas) e Isoetales (isoetes). Los Licófitos modernos son pequeños vegetales herbáceos; pero alguno de sus ancestros fueron árboles que dominaron los bosques húmedos tropicales y subtropicales durante el Carbonífero (entre 325 y 280 millones años atrás). Todos los Licófitos presentan micrófilos, que son hojas con un solo rastro vascular o foliar. Aunque

los micrófilos de los Licófitos modernos suelen ser pequeños, alargados y se disponen en espiral, además no existen intersticios foliares, es decir, no existen rupturas entre el cilindro vascular del tallo donde las hojas se ramifican desde el sistema vascular principal. Los micrófilos fértiles con esporangios suelen formar pequeños estróbilos, que no deberían confundirse con las piñas portadoras de semillas de las gimnospermas. La mayor parte de los Licófitos pertenecen al orden Lycopodiales, conocidos comúnmente como licopodios (Nabors, 2006). En la Figura 11 se ilustra plantas de licopodios.



Figura 11. Plantas de licopodios de la hoya de Loja

2.1.2.3. División Equisetophyta o Sphenophyta

Incluye 15 especies conocidas como equisetos, o más comúnmente como colas de caballo. Los equisetos se encuentran entre las plantas más raras del mundo. El esporofito posee un tallo hueco, con micrófilos verticilados en los nudos. Los micrófilos son algo rugosos debido a que sus células epidérmicas contienen sílice, motivo por el que históricamente los equisetos se han empleado para limpiar los caleros de cobre (Nabors, 2006). *Equisetum*, es el género que le da el nombre a esta división (Aguirre *et al.* 2012). En la Figura 12 se observa ejemplos de plantas de equisetos.



Figura 12. Especies de *Equisetum* que pueden encontrarse en la hoya de Loja

2.1.2.4. División Polypodiophyta

Esta división (Filo) está formada por los helechos, suelen crecer en medios terrestres húmedos y, con menos frecuencia, se hallan en agua dulce, en las montañas y los desiertos. La mayoría de las 11 000 especies son tropicales adaptadas a los climas húmedos y cálidos. El filo contiene trepadoras, epífitos y árboles, aunque incluso los helechos arborescentes más grandes carecen de crecimiento secundario. Son el primer grupo vegetal con megáfilos (macrófilos), hojas con sistema vascular muy ramificado, a diferencia de la traza vascular única en los micrófilos. Los megáfilos suelen ser mayores que los micrófilos. La producción de esporas tiene lugar en los megáfilos del esporofito, conocidos como frondes. Los esporangios de los frondes fértiles suelen presentarse en grupos, denominados soros, que por lo general se encuentran en el envés del fronde (Nabors, 2006). En la Figura 13 se observa ejemplos de plantas de helechos



Figura 13. Plantas de helechos de la hoya de Loja

2.1.2.5. División Pinophyta

A esta división pertenecen las plantas con raíces, tallos, hojas flores y frutos, cuyas semillas se encuentran descubiertas.

Estas plantas perennes son siempre leñosas; en la estructura del xilema no tienen elementos del vaso y en el floema, tampoco células acompañantes y elementos de tubo criboso (Uribe, 1991). Carecen de flores en su sentido más estricto (Aguirre *et al.* 2012). Producen estructuras reproductoras denominadas conos o estróbilos, no existen ovarios, por lo tanto, en este grupo de plantas no hay formación de frutos (Uribe, 1991). Dentro de esta división están las plantas denominadas: ciprés, pinos, romerillos, araucarias y secuoyas (Figura 14).



Figura 14. Ejemplos de plantas de la división Pinophyta (gimnospermas)

2.1.2.6. División Magnoliophyta (Angiospermas)

Como se indicó anteriormente las angiospermas, según APG IV, se dividen en tres clases: magnoliidae o magnólicas, monocotiledóneas o monocots y eudicotiledóneas o eudicots (Cole *et al.* 2016).

Las angiospermas son las plantas vasculares más evolucionadas que producen flores, en las cuales, las semillas se forman dentro de un ovario que al desarrollarse se convierte en fruto, por lo tanto el fruto es el ovario desarrollado y maduro (Uribe, 1991). Estas plantas pueden ser leñosas, semileñosas y herbáceas (Aguirre *et al.* Merino, 2012), perennes, bianuales o anuales (Cronquist, 1984). Su sistema vascular tiene tejidos especializados como el xilema, constituido por células denominadas traqueidas, elementos de vaso, fibras y parénquima del xilema; y, el floema, estructurado por elementos de tubo criboso, células acompañantes, fibras y parénquima del floema (Uribe, 1991).

En consideración que las magnólicas y eudicotiledóneas abarcan a las dicotiledóneas. En el presente libro se establece dos grupos principales: dicotiledóneas y monocotiledóneas.

Las diferencias básicas son: el primer grupo abarca árboles, arbustos y hierbas, con hojas reticuladas y frutos con semillas con dos cotiledones; y, el segundo incluye plantas generalmente hierbas, con hojas paralelinervadas y frutos con semillas con un sólo cotiledón (Aguirre *et al.* 2012). Obsérvese en la Figura 15 ejemplos de plantas: dicotiledónea y monocotiledónea.



Figura 15. Plantas: A, dicotiledónea y B, monocotiledónea

2.2. MORFOLOGÍA

Rama general de la Botánica que estudia la organización interna y la forma externa de la planta. La morfología interna (anatomía) incluye la citología e histología y la morfología externa trata exclusivamente de la forma (Müller, 2000).

2.2.1. Citología

La citología estudia la célula vegetal, esto es, la forma, tamaño, estructura y su función. Antes de abordar el conocimiento de las características de la célula se hace referencia a aspectos de la teoría celular, que establece que las células son la unidad fundamental de todos los organismos. Dos científicos alemanes, el botánico Matthias Schleiden en 1834, y el zoólogo Theodore Schwann 1839, fueron los primeros en señalar que las plantas y los animales se componen de grupos de células y que la célula es la unidad básica de los organismos vivos. En 1855, Rudolph Vrichow amplió la teoría celular y afirmó que se forman nuevas células solo por división de las preexistentes (Solomon *et al.* 1998)

2.2.1.1. Definición de célula

“La célula es la unidad estructural y funcional de todo ser vivo...” (Uribe, 1991).

2.2.1.2. Forma de las células vegetales

La mayoría de las células vegetales tienen forma estable. Depende del desarrollo o especialización de las mismas. En el cuerpo de la planta pueden encontrarse varias formas de células, como: isodiamétricas (meristemos y parénquima), estrelladas (células pétreas), alargadas (fibras esclerenquimáticas), tabulares (tejido epidérmico), poligonales (tejido epidérmico), reniformes (células oclusivas: estomas) (Uribe, 1991). En la Figura 16 se dan ejemplos de diferentes formas de células.

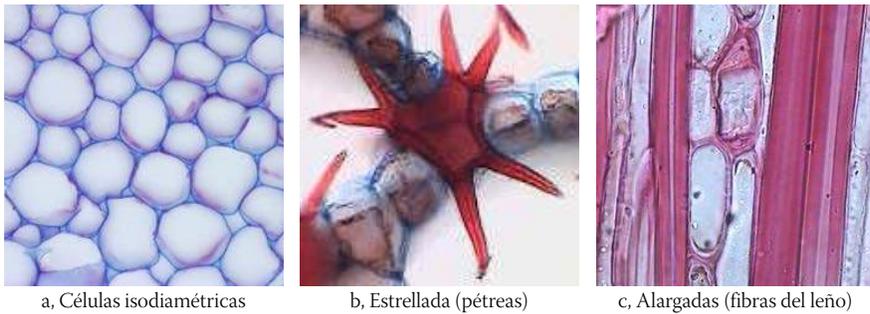


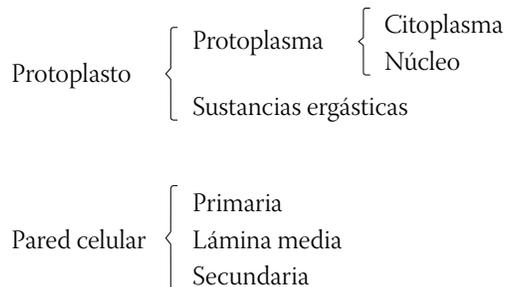
Figura 16. Ejemplos de formas de células vegetales (a, Megías *et al.* 2016; b y c, González y Arbo, 2013)

2.2.1.3. Tamaño de las células vegetales

La mayoría de las células son microscópicas. Las células vegetales como promedio miden 40 micrómetros¹³

2.2.1.4. Estructura de la célula vegetal

Uribe (1991), manifiesta que una célula vegetal está constituida por las siguientes partes:



¹³ Un micrómetro equivale a una millonésima del metro o milésima parte del milímetro

En la Figura 17 se observan las diferentes partes de una célula vegetal

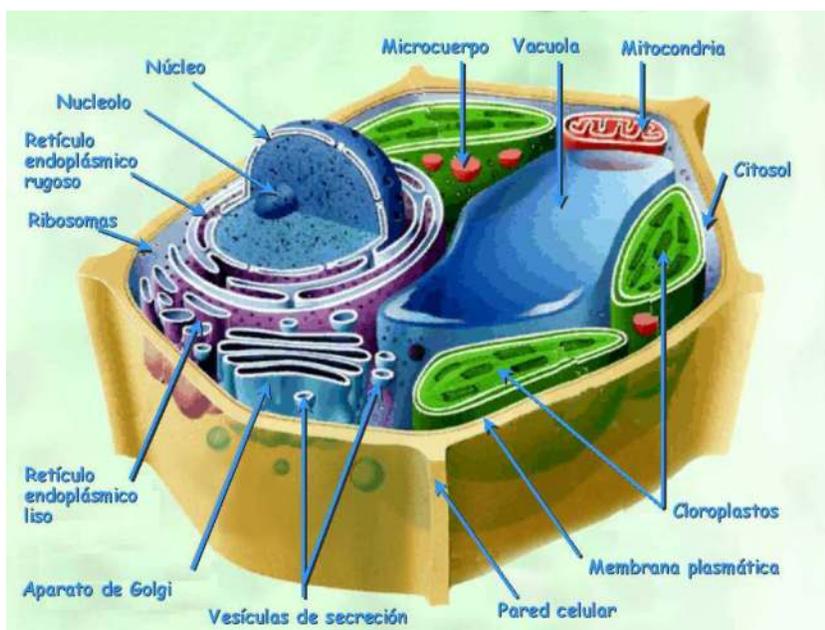


Figura 17. Estructura de una célula vegetal eucariota (García, 2003)

2.2.1.5. Descripción general de los componentes de la célula vegetal

2.2.1.5.1. Protoplasto

Es un término que se utiliza para designar todos los componentes que se encuentran dentro de la pared celular (Uribe, 1991). A continuación se hace una descripción general de los mismos:

2.2.1.5.1.1. Protoplasma

Es la parte viva de la célula, y está constituido por el citoplasma y el núcleo.

2.2.1.5.1.1.1. El citoplasma

El citoplasma es el contenido celular ubicado entre el núcleo y la pared celular, lo rodea la membrana citoplasmática y al observar al microscopio de luz presenta la característica de una sustancia transparente, viscosa y homogénea, pero en la realidad es heterogénea. En el citoplasma se encuentran una serie de componentes, como: agua (80 - 95 %); sustancias orgánicas (carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos orgánicos) e inorgánicas (sales); y, otros compuestos,

que con el agua forman soluciones, emulsiones o sustancias coloidales (los compuestos químicos presentes en el citoplasma son activos por su intervención permanente en los procesos metabólicos); organelas (plastidios: leucoplastos, cloroplastos y cromoplastos, mitocondrias, retículo endoplasmático, dictiosoma, ribosomas); y, una red de membranas (citoplasmática o plasmalema, membrana vacuolar o tonoplasto y las membranas que son parte de la estructura de las organelas) (Uribe, 1991)

2.2.1.5.1.1.1. Membranas

Rodeando al citoplasma se encuentra la membrana citoplasmática o plasmalema, y está formada por sustancias ergásticas: lípidos, proteínas y algunos carbohidratos, y se caracteriza por su permeabilidad selectiva, es decir a través de ella pasan fácilmente unas sustancias y otras no (Uribe, 1991). Su estructura es conforme se indica en las Figuras 18 y 19.



Figura 18. Estructura de la membrana citoplasmática micrografía electrónica (x 60000) (García, 2003)

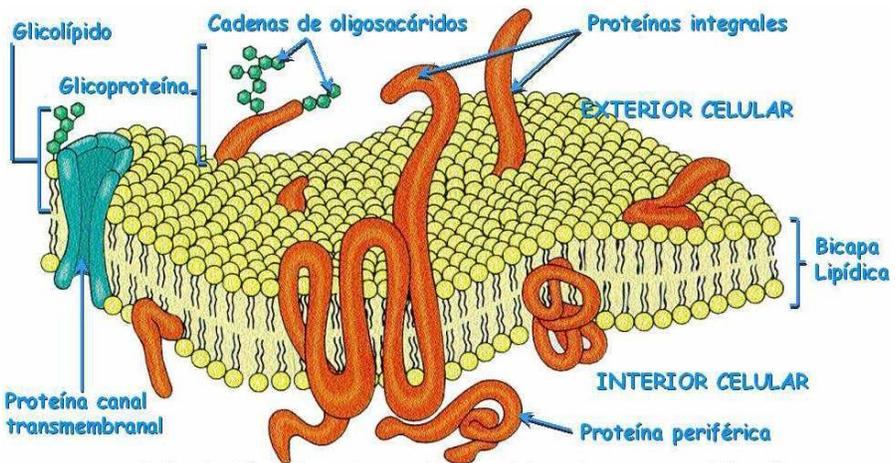


Figura 19. Estructura de la membrana citoplasmática con sus componentes generales (García, 2003)

La membrana vacuolar o tonoplasto tiene las mismas características de la membrana citoplasmática, rodea a las vacuolas, éstas al inicio son pequeñas y numerosas, pero conforme se desarrolla la célula se unen y forman otras cada vez más grandes (Hernández, 2007)

Según Uribe (1991), en una vacuola pueden encontrarse lo siguiente: gases (oxígeno, gas carbónico, nitrógeno), sales (cloruro de sodio, fosfatos, cloruro potásico, cloruro de magnesio), ácidos orgánicos (cítrico, oxálico), compuestos orgánicos (carbohidratos, proteínas y lípidos) pigmentos (antocianinas), cristales (rafidios, drusas).

Las membranas en general, poseen la propiedad de ser selectivamente permeables, lo que indica que cada tipo de membrana tiene características moleculares particulares, que les permite funcionar bajo sus propias condiciones (Hernández, 2007)

2.2.1.5.1.1.1.2. Organelas

- **Plastidios**

Los plastidios se forman a partir de los protoplastidios que se encuentran en los tejidos meristemáticos, pueden ser:

- **Leucoplastos**

Son tipos de plastidios (Figura 20) incoloros y se encuentran en células que no están expuestas a la luz, por ejemplo, en el parénquima medular de los tallos, frutos y órganos subterráneos.

Almacenan sustancias de reserva y según la clase de éstas, los leucoplastos se denominan amiloplastos y eleoplastos, si almacenan almidón y aceites, respectivamente. Existen diferentes formas de amiloplastos, que depende del tipo de especie de planta (Uribe, 1991)

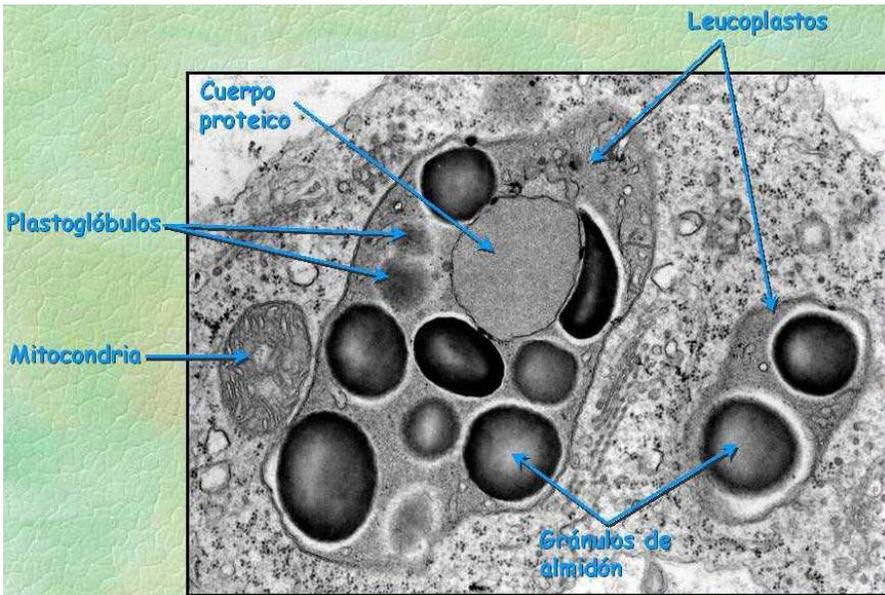


Figura 20. Leucoplastos con gránulos dealmidón (García, 2003).

- **Cloroplastos**

Los cloroplastos son estructuras celulares de forma discoidal (Uribe, 1991). Están separados del citosol celular por una doble membrana denominada envuelta o envoltura cloroplasmática. La membrana externa es bastante permeable y rodea a la membrana interna, cuya permeabilidad es más selectiva. Las membranas del interior del cloroplasto son los tilacoides o membranas tilacoidales y forman un sistema intrincado de membranas que se pliegan dando dobles membranas a modo de láminas paralelas, más o menos separadas o apiladas. Los tilacoides separan dos espacios acuosos en el interior del cloroplástico: el estroma y el lumen. Las lamelas grana y estromáticas, al estar formadas por dobles membranas tilacoidales plegadas, dejan un espacio acuoso en su interior denominado lumen, que queda separado del espacio acuoso interno general del cloroplasto, llamado estroma.

El estroma es la matriz acuosa principal, ocupa el mayor volumen. En el estroma se localiza, en disolución, el aparato biomolecular que realiza la segunda fase de la fotosíntesis, incluida la vía principal de fijación del CO_2 por el ciclo de Calvin. El lumen es un espacio separado diferente, en el que la reacción más significativa es la fotólisis del agua, que produce oxígeno.

La fotosíntesis es un proceso biológico complejo en el que puede distinguirse dos fases bien diferenciadas: una primera de absorción y conversión de energía y otra de toma y asimilación biológica de los elementos constitutivos de la materia orgánica (C, H, O, N, S, etc). La energía luminosa es absorbida por biomoléculas fotosensibles y transformada en una forma de energía bioquímica estable. Los elementos constitutivos se toman de fuentes minerales inorgánicos (agua, CO_2 , NO_3^- , SO_4^{2-}) y se incorporan a biomoléculas orgánicas metabolizables. Ambas fases están perfectamente coordinadas e interrelacionadas. Tradicionalmente, estas fases se han denominado fase luminosa y fase oscura, nomenclatura que no es del todo exacta, ya que se sabe que la luz es un factor esencial en todo la fotosíntesis como elemento de regulación y control de ambas fases. Así, se puede decir que existe una fotoabsorción de energía y una fotoasimilación de los elementos esenciales. La primera fase es un proceso de conversión de la energía luminosa en energía electroquímica. En la segunda fase de la fotosíntesis se produce una serie de reacciones de asimilación de elementos necesarios para la construcción biomolecular

Insertados en las membranas tilacoidales se encuentran cuatro complejos proteínicos que llevan a cabo la primera fase fotosintética. La primera fase de la fotosíntesis, es una fase de conversión de energía, para esta conversión energética los tilacoides contienen los complejos proteínicos que llevan a cabo ese manejo de electrones y protones. La distribución de proteínas en la membrana mitocondrial no es uniforme (Azcón- Bieto y Talón, 2013).

En los tilacoides se dan: el fotosistema II y el fotosistema I (Azcón- Bieto y Talón, 2013) y síntesis de ATP a partir de ADP y P inorgánico (Uribe, 1991). El ATP, es una biomolécula útil para multitud de trabajos metabólicos y celulares, es decir, se trata de un combustible bioquímico estable casi universal.

Además, los cloroplastos poseen ribosomas y DNA, que les posibilitan autoduplicarse (Uribe, 1991). La estructura general de un cloroplasto se observa en la Figura 21.

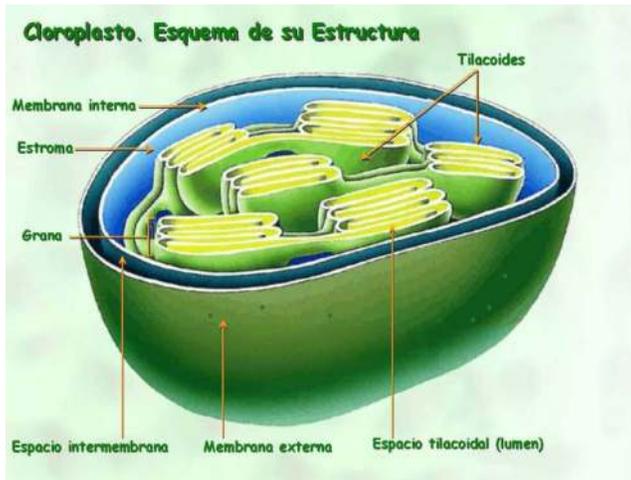


Figura 21. Estructura de un cloroplasto (García, 2003)

- **Cromoplasto**

Son estructuras celulares de forma triangular, elíptica, esférica, que se desarrollan a partir de los leucoplastos. Contienen pigmentos (que van desde el amarillo hasta el rojo) que dan color a los frutos, hojas y pétalos de las flores (Uribe, 1991). En la Figura 22 se observa ejemplos de cromoplastos

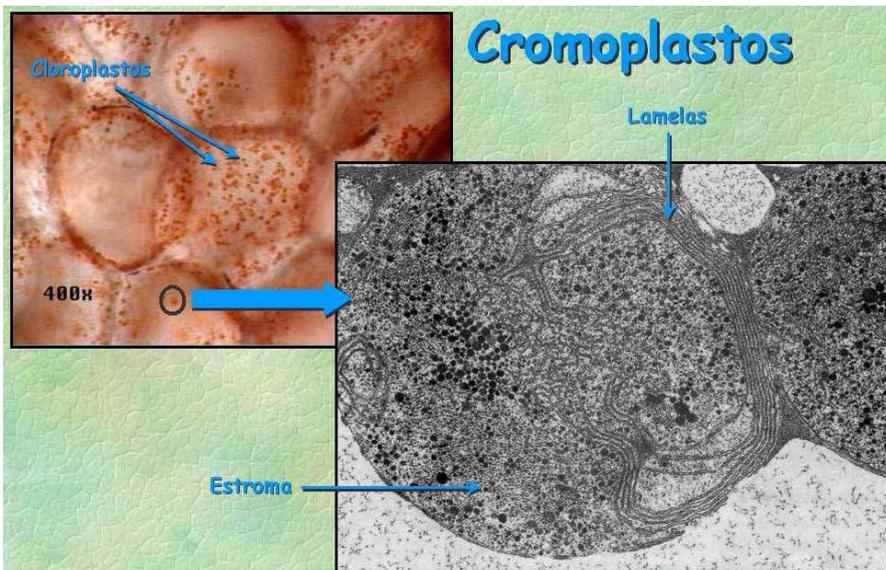


Figura 22. Ilustraciones de Cromoplastos (García, 2003)

- **Mitocondrias**

Son estructuras celulares con doble membrana: externa e interna, entre ambas forman un espacio llamado estroma. La membrana interna posee pliegues llamados crestas mitocondriales, en las cuales se realiza el transporte de electrones e hidrógenos en la respiración aeróbica y en su centro hay una matriz mitocondrial donde ocurre las reacciones de ciclo de Krebs (Uribe, 1991). Azcon-Bieto y Talón (2013) sostienen que los vegetales con las mitocondrias respiran, que es el proceso energético alternativo contrario a la fotosíntesis, en el que se consume oxígeno y se realiza la combustión de materia biomolecular.

Estas organelas son de forma alargada y su función es la respiración aeróbica. Poseen maquinaria genética propia para autoduplicarse. El conjunto de mitocondrias recibe el nombre de condrioma (Uribe, 1991). La estructura general se observa en la Figura 23.

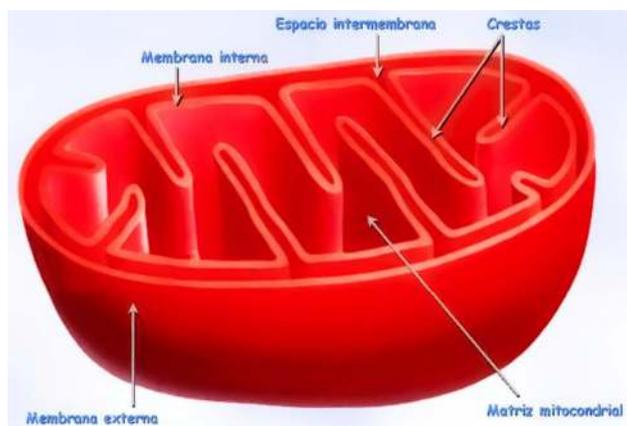


Figura 23. Estructura de la mitocondria (García, 2003)

- **Retículo endoplasmático**

Está constituido por “un sistema de cavidades unidas por membranas dobles que forman especies de canales interconectados dispuestos en forma de red, comunicando el núcleo con las organelas y los protoplasmas de células contiguas a través de los plasmodesmos”, y su función es el transporte de sustancias por toda la célula y posibilitar reacciones bioquímicas (Uribe, 1991).

El Retículo Endoplasmático (Figura 24) en las paredes de sus membranas, puede tener ribosomas, que también se encuentran en forma libre en el citoplasma, son considerados como partículas de ribonucleoproteínas (contienen

proteínas y ácido ribonucleico), donde se produce la síntesis de proteínas a partir de aminoácidos. En una célula pueden existir miles de ribosomas, con una capacidad de síntesis extraordinaria, ya que cada ribosoma puede producir una molécula de proteína por minuto (Hernández, 2007)

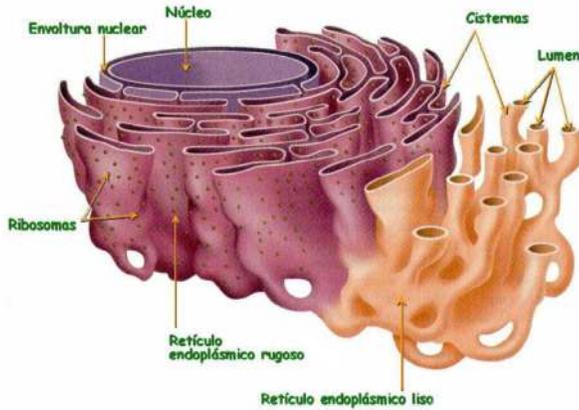


Figura 24. Esquema del retículo endoplasmático (García, 2003)

- **Dictiosoma**

El dictiosoma (Figura 25), aparato de Golgi en los animales (Uribe, 1991), es una organela compuesta por un conjunto de sacos aplanados y llenos de fluido. Se observa como membranas aplanadas o cisternas y en los extremos de las mismas existen vesículas que contienen las macromoléculas que se usan para la construcción de las membranas y pared celular. Tanto los polisacáridos, hemicelulosa y pectina son sintetizados y procesados en el interior de las vesículas de secreción del aparato de Golgi o Dictiosoma (Hernández, 2007). Generalmente esta estructura celular desaparece en las células adultas (Uribe, 1991).

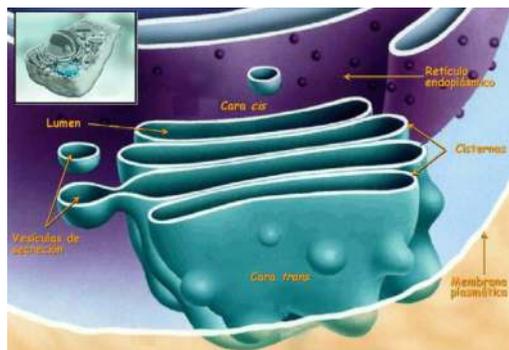


Figura 25. Esquema del dictiosoma (García, 2003)

- **Ribosomas**

Los ribosomas son estructuras o partículas protoplasmática constituidas por RNA y proteínas y pueden encontrarse libres en el citoplasma, en los cloroplastos, mitocondrias y asociados al retículo endoplasmático (Uribe, 1991). Los tubos cribosos adultos carecen de ribosomas y, por tanto, son incapaces de sintetizar proteínas (Azcón- Bieto y Tolón, 2013). En la Figura 26 se observa un esquema de ribosomas.

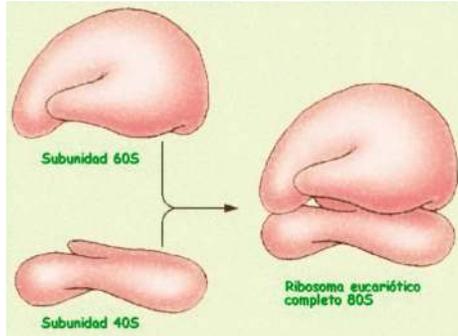


Figura 26. Esquema de ribosomas (García, 2003)

2.2.1.5.1.1.2. Núcleo

Es la estructura celular más conspicua, tiene forma esférica o globular. Es el centro de control de la célula (Hernández, 2007), regula el metabolismo celular mediante la codificación de enzimas y otras proteínas y es el responsable directo de la división celular (Uribe, 1991), pero no actúa independientemente sino en interrelación con otras estructuras de la célula.

El tamaño, la forma y posición del núcleo dentro de la célula es muy variable; en algunas células, como en los elementos del tubo criboso, al madurar el núcleo se desintegra y en otras, por el contrario, se encuentran varios núcleos no separados por pared alguna, tal es el caso de la hifas del hongo *Rhizopus* o moho del pan; estas células con varios núcleos reciben el nombre de cenocíticas (Uribe, 1991). La estructura del núcleo se observa en la Figura 27.

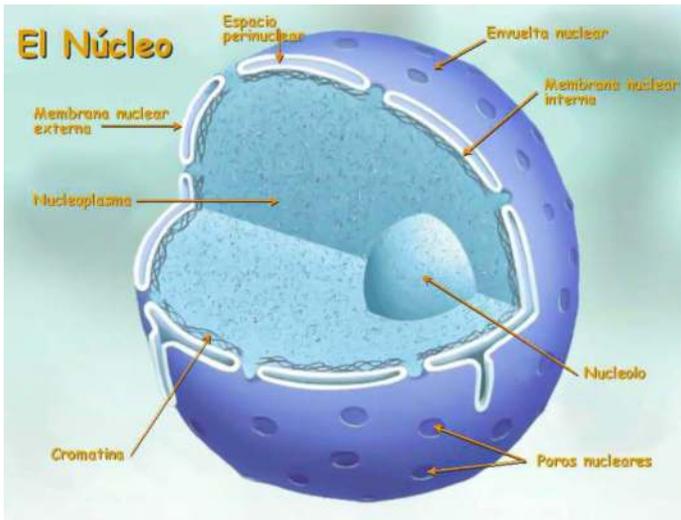


Figura 27. Esquema del núcleo de una célula vegetal (García, 2003)

- **Envoltura nuclear**

La envoltura nuclear está compuesta de doble membrana (interna y externa), que se fusionan en algunos puntos formando poros nucleares (de pocos a miles) que permiten la comunicación entre el interior del núcleo y el citoplasma. Es selectivamente permeable (Hernández, 2007)

- **Cromatina**

La cromatina es el complejo ADN-proteína (nucleoproteína) que se observa dispersa en la interfase (Hernández, 2007), forma una especie de red en la cariolinfa del núcleo (Uribe, 1991). El ADN, constituye el genoma, su longitud, es millones de veces mayor que el diámetro del núcleo (Hernández, 2007) y es el material que contiene información genética heredable de padres a hijos (Uribe, 1991)

El ADN es un doble helicoide (Figura 28). Cada cadena consiste en una sucesión de un grupo formado por tres elementos: bases, pentosa y grupo PO_4^{3-} . Las bases son cuatro, dos bases púricas: adenina (A), y guanina (G); y, dos bases pirimidínicas: timina(T) y citosina (C). La pentosa es la desoxirribosa (Gómez Álvarez *et al.* 2002).

Durante la división celular la cromatina se organiza formando varios cromosomas (Uribe, 1991), lo que posibilita la visibilidad al microscopio (con

unos 300 Å. de diámetro; antes de espiralizarse tienen diámetros de 50 Å, que impide su visibilidad hasta con el microscopio electrónico)

El DNA es característico no para cada tipo celular sino para todas las células, por diferentes que sean, de un mismo individuo, salvo excepciones (células germinales, poliploides, anomalías cromosómicas).

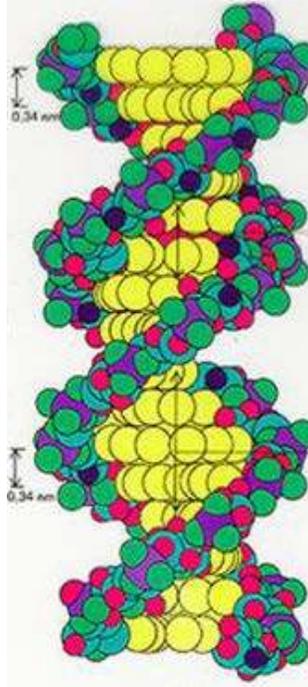


Figura 28. Estructura tridimensional del ADN¹⁴

El juego de cromosomas que contiene una célula constituye la dotación cromosómica de células haploides, diploides o triploides. La dotación normal de una célula somática es diploide y la de los gametos, haploide (Gómez-Álvarez, *et al.* 2002)

Células haploides son aquellas que tienen “n” número de cromosomas diferentes o se dice que tienen un juego de cromosomas en sus núcleos. Estos casos se encuentran en el polen y los óvulos (gametos).

Ilustración:

n cromosomas diferentes: **A** **B** **C** **D** **E** **F** **G**

14 Tomado en <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/contratapa/aprendiendo/capitulo13.htm>

Células diploides son aquellas que tienen “n” número de cromosomas diferentes, pero por cada uno se repite otro igual. Son células con dos juegos de cromosomas. Se dice que los juegos son homólogos. Ejemplos de estos tipos son las células somáticas.

Ilustración:

2n cromosomas:

A	B	C	D	E	F	G
A	B	C	D	E	F	G

Células triploides son aquellas que tienen tres juegos de cromosomas homólogos en sus núcleos. Ejemplo, en el endosperma de las semillas.

Ilustración:

3 n cromosomas:

A	B	C	D	E	F	G
A	B	C	D	E	F	G
A	B	C	D	E	F	G

Existen organismos que tienen células poliploides, ésta tienen tres o más juegos de cromosomas homólogos en sus núcleos.

- **Nucléolo**

El nucléolo es una estructura nuclear especializada, con forma esférica, en número hasta 4. En el nucléolo se fabrica el ARN ribosomal, que junto a las proteínas sintetizadas en el citoplasma, forman los ribosomas. Los nucléolos pueden ser observados con facilidad durante la interfase del ciclo celular, pero cuando la célula comienza a dividirse, en la profase, desaparecen al igual que la membrana nuclear (Hernández, 2007)

- **Cariolinfa**

La cariolinfa o carioplasma corresponde a la sustancia semilíquida, a manera de masa, ubicada dentro del núcleo, está constituida por agua y enzimas principalmente (Uribe, 1991). Según González y Arbo (2013), es un gel constituido por proteínas estructurales. Este tipo de proteínas no manifiesta

ninguna actividad enzimática, se caracterizan por su estabilidad y por formar estructuras moleculares filamentosas.

2.2.1.5.1.2. Sustancias ergásticas

Uribe (1991) sostiene que a las sustancias ergásticas también se denominan sustancias inertes o no protoplasmáticas debido a su poca actividad en los procesos metabólicos, aunque, si las condiciones lo exigen, pueden convertirse en metabolitos celulares. Son productos metabólicos de reserva o desecho y son de estructuras más simples a la de los cuerpos protoplasmáticos. Son muy diversas, hay algunas comunes en casi todas las células y en otras solo se presentan en algunos casos. En general las más comunes son:

Carbohidratos: principalmente, almidones y celulosa (polisacáridos). El almidón, es el principal compuesto de almacenamiento en las células vegetales. La celulosa, es el principal componente de la pared celular.

Grasas y sustancias afines: gotas de aceite, ceras, fosfolípidos, esteroides, suberina, cutina, entre otros. Se encuentran como gotas líquidas dispersas en el citoplasma, almacenadas en los elaioplastos o sirviendo como capas que tapizan o recubren la pared celular, es el caso de la cutina.

Proteínas: Son compuestos protoplasmáticos más importantes, sin embargo se puede encontrar como sustancias ergásticas, transitorias e inactivas, amorfas o cristaloides. Ejemplos, el gluten en endospermo de trigo y granos de aleurona comunes en los frutos de gramíneas.

Cristales: Generalmente son sustancias de desecho que se depositan en las vacuolas y están constituidos por sales de calcio (oxalato de calcio y carbonato de calcio) y sílice presente en la pared celular. Pueden tener diversas formas geométricas y estar libres o asociadas. Si tienen forma de agujas o roseta se llaman rafidios o drusas, respectivamente.

Taninos. Son sustancias derivadas del fenol. Actúan como defensas de las plantas contra la putrefacción, la desecación y ataque de insectos. Se encuentran principalmente en las cortezas, hojas de té, frutos verdes, xilema secundario y cubierta de semillas. En general las partes de la planta que poseen taninos son de sabor amargo.

También son consideradas sustancias ergásticas a los alcaloides, glucósidos, aceites esenciales, pectinas, resinas y gomas.

2.2.1.5.2. Pared celular

La pared celular (Figura 29) es la parte inerte que rodea a la célula, le da resistencia y forma definida. Su grosor varía según la función de las células donde se encuentra y el estado de maduración de las mismas. Está formada por sustancias que secreta el protoplasma (Uribe, 1991). Además, la pared celular rígida le da protección a la célula pero sin impedir la difusión de agua y iones desde el medio ambiente hacia la membrana plasmática, que es la verdadera barrera de permeabilidad de la célula. Su constitución química depende del estado de maduración de la célula. Una pared celular primaria típica, de una dicotiledónea está formada por: 25-30 % de celulosa; 15 -25 % de hemicelulosa; 35 % de pectina; y, 5-10 % de proteínas (extensinas y lectinas), en base al peso seco (Hernández, 2007). Dependiendo del estado de madurez de la célula, puede tener la siguiente estructura:

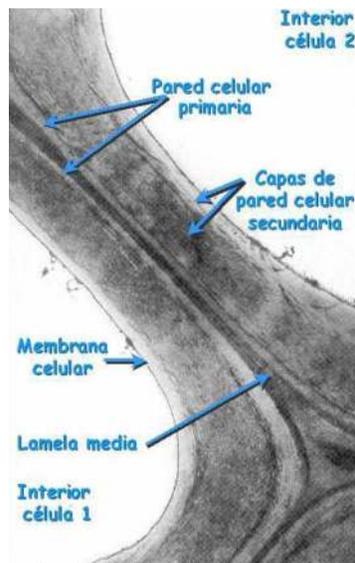


Figura 29. Estructura de la pared celular de una célula adulta (x3000) (García, 2003)

2.2.1.5.2.1. Pared primaria

La pared primaria es delgada de 1-3 micras de grosor (Hernández, 2007). Es la parte inicial que se desarrolla sobre la membrana citoplasmática y perdura durante el crecimiento de la célula (Uribe, 1991). Cada célula vegetal construye

su pared primaria a cada lado de la laminilla media. La pared primaria contiene, principalmente, moléculas de celulosa asociadas en haces de microfibrillas dispuestos en una matriz de polímeros viscosos (Curtis *et al.* 2006). Contiene además hemicelulosa y sustancias pécticas. Los tejidos meristémáticos, parenquimáticos, epidérmicos y colenquimáticos tienen células con paredes primarias (Uribe, 1991).

2.2.1.5.2.2. Pared secundaria

Conforme avanza el estado de maduración de la célula se desarrolla la pared secundaria. Se origina internamente a la pared primaria por la deposición uniforme o no de nueva celulosa principalmente o una mezcla de celulosa y hemicelulosa. Esta pared está constituida por celulosa, hemicelulosa y la impregnación de otras sustancias como: lignina, suberina y cutina. Las células que tienen este tipo de pared son las que forman los tejidos esclerenquimáticos, determinados componentes o elementos que forman los tejidos vasculares y el corcho (Uribe, 1991)

2.2.1.5.2.3. Laminilla media

La laminilla media está formada por pectinas (especialmente pectato de calcio) y por otros polisacáridos y mantiene juntas a células contiguas (Curtis *et al.* 2006). Tiene su origen durante la telofase, a partir del fragmoplasto. Éstos, son unos filamentos proteínicos que unen los dos núcleos hijos, inicialmente forman una placa celular sobre la cual se depositan otras sustancias (provenientes del dictiosoma) para formar completamente la laminilla media (Uribe, 1991), o en otras palabras, la laminilla media se forma durante la citocinesis o división del citoplasma, etapa final del proceso de la división celular (Cortés, 1980).

2.2.2. Histología

Los vegetales multicelulares tienen tejidos y órganos, pero éstos difieren según el nivel de organización. En el nivel inferior están las talofitas, en las que no hay tejidos diferenciados en sentido estricto, sino, simplemente, un conjunto de células entre las que algunas alcanzan cierta especialización. Conforme avanza los escalones, se van diferenciando los grupos celulares, por ejemplo en los musgos, ya existe una diferenciación real de grupos celulares en los rizoides, tallos y hojas.

Las plantas superiores presentan ya una verdadera diferenciación celular en tejidos. Tejido es un grupo de células de origen, estructura y funciones comunes. Esta definición hay que tomarla en sentido amplio, pues la estructura y función pueden variar en un mismo tejido, por ejemplo en la epidermis hay células estomáticas, y células glandulares con estructura y función diferente (Gómez-Álvarez, *et al.* 2002)

Cada uno de los órganos de la planta (raíz, tallo, hoja y flor) está formado por diferentes tejidos, que derivan todos, por medio de la proliferación y la diferenciación celular, de una sola célula diploide, la oosfera fecundada o cigoto. Éste se transforma en embrión, latente en la semilla, y el desarrollo de este embrión, al germinar la semilla, da lugar a la planta adulta.

La transformación del cigoto unicelular en embrión, y de éste en una planta adulta, implica una serie de procesos, como son la división, el crecimiento y la diferenciación de las células, que se van agrupando en tejidos. Estos tejidos pueden, a su vez, agruparse en sistemas de tejidos, en base a su origen o función (Cortés, 1980).

Durante el desarrollo del embrión aparece inicialmente en sus extremos células meristemáticas, mismas que al dividirse continuamente, darán lugar, a otras células meristemáticas y células diferenciadas que luego se constituirán los tejidos definitivos.

A continuación se especifican los diferentes tejidos que existen en la plantas:

2.2.2.1. Meristemos

2.2.2.1.1. Origen

Los meristemos pueden considerarse como tejidos embrionarios que persisten en la planta durante toda su vida y son responsables del crecimiento permanente de la planta, gracias a la capacidad de división y diferenciación (Gómez-Álvarez *et al.* 2002)

2.2.2.1.2. Características

En términos generales Cortez (1980), Uribe (1991) y Gómez-Álvarez *et al.* (2002) concuerdan en que los meristemos presentan células con las siguientes características:

- Este tipo de tejido es característico y exclusivo de los vegetales superiores y persisten en la planta durante toda su vida. Carecen de inclusiones ergásticas.
- Son pequeñas de forma cúbica o isodiamétrica, ricas en plasma denso y activo. Con un núcleo muy grande que ocupa casi siempre las 3/4 partes del volumen de la célula.
- No poseen vacuolas y si existen son varias y muy pequeñas.
- La pared celular es primaria y no poseen plastidios, pero tienen protoplastidios, a partir de los cuales se diferencian los leucoplastos, cloroplastos y cromoplastos.
- El retículo endoplasmático es reducido, sin embargo presenta abundante ribosomas libres.
- La estructura interna de las mitocondrias es menos compleja que en las células parenquimáticas.
- Se mantienen en continua división, lo que las posibilita autopropagarse.
- Suelen disponerse en el tejido en forma muy compacta, dejando muy pocos espacios intercelulares.
- Existe mucha actividad peroxidásica, siendo la concentración de dicha enzima mucho mayor cuando las células se encuentran en proliferación activa.

2.2.2.1.3. Clases

Cortés (1980) manifiesta que los tejidos meristemáticos pueden clasificarse:

2.2.2.1.3.1. Por su ubicación en el cuerpo de la planta

Los meristemas se dividen en meristemas apicales, situados en los ápices de brotes y raíces (principales y laterales) y meristemas laterales (cambium vascular, felógeno o cambium suberoso).

2.2.2.1.3.2. En base a la naturaleza de las células que originan los meristemos

Estos pueden ser meristemos primarios y secundarios. Se llaman primarios si provienen de las células embrionarias. En cambio se llaman secundarios cuando provienen de células diferenciadas y adquieren de nuevo la capacidad meristemática.

2.2.2.1.3.3. En consideración al tiempo relativo de aparición en una cierta planta o en uno de sus órganos

Los tejidos también se clasifican en primarios y secundarios. Los primeros se originan de meristemos primarios (los apicales) y los segundos de meristemos secundarios (los meristemos laterales)

2.2.2.1.4. Ubicación

Los tejidos meristemáticos se encuentran en las partes apicales (yemas y ápices de las raíces) y entre el leño y el córtex, como también entre felema y el felodermo.

2.2.2.1.5. Función

Los tejidos meristemáticos dan origen a otros tejidos. Están relacionados con el crecimiento de las plantas. Los tejidos meristemáticos primarios posibilitan el crecimiento en longitud y los secundarios permiten el crecimiento en espesor de las plantas (dicotiledóneas leñosas y gimnospermas).

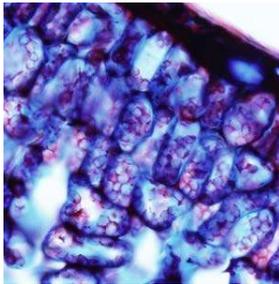
2.2.2.2. Tejido parenquimático

2.2.2.2.1. Origen

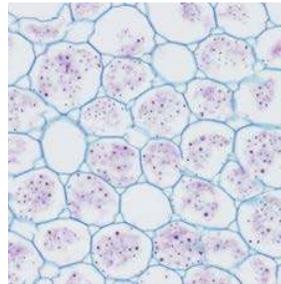
El origen del parénquima es diverso. El del córtex y la médula, del mesófilo de la hoja y la flor, se diferencian a partir del meristemo llamado fundamental. El parénquima asociado a los haces vasculares primarios y secundarios se originan, respectivamente, del procambium y del cambium vascular. También puede diferenciarse del cambium suberoso o felógeno (Cortés, 1980).

2.2.2.2. Características

- Es el tejido diferenciado más simple y el más abundante en la planta, pues se encuentra en todos los órganos de la misma. Y sus células con formas isodiamétricas o alargadas, dejan pocos espacios intercelulares, a excepción del tejidos esponjoso de las hojas y flores (Figura 30).
- Tiene pared primaria delgada. En algunos casos puede tener pared gruesa y aun lignificada.
- Es un tejido vivo y células tienen vacuolas grandes (Uribe, 1991).
- En este tejido tienen lugar las actividades esenciales del vegetal, como: fotosíntesis, respiración, almacenamiento de reservas, secreción y excreción; y debido al bajo nivel de diferenciación de sus células, éstas presentan una gran plasticidad, es decir, son capaces de reanudar la actividad meristemática en determinadas circunstancias (Cortés, 1980).



Parénquima clorofílico.
Especie: *Camelia japonica*,
Camelio



Parénquima de reserva en la
corteza radicular
Especie: *Rannunculus repens*,
Botón de oro

Figura 30. Tipos de tejidos parenquimático: clorofílico (alargadas) y de reserva (isodiamétricas)(Megias *et al.* 2016)

2.2.2.3. Clases

Según la actividad, en la que se encuentren especializadas las células parenquimáticas, se distinguen varios tipos de parénquima, que pueden agruparse en dos: parénquima clorofílico (Figura 30) o fotosintético y parénquima de reserva. En el segundo caso pueden almacenar diversas sustancias, como almidón, gránulos y cristales de proteína, gotas lipídicas y agua (Cortés, 1980).

2.2.2.2.4. Ubicación

Este tejido se encuentran en la médula y el córtex de tallos y raíces; en la pulpa de los frutos suculentos; en el endospermo o albumen de las semillas; en el mesófilo de las hojas; y, existen células parenquimáticas asociadas a los elementos conductores del xilema y floema, tanto primario como secundario (Cortés, 1980)

2.2.2.2.5. Función

Este tejido cumple las siguientes funciones:

- En este tejido tienen lugar las actividades esenciales de los vegetales, como la fotosíntesis, respiración, almacenamiento de reservas, secreción y excreción.
- Las células parenquimáticas asociadas a los haces vasculares, desempeñan un importante papel en el transporte de agua por los elementos traqueales no vivos y en el transporte de savia elaborada por los elementos cribosos (Cortés, 1980)
- Si se producen lesiones en el córtex, permite su reparación.
- Producen raíces adventicias (Uribe, 1991).

2.2.2.3. Tejido colenquimático

2.2.2.3.1. Origen.

Cortés (1980) reporta que existe controversia sobre el origen. Se considera que se origina del procambiúm o también del meristema fundamental.

2.2.2.3.2. Características

- Es un tejido simple, formado por un solo tipo de células que en su madurez tienen protoplasma vivo
- Presentan paredes celulósicas primarias muy engrosadas y sus células presentan un alto grado de extensibilidad, pues no están lignificadas sus paredes celulares.

- Pueden contener, en ocasiones, cloroplastos, consiguiendo desarrollar la fotosíntesis (Cortés, 1980)
- Si la pared de las células se impregna de lignina se convierte en esclerénquima (Uribe, 1991)
- Las células colenquimáticas pueden perder el grosor de sus paredes y reanudar la actividad meristemática (Cortés, 1980)

2.2.2.3.3. Clases

Existen tipos de colénquima (Figura 31), diferenciados entre ellos por el engrosamiento específico de sus paredes: angular, laminar y lagunar. En el primero caso, el engrosamiento de las paredes es en los ángulos de unión de las células; en el segundo caso, el engrosamiento es mayor en las paredes tangenciales que en las radiales; y, en el tercer caso, el engrosamiento se da principalmente alrededor de los espacios intercelulares (Cortés, 1980).

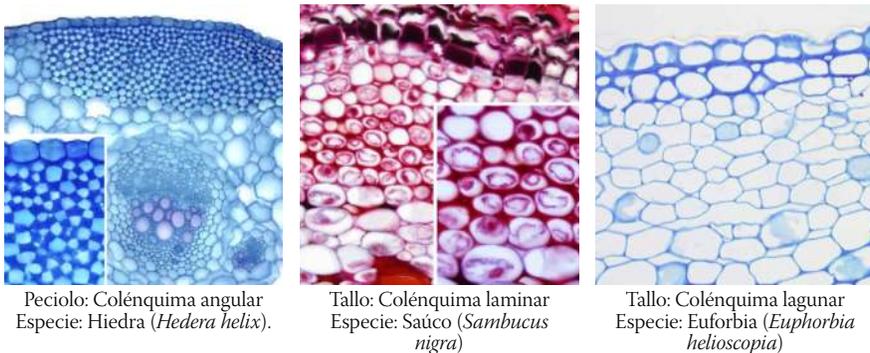


Figura 31. Tipos de tejido colenquimático (Megías *et al.* 2016).

2.2.2.3.4. Ubicación

Puede presentarse este tejido formando un cilindro completo cerca de la periferia del tallo o bien en forma de haces colenquimáticos, especialmente en peciolo y en muchos tallos. Se encuentra raramente en la raíz; pero si es expuesta a la luz solar aparece en la misma. Al estar en posición periférica en tallos y hojas puede aparecer inmediatamente debajo de la epidermis, o separadas de ésta por una o varias capas de células parenquimáticas. En las hojas puede encontrarse en un solo lado o ambos lados de las nervaduras, y a lo largo del limbo (Cortés, 1980)

2.2.2.3.5. Función

Es un tejido mecánico, cuya función principal es la de servir como sostén de los órganos que están en crecimiento, debido a la simultánea resistencia y extensibilidad de las paredes celulares (Cortés, 1980).

2.2.2.4. Tejido esclerenquimático

2.2.2.4.1. Origen

Este tejido se origina cuando se lignifican las paredes de las células de los tejidos parenquimáticos o colenquimáticos (Uribe, 1991). El cambium vascular también daría origen a las células esclerenquimáticas, como las fibras (Cortés, 1980)

2.2.2.4.2. Características

- Es un tejido muerto, de células con paredes engrosadas, a menudo duras y lignificadas.
- Presentan pared celular secundaria y las células en la madurez carecen de protoplasma vivo, siendo reemplazado por un espacio denominado lumen (Uribe, 1991).

2.2.2.4.3. Clases

El tejido esclerenquimático presente dos tipos de células: fibras y esclereidas.

2.2.2.4.3.1. Fibras esclerenquimáticas

Las fibras son células alargadas con sus extremos puntiagudos, y suelen presentar un lumen muy estrecho, debido al elevado grosor de las paredes celulares secundarias.

Las fibras se presentan en: raíces, tallos, hojas y frutos asociadas a diferentes tejidos. La disposición de las fibras en los tallos, es característica de las monocotiledóneas y dicotiledóneas. En muchas gramíneas, las fibras se disponen formando un sistema de forma cilíndrica con costillas que se hallan inmediatamente debajo de la epidermis.

En las dicotiledóneas, en los tallos se encuentran generalmente las fibras en la parte más exterior del floema primario, formando cordones o bien placas tangenciales. Algunas presentan por el contrario un cilindro completo de fibras, a veces unido a los tejidos vasculares o ciertas distancias de ellos, en la parte interna del córtex.

En las hojas de las monocotiledóneas las fibras pueden disponerse no solo formando una vaina alrededor de los haces vasculares, sino también entre dichos haces y la epidermis superior e inferior.

En las raíces la disposición de las fibras es semejante a las de los tallos, pudiendo mostrarlas tanto en el cuerpo primario como secundario.

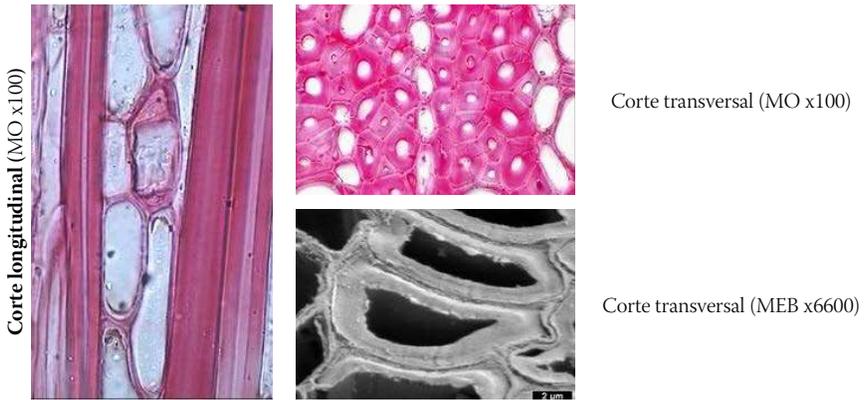
Existen algunas clases de fibras: fibras de xilema; fibras extraxilares (liberianas, corticales y perivasculares) (Cortés, 1980)

2.2.2.4.3.2. Células pétreas o esclereidas

Son células duras con sus paredes engrosadas, muy lignificadas y con abundantes poros. Tienen diferentes formas, son mucho más isodiamétricas que las fibras, a excepción de las tricoesclereidas, llamadas así por su semejanza con los pelos aéreos de la epidermis, hay hasta estrelladas pero casi nunca alargadas. Estas células se encuentran en las partes duras de las plantas, como: cubierta de semillas, endocarpio del coco y del ciruelo, pulpa de algunos frutos, en los ápices de ciertas hojas (Cortés, 1980; Uribe, 1991).

2.2.2.4.4. Función

Tanto las fibras y células pétreas cumplen la función mecánica o sostén de las plantas. En la Figura 32 se observan las células esclerenquimáticas.



A: Fibras libriformes en corte de leño de *Turnera hassleriana*¹⁵

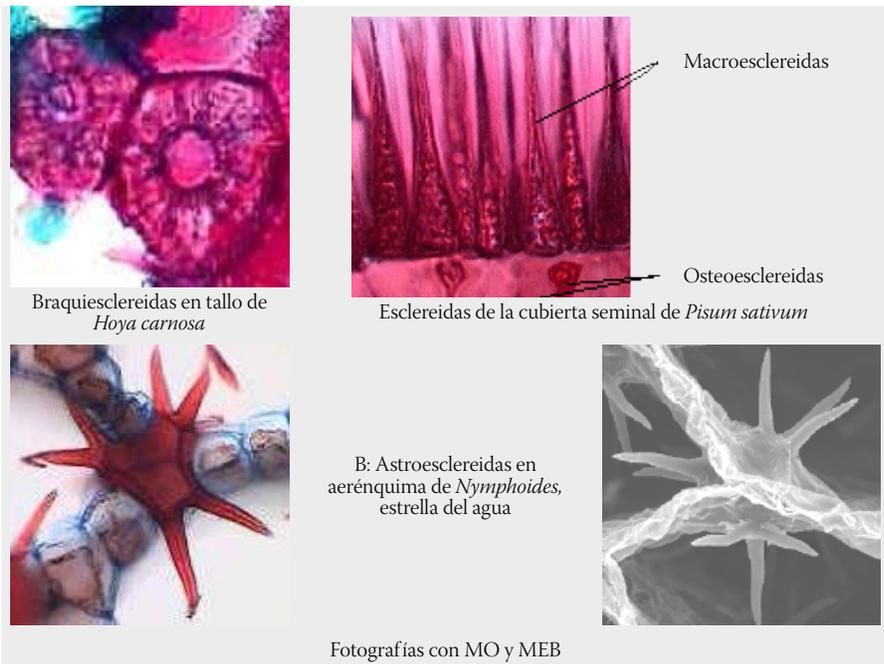


Figura 32. Células esclerénquimáticas: A , fibras libriformes (corte longitudinal y transversal), y B, tipo de esclereidas (González y Arbo, 2013)

15 Aumentos con MO, microscopio óptico y MEB, microscopio electrónico de barrido

2.2.2.5. Tejido epidérmico

2.2.2.5.1. Origen

Este tejido se origina a partir de la capa de células más externa del meristema apical (la protodermis), ya sea de células iniciales independientes, ya sea conjuntamente con las capas de células subyacentes (Cortez, 1980)

2.2.2.5.2. Características

- Es un tejido vivo, formado generalmente de una sólo capa de células que se encuentra en la parte externa de raíces, hojas y tallos jóvenes (Uribe, 1991); sin embargo, se dan casos de epidermis múltiple o pluriestratificada, como: epidermis de raíces aéreas y de plantas xerofíticas (Cortez, 1980).
- Las células epidérmicas tienen la forma tabular, rectangular, poligonal, alargadas, reniformes, estrelladas (Uribe, 1991) con bordes ondulados, como en el caso del lado abaxial de las hojas y pétalos de flores. A veces la morfología del órgano vegetal en que se encuentren determina en algún modo la forma de las células de la epidermis.
- No tienen espacios intercelulares, a excepción de la epidermis de los pétalos.
- Estas células presentan una gran vacuola. La pared celular es primaria, aunque pueden existir células con pared secundaria, por ejemplo en semilla y escamas.
- En la pared celular externa se deposita una sustancia grasa: la cutina, misma que, conjuntamente con la cera, constituye la cutícula. Esta capa cubre todas las partes del brote, incluso en las partes florales, y es continua en toda la superficie, su espesor varía en las distintas plantas, dependiendo de las condiciones ambientales y otros factores desconocidos.

En las partes aéreas de las plantas pueden encontrarse sobre la cutícula depósitos superficiales de resinas, ceras, aceites, etc. La cutícula no presenta poros y la cutina (sustancia grasa) no se descompone (Cortés, 1980). En la Figura 33 se observa la epidermis de: raíz, tallos y hoja de varias especies vegetales.

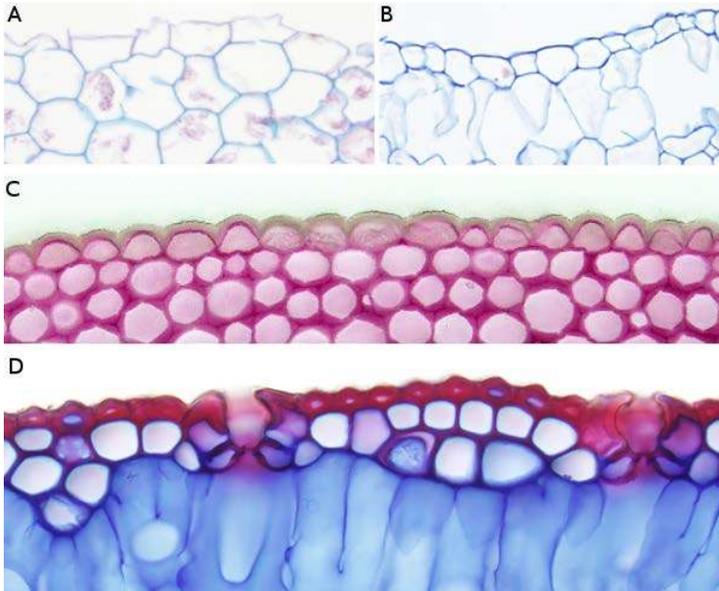


Figura 33. Epidermis de: raíz, tallo y hoja (Megías *et al.* 2016)

- A:** Raíz: Epidermis sin cutícula. Especie: Botón de oro (*Ranunculus repens*)
Técnica: Corte en parafina teñido con safranina / azul alcian
- B:** Tallo: Epidermis con cutícula fina. Especie: Patata (*Solanum nigra*).
Técnica: Corte en parafina teñido con safranina / azul alcian
- C:** Tallo: Epidermis con cutícula de grosor intermedio. Especie:
Equiseto *Equisetum* spp. Técnica: Corte en parafina teñido con safranina
/ azul alcian
- D:** Hoja: Epidermis suberificada con cutícula. Especie: Pino *Pinus* spp.
Técnica: Corte en vibratomo teñido con safranina / azul alcian

2.2.2.5.3. Clases de células epidérmicas

Puede considerarse dos categorías de células epidérmicas:

- **Células epidérmicas propiamente dichas (fundamentales)**, mismas que son los elementos menos especializados del sistema y que constituye la masa fundamental del tejido (Figura 34)

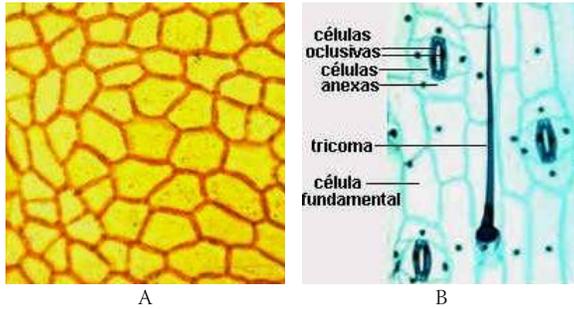


Figura 34. A, células fundamentales en la epidermis adaxial de *Rayleya bahiensis* y B, epidermis de *Tradescantia* en vista superficial (González y Arbo, 2013)

- **Células epidérmicas especializadas.** Son aquellas que cumplen funciones específicas, por ejemplo, las células oclusivas de estomas, los tricomas, pelos absorbentes (Cortés, 1980) (Figura 35).

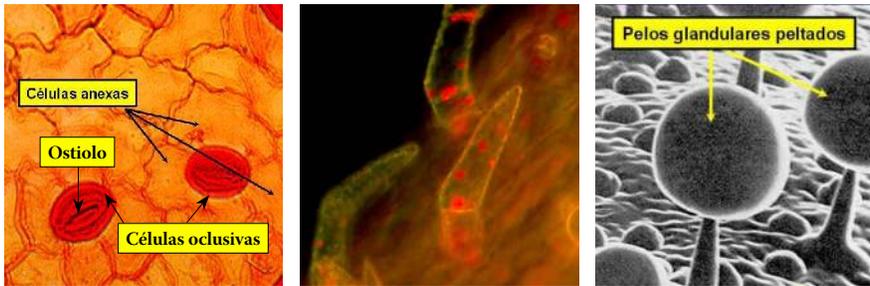


Figura 35. Células epidérmicas especializadas (estomas anisocíticos de geranio, pelo simple pluricelular en *Coleus* sp. y pelos glandulares en una hoja de *Panguicola grandiflora*) (García, 2003)

2.2.2.5.4. Ubicación del tejido epidérmico

El tejido epidérmico se encuentra en la parte superficial del cuerpo primario de la planta. Forma una capa que está en contacto directo con el ambiente y, debido a ello, está sujeta a una serie de modificaciones estructurales causadas por diversos factores ambientales (Cortés, 1980)

2.2.2.5.5. Función

En la parte aérea de la planta cumple funciones como: protección, limitación de la transpiración, intercambio de gases a través de los estomas, almacenamientos

de diversas sustancias y secreción. La epidermis de la raíz cumple funciones como: protección de los tejidos subyacentes y la absorción de agua y sustancias minerales del suelo (Cortés, 1980).

2.2.2.6. Peridermis

2.2.2.6.1. Origen

Tejido protección secundario, que reemplaza a la epidermis en tallos y raíces que tienen crecimiento secundario. Se forma por la actividad del cambium suberoso o felógeno (González y Arbo, 2013).

2.2.2.6.2. Características

Está constituido por: felógeno, corcho o felema y felodermis (Figura 36 A)

- el **felógeno**, el meristema secundario también llamado cambium suberógeno
- el **súber**, corcho o felema, tejido protector formado por el felógeno hacia afuera, con células muertas a su madurez (González y Arbo, 2013), pues pierden su protoplasma; cuyo espacio lleno de aire, por lo que este tejido tiene las propiedades de compresibilidad y ligereza. Consta de varias capas de células tabulares que se superponen en la parte más externa de los tallos, ramas y raíces viejas de plantas leñosas; sus células poseen una pared secundaria impregnada de suberina; al madurar algunas células del corcho se rompen dejando espacios denominados lenticelas (Figura 36 B), a través de los cuales se intercambian gases con el medio (Uribe, 1991).
- la **felodermis**, tejido parenquimático vivo formado por el felógeno hacia adentro (Figura 37 A)(González y Arbo, 2013)

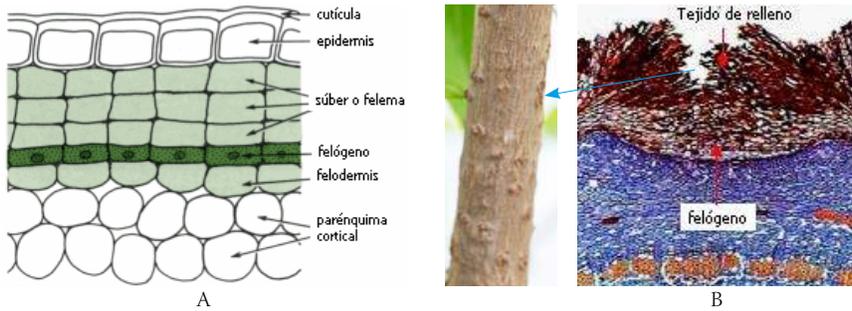


Figura 36. A, estructura de la peridermis¹⁶ (y B, imagen de una lenticela¹⁷ madura

2.2.2.6.3. Ubicación

Se encuentra en la parte más externa de los tallos y raíces de plantas con crecimiento secundario. También en dicotiledóneas herbáceas en las partes más viejas de tallos y raíces. Es la corteza externa (González y Arbo, 2013).

2.2.2.6.4. Función

La peridermis es el tejido de protección secundario que reemplaza a la epidermis en tallos y raíces que tienen crecimiento secundario (González y Arbo, 2013)

2.2.2.7. Tejido vascular

2.2.2.7.1. Origen

El tejido vascular es característico de las plantas superiores y constituyen un sistema distribuido a lo largo de toda la planta: desde las raíces hasta la última venilla de la nervadura foliar (Gómez-Álvarez *et al.* 2002). Se origina del procambium y cambium vascular (González y Arbo, 2013)

2.2.2.7.2. Clases y sus características

El sistema vascular de los vegetales está constituido por: xilema y floema.

16 Peridermis de un tallo tomado en https://web.archive.org/web/20090205134857js_/http://hiperbotanica.net/tema19/Tema19-3Peridermis.htm

17 Lenticela tomado en https://web.archive.org/web/20090205134901js_/http://hiperbotanica.net/tema19/Tema19-7Lenticelas.htm

2.2.2.7.2.1. Xilema

El xilema es un tejido complejo, puesto que dentro del mismo se encuentran células con protoplasma vivo como carente de él. Está constituido por los siguientes elementos:

Traqueidas. Son células muertas alargadas, termina en una punta roma y poseen poros laterales, con paredes secundarias lignificadas y con engrosamientos parietales. En un grupo de traqueidas los poros de una célula coinciden con los poros de la células contiguas. Según como se deposite la lignina en la pared secundaria, las traqueidas pueden ser: anilladas, espiraladas, escaleriformes, areoladas y reticuladas (Uribe, 1991).

La función básica de las traqueidas es el transporte de la savia bruta, también sirven de sostén de la planta (Uribe, 1991). En la Figura 37, se observa tipos de traqueidas.

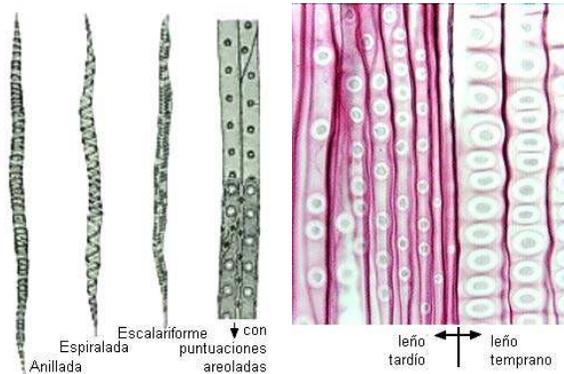


Figura 37. Tipo de traqueidas y traqueidas con puntuaciones areoladas circulares en *Pinus* (González y Arbo, 2013)

Elementos del vaso. Son células alargadas, con gruesas paredes, y no contienen normalmente protoplasma vivo en sus madurez. Los elementos del vaso son perforados, formando filas de células que se unen longitudinalmente y que están conectadas entre sí a través de perforaciones. En cuanto a las perforaciones suelen presentarse éstas en las paredes de los extremos, pero también pueden observarse a veces en una posición subterminal e incluso lateral (Cortés, 1980). El engrosamiento de la pared no es uniforme, según la forma como se deposite la lignina en la pared celular los elementos del vaso se clasifican en: anillados o anular, espiralados, escaleriformes, aureolados o punteados y reticulados

(Uribe,1991). En la Figura 38, se observan algunos ejemplos de elementos de vaso.

La función de los vasos es el transporte de agua y minerales y sostén de las planta(Uribe, 1991).

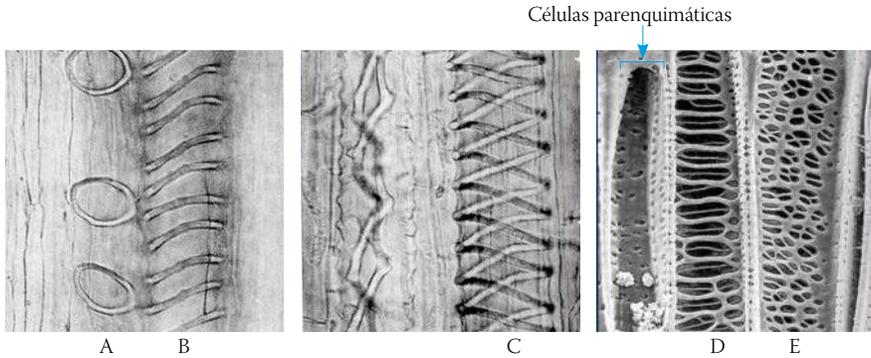


Figura 38. Diversos tipos de elementos de los vasos: A anular; B helicado laxo; C doble helicado; D mixto escaleriforme; y, E, reticulado (García, 2003).

Fibras del xilema. Son fibras esclerenquimáticas, con paredes fuertemente lignificadas. Estas estructuras son más largas y delgadas que las traqueidas, terminan en punta aguda y no poseen poros o los tienen en poca cantidad. La función de las fibras es de carácter mecánico

Parénquima del xilema. Es similar al parénquima que se encuentra en el resto de la planta. Su función es el almacenamiento de sustancias; en algunos casos, sobre todo en el xilema secundario llega a lignificarse(Uribe, 1991)

El xilema según el desarrollo de la planta puede ser: xilema primario y xilema secundario. El primero se diferencia a partir del procambium, tejido meristemático primario, que está situado por debajo de los ápices, tanto del brote como de la raíz. Mientras dura el crecimiento de la planta, se forma continuamente nuevo xilema primario a partir de estas células procedentes de los meristemas apicales. El xilema secundario, en las plantas con crecimiento secundario, se origina debido a la actividad del cambium vascular (Cortés, 1980).

Las angiospermas tienen en el xilema los cuatro tipos de células indicadas anteriormente (traqueidas, elementos del vaso, fibras y parénquima). Las

Pinophytas (gimnospermas), en su xilema no poseen elementos del vaso, por lo cual transportan el agua y los minerales por las traqueidas (Uribe, 1991)

2.2.2.7.2.2. Floema

El floema o líber es el tejido más importante de que disponen las plantas vasculares para el transporte de sustancias nutritivas elaboradas. Es un tejido complejo, formado por células especializadas en determinadas funciones. Estas son: los elementos cribosos, células acompañantes, parénquima y fibras. También pueden estar asociadas con el floema células secretoras o diversos tejidos, como en las plantas con un sistema de conductos laticíferos. El floema puede ser primario (que a su vez puede ser protofloema y metafloema) y secundario, el primero se origina del procambium durante el crecimiento primario de la planta; y, el segundo a partir del cambium vascular, durante el crecimiento secundario.

Elementos cribosos. Existen dos clases de elementos cribosos: las células cribosas, menos especializadas, y los elementos de los tubos cribosos, cuya especialización es mayor. Son células vivas. Los elementos de los tubos cribosos se encuentran dispuestos longitudinalmente uno a continuación de otro, formando los tubos cribosos.

Los elementos cribosos presentan la particularidad de que en sus paredes se desarrollan las llamadas áreas cribosas, las cuales se observan en sus paredes laterales y a veces también en sus paredes terminales. Cuando en una determinada célula aparece en la pared una región que presentan las áreas cribosas con las perforaciones notablemente mayores, se la denomina placa cribosa. Estas estructuras suelen presentarse en las paredes terminales que separan entre sí a los elementos de los tubos cribosos de la mayoría de las angiospermas. Una placa cribosa puede ser simple (una sola área cribosa especializada) o compuesta (más de una). Los poros de la placa cribosa, por donde se dan las prolongaciones citoplasmáticas están rodeadas normalmente a su paso por las perforaciones por el carbohidrato calosa (polímero de restos de glucosa). Conforme el elemento criboso va envejeciendo, aumenta en sus áreas cribosas la cantidad de calosa, oprimiendo las conexiones citoplasmáticas.

En la mayoría de las angiospermas, los elementos cribosos están asociados estrechamente con células nucleadas, las llamadas células acompañantes (Cortez, 1980).

La función del tubo criboso consiste en transportar savia elaborada (translocación) desde lugares fotosintéticos hasta los sitios de almacenamiento y/o consumo (Uribe, 1991)

Células acompañantes. Son células parenquimáticas muy especializadas que se suelen encontrar asociadas a los elementos de los tubos cribosos de las angiospermas. Estas células se originan de la misma célula madre de los tubos cribosos a los que acompañan. Y se piensa que guardan con éstos una estrecha relación fisiológica y funcional.

Células parenquimáticas. Además de las células acompañantes, en el floema se encuentran otras células parenquimáticas, que llevan a cabo mucha de las actividades que le son propias, sobre todo en el almacenamiento de diversas sustancias de reserva (almidón, grasa, tanino y resinas)

Fibras del floema. También conocidas como fibras liberianas, se encuentran tanto en el floema primario como secundario, desarrollándose en el primer caso cuando el órgano todavía está creciendo en longitud, el origen de estas fibras es el procambium. Y en el segundo caso se desarrollan a partir del cambium vascular. Éstas fibras forman paredes secundarias después de completar su alargamiento (Cortés, 1980)

Las angiospermas en su floema tienen las cuatro clases de células indicadas anteriormente. Las gimnospermas en cambio, no poseen células acompañantes ni elementos de los tubos cribosos; pero poseen células cribosas (Uribe, 1991).

En la Figura 39, se puede observar determinadas características de los elementos de los tubos cribosos.

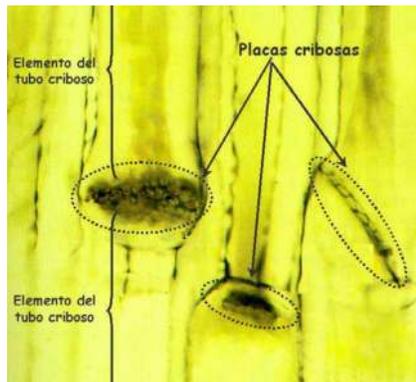


Figura 39. Sección longitudinal de los elementos del tubo criboso (García, 2003)

2.2.2.7.3. Ubicación

Los tejidos conductores se distribuyen por todo el cuerpo de la planta: raíces, tallos y hojas.

2.2.3. Anatomía y morfología de las plantas

El cuerpo de una planta está estructurado por dos sistemas: El sistema caular y el sistema radical (Uribe, 1991), son bien definidos. En la Figura 40 se puede apreciar los diferentes componentes del cuerpo de plantas herbáceas

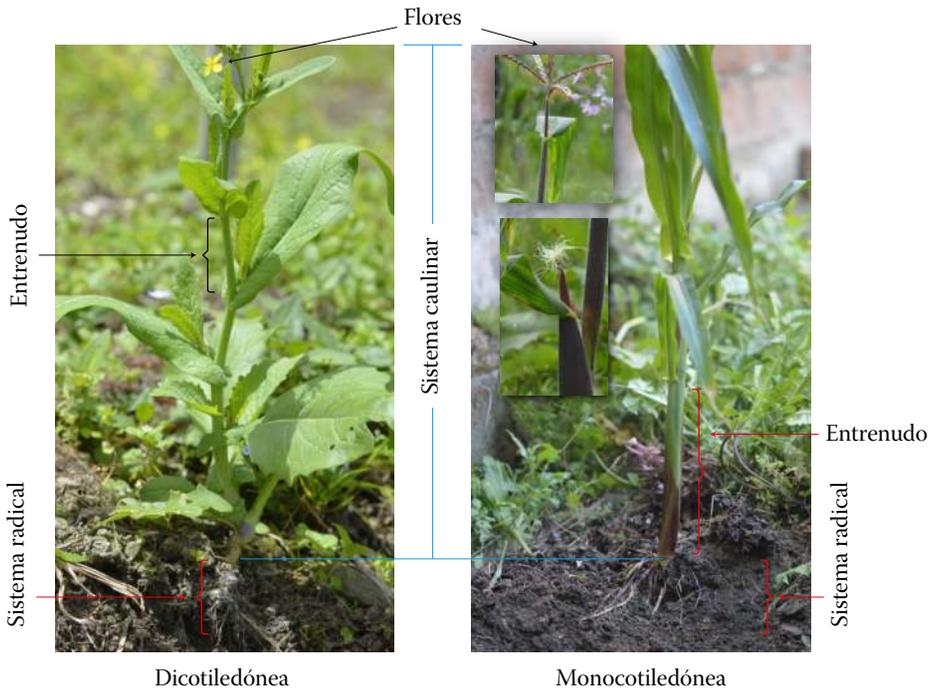


Figura 40. Estructura del cuerpo de plantas: dicotiledónea y monocotiledónea

Se hace una descripción general de los componentes de cada uno de los sistemas del cuerpo de la planta.

2.2.3.1. Sistema radical¹⁸

El sistema radical comprende la raíz y sus ramificaciones.

¹⁸ El estudio del sistema radical se hace, especialmente, en base a la obra de Uribe (1991): *Botánica General*. 2 ed. Medellín, Col: Universidad de Antioquia. pp 72-86

2.2.3.1.1. La raíz

2.2.3.1.1.1. Definición de raíz

Es el órgano vegetativo generalmente subterráneo de las plantas terrestres, que sirven a las mismas para su anclaje y la absorción de nutrientes del suelo. Se origina en la radícula del embrión. Tiene, además, las siguientes características: geotropismo positivo; carecen de nudos y yemas, con excepción de algunas plantas, que al disponer de yemas posibilita la propagación vegetativa; generalmente no poseen cloroplastos, con la salvedad de algunas raíces aéreas; y, determinadas raíces, almacenan grandes cantidades de sustancias de reserva.

2.2.3.1.1.2. Estructura de la raíz

La raíz tiene estructura externa e interna, con características especiales según corresponda a plantas: dicotiledóneas o monocotiledóneas.

Estructura externa de la raíz. Como componentes de la estructura externa se consideran los siguientes: cuello, zona de ramificación, zona pilífera, zona de diferenciación, zona de elongación, meristema apical y cofia. En la Figura 41 se observa la morfología o estructura externa primaria y las partes estructurales de las raíces de una dicotiledónea.

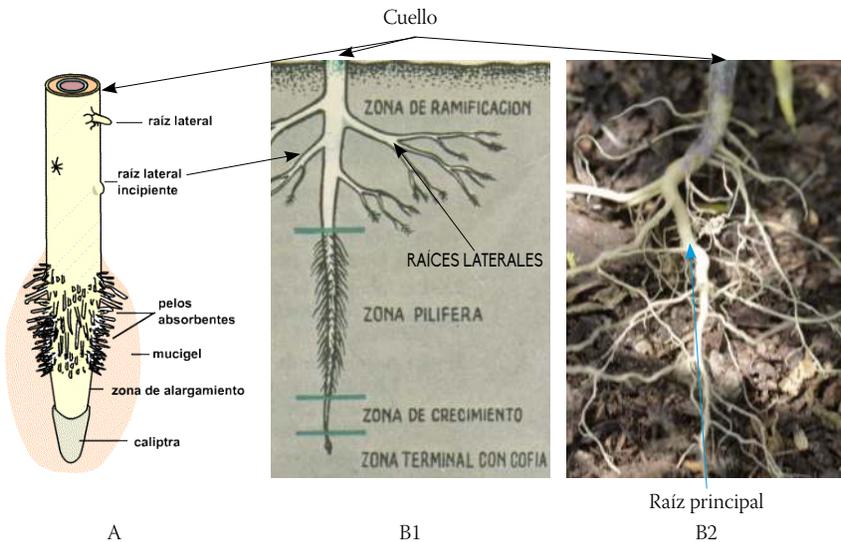


Figura 41. A, morfología externa de una raíz primaria (González y Arbo, 2013), B1¹⁹ y B2 morfología externa de una raíz de dicotiledónea.

19 Estructura externa de una raíz de dicotiledónea, tomado en <http://www.escuelapedia.com/partes-de-la-raiz/>

El cuello, es el sitio de unión de la raíz y el tallo de la planta.

Zona suprapilífera, es la zona más vieja. En raíces de plantas leñosas completamente desarrolladas, esta zona se cubre de corcho por lo cual pierde su capacidad para absorber sustancias.

Zona pilífera, Es la parte donde se encuentran los pelos absorbentes, mismos que son células epidérmicas alargadas. Estos pelos absorben agua y nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la plantas. Las plantas acuáticas comúnmente no poseen pelos absorbentes, si los poseen son poco desarrollados

Zona de diferenciación. Es la región donde los tejidos meristemáticos se diferencian en tejidos definitivos de la raíz.

Zona de elongación. Las células que se multiplican en el tejido meristemático apical experimentan alargamientos, lo que permite un crecimiento en longitud de la raíz.

Meristema apical. Se encuentra en el parte subterminal de la raíz. Está constituido por células meristemáticas, que están siempre multiplicándose, situación que determina el crecimiento en longitud de la raíz

Cofia. Es una estructura que protege al meristemo apical de la raíz. Está formado por tejido paranquimático. A medida que la raíz penetra en el suelo, las células externas de la cofia se van desgastando, pero son reemplazadas por otras.

Estructura interna de la raíz. Esta estructura tiene sus particularidades específicas, depende del estado de desarrollo y a la clase de plantas que pertenece. En consideración del estado de desarrollo, se establece la existencia de: estructura interna del cuerpo primario y estructura interna del cuerpo secundario de la raíz.

A partir de la germinación de la semilla se forma el cuerpo primario de la raíz, específicamente a partir del meristemo apical, ubicado en el extremo inferior de la radícula del embrión. Las células de este meristemo se dividen y experimentan ligeros cambios lo que da origen a tres tejidos meristemáticos primarios: la protodermis, el meristema fundamental y el procambium, mismos que dan origen a los tejidos definitivos de la raíz. Debido a la división de las

células, el cuerpo primario tiene un crecimiento en longitud o crecimiento primario.

Si las plantas corresponden a las dicotiledóneas, especialmente leñosas, en determinada etapa, en sus raíces aparecen tejidos secundarios, lo que permite la formación del cuerpo secundario de la raíz.

Los tejidos del cuerpo primario de la raíz (a nivel de zona pelífera) de una planta dicotiledónea son los siguientes:

Epidermis. Se origina a partir de la **protodermis**. Es la capa externa de la raíz, no posee cutícula y su función es la de protección y, si ha formado pelos absorbentes, la de absorber agua y minerales.

Córtex. Ocupa el mayor volumen de la raíz y se origina del meristema fundamental. El córtex está estructurado por los tejidos:

- **Exodermis.** Parte subepidérmica. Está formada por células parenquimáticas, pueden contener bandas de caspary o una laminilla de suberina en el interior de la pared primaria.
- **Parénquima cortical.** Se encuentra hacia la parte central a continuación de la exodermis. Las paredes de sus células son delgadas, con espacios intercelulares irregulares. Almacena sustancias de reserva.
- **Endodermis.** Rodea el cilindro central. Inicialmente las paredes de sus células poseen celulosa, pero luego, se depositan en ellas suberina con lo que se forma las denominadas capas o **bandas de caspary**, a excepción de las partes (células de paso) que se encuentran frente a los brazos del xilema, región por donde ingresa el agua y minerales absorbidos del suelo.

Estela. Forma el cilindro central del cuerpo primario de la raíz. Se origina del procambium y consta de los tejidos:

- **Periciclo.** Está formado por tejido parenquimático de una o varias células de espesor. A partir de periciclo se originan las raíces laterales o secundarias y, por diferenciación de sus células,

al cambium del corcho o felógeno y parte del cambio vascular, que permitirán el crecimiento secundario de las raíces.

- **Tejidos vasculares primarios.** Se llaman así por ser los primeros en formarse. Estos tejidos están integrados por el xilema y floema primarios. El primero se dispone en una especie de brazos y los segundos se alternan con estos brazos. Generalmente las raíces de los dicotiledóneas poseen pocos brazos (pueden ser diarcas, triarcas, tetrarcas y pentarcas, si poseen dos, tres, cuatro y cinco brazos, respectivamente). Las raíces de las monocotiledóneas son poliarcas (más de cinco brazos). La raíz de una dicotiledónea además de los brazos del xilema, poseen este tejido en su región central.
- **Cambium vascular.** Tejido meristemático de varias células de espesor con paredes delgadas, que bordean el xilema y lo separan del floema. El cambium vascular (tejido meristemático secundario) da origen al xilema y floema secundarios, para el crecimiento en grosor de la raíz.

Los tejidos de las raíces de las monocotiledóneas son los mismos que presentan las dicotiledóneas, a excepción del cambium vascular, que carecen de este tejido. Pero es necesario señalar que existen diferencias en la estructura de las raíces de estos tipos de plantas, tiene muchos brazos del xilema, dejando en su centro una médula constituida por tejido parenquimático, que se origina en el procambium y almacena sustancias. Las diferencias estructurales de las raíces de dicotiledóneas y monocotiledóneas, se observan en la Figura 42.

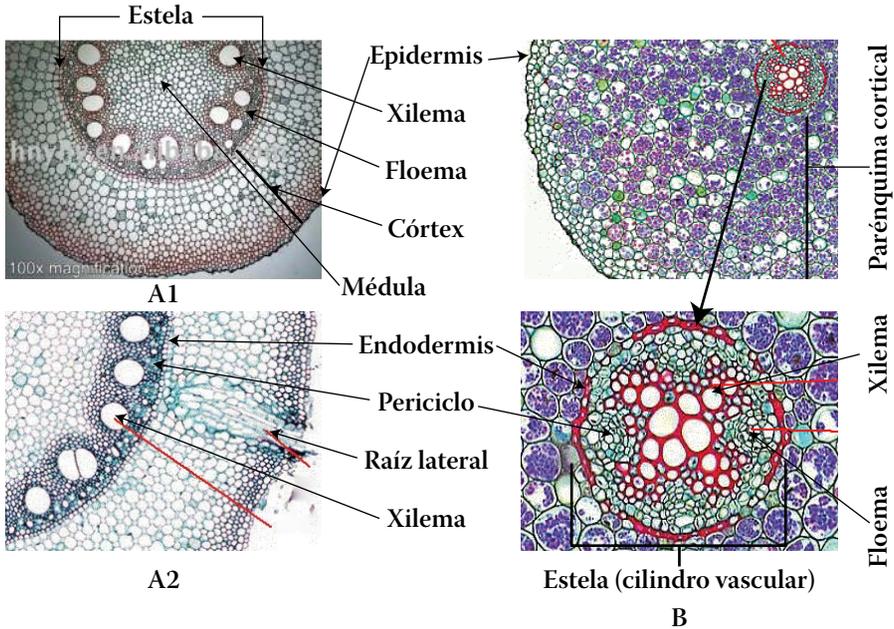


Figura 42. Estructura primaria de raíces: A1²⁰ y, A2, monocotiledónea (*Zea mays*) y B, dicotiledónea (*Ranúnculus sp.*) (Raisman y González, 2007)

El sistema radical en una planta comprende la raíz principal y raíces secundarias. Las secundarias tienen su origen en el tejido interno denominado periciclo, por lo tanto son de origen endógeno (Uribe, 1991).

Los tejidos del cuerpo secundarios de las raíces, que es posible en las plantas dicotiledóneas leñosas, son originados por el cambium vascular y el felógeno. El cambium vascular hacia el interior de la raíz forma el xilema secundario y hacia fuera el floema secundario que desplaza al floema primario y demás tejidos, también forma los radios vasculares. El felógeno, que se origina inicialmente por diferenciación de las células externas del periciclo y luego a partir del floema más antiguo, origina hacia la parte externa de la raíz el corcho o súber y hacia el interior de la misma, puede producir el felodermo.

El cambium vascular y el felógeno posibilitan el crecimiento secundario o en espesor de las raíces. En la Figura 43 se observa la estructura del cuerpo secundario inicial (dicotiledónea) y definitivo de *Tilia* (dicotiledónea) y *Metasequoia* (gimnosperma) de la raíz.

20 Estructura de raíz de monocotiledónea tomado en <http://spanish.alibaba.com/product-gs-img/laboratorio-preparados-preparado-portaobjetos-del-microscopio-diapositivas-joven-ra-z-de-zea-mays-t-s--450130679.html>

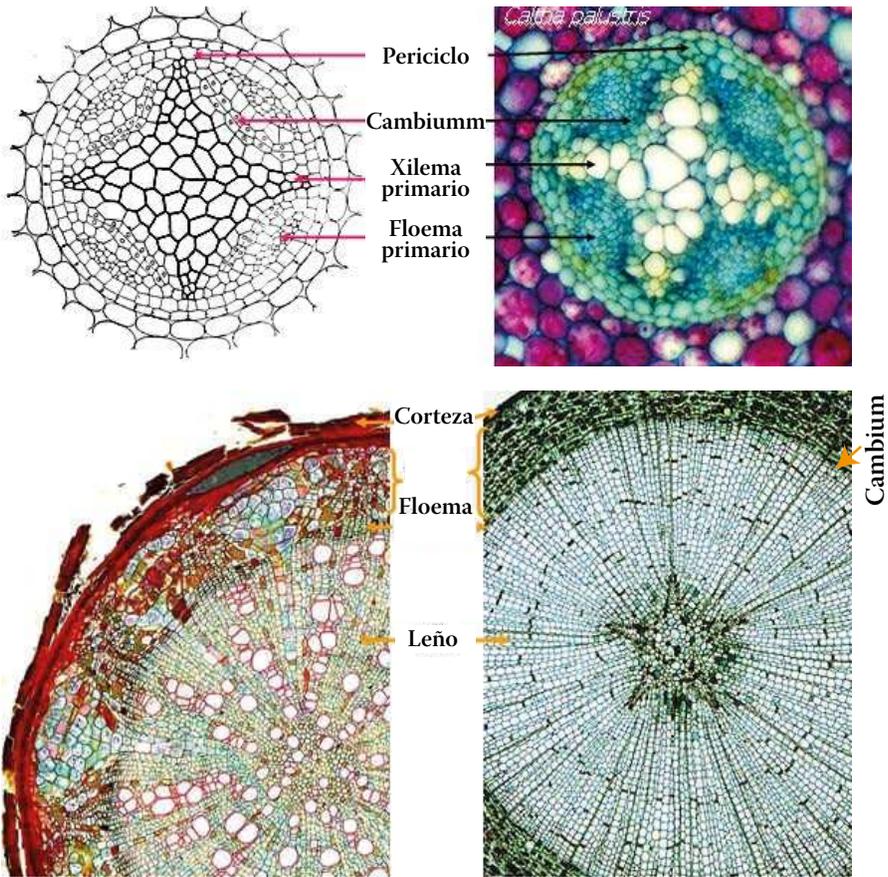


Figura 43. Estructura secundaria inicial de raíz de dicotiledónea y definitivo de *Tilia* y *Metasequoia* (gimnosperma) (González y Arbo, 2013)

2.2.3.1.1.3. Clasificación de las raíces

Para la clasificación de la raíz se considera: el origen, morfología y modificaciones.

Seguro el origen. Las raíces pueden ser:

- **Raíz primaria o principal.** Se desarrolla a partir de la radícula del embrión.
- **Raíces secundarias.** Son de origen endógeno, a partir del periciclo.
- **Raíces adventicias.** Se desarrollan en cualquier parte de la planta diferente a la raíz. En la Figura 44 se observa las tres clases de raíces indicadas anteriormente.

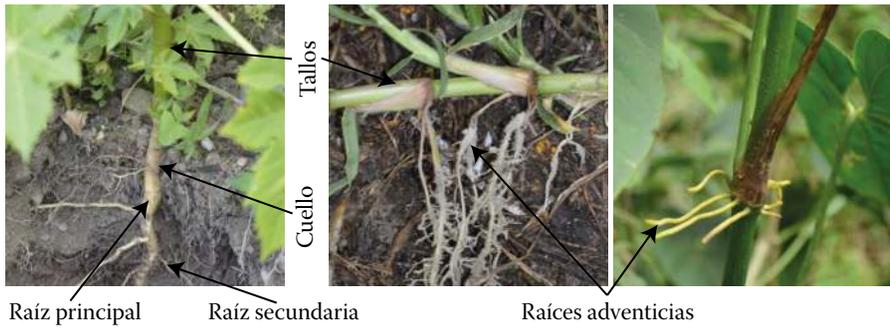


Figura 44. Raíces según el origen: principal, secundarias y raíces adventicias.

Según la morfología. Las raíces pueden ser pivotantes y fibrosas.

Raíces pivotantes, fusiforme o axonomorfa. En este caso se distingue una raíz principal y raíces secundarias o laterales. Este sistema de raíces es característico en árboles y plantas dicotiledóneas.

Raíces fibrosas, difusas o fasciculadas. En este sistema, la raíz principal crece poco, y más las raíces secundarias y adventicias, que pronto forman una especie de cabellera, en las que todas las raíces tienen más o menos las mismas dimensiones.

En la Figura 45 se aprecia los dos casos anteriores.

Tanto las raíces pivotantes como las fibrosas pueden ser carnosas. Esta clase de raíces almacenan considerables sustancias de reserva. Según las características específicas que se observa en la Figura 46, pueden ser: cónicas, napiformes, tuberosas y moniliformes.

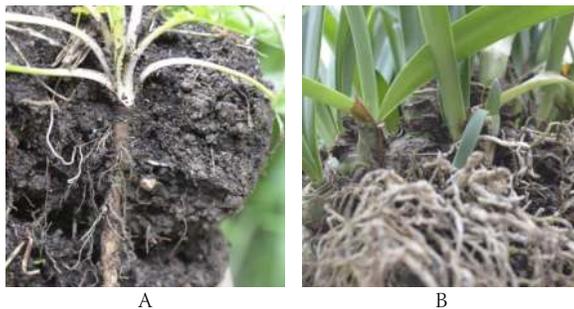


Figura 45. Tipos de raíces según la morfología: A, pivotante (dicotiledónea) y B, fibrosa (monocotiledónea)



Figura 46. Tipo de raíces carnosas

Raíces modificadas. Este tipo de raíces (Figuras 47 y 48) han adquirido características especiales derivadas de la adaptación al medio y otros factores; pueden ser:

Neumatóforos. Son raíces que salen del interior del suelo para absorber aire, por lo tanto tienen geotropismo negativo. Este caso se da en medios acuáticos y pantanos, como es el caso de ciertos mangles.

Zancos o raíces fúlcreas. Son raíces adventicias que nacen en los nudos más inferiores del tallo y sirven para al anclaje de la planta.

Adherentes. Estas raíces les permiten a determinadas plantas, como las orquídeas, fijarse en otras plantas o a un soporte especial.

Columnares. Son raíces adventicias que nacen en las ramas, luego crecen verticalmente hasta introducirse en el suelo. Ejemplo en el caucho (*Ficus elastica*).



Figura 47. Tipo de raíces modificadas

21 Raíces neumatóforos tomado en <http://www.bioscripts.net/2014/01/14/neumatoforo/>

Tabulares. Son prolongaciones de las partes superiores de la raíz, formando una especie de tablones, que ayudan al soporte de la planta. Se encuentra este caso, por ejemplo, en los ceibos, pachaco, higuerón.

Chupadoras o haustorios. Este tipo de raíces tienen las plantas parásitas y extraen el alimento de la planta huésped. Este caso, es común en las plantas de la familia Loranthaceae.



Figura 48. Tipo de raíces modificadas

2.2.3.1.1.4. Funciones y usos de la raíz

Las raíces cumplen funciones como:

- Sostén de la planta.
- Absorción de nutrientes.
- Conducción de sustancias.
- Reproducción vegetativa.
- Almacenamiento de sustancias de reserva.

La raíz puede ser utilizada en:

- En la alimentación: yuca, camote.
- En la Industria: almidones, azúcar.
- En la medicina: jícama

2.2.3.2. Sistema caulinar

El sistema caulinar comprende el tallo, ramas y hojas de la planta.

²² Raíz tabular tomado en http://es.wikipedia.org/wiki/Terminolog%C3%ADa_descriptiva_de_las_plantas

2.2.3.2.1. El tallo²³

2.2.3.2.1.1. Definición del tallo

El tallo es un órgano vegetativo de la planta, generalmente aéreo, con geotropismo negativo y fototropismo positivo. Sirve de sostén de ramas, hojas, flores y frutos. Tiene diferente tamaño, consistencia y forma, dependiendo a la clase de planta que pertenece.

El sistema caulinar se origina de la plúmula del embrión. En ésta se forma una yema apical, constituida en su parte terminal, por el meristema apical (Figura 49)

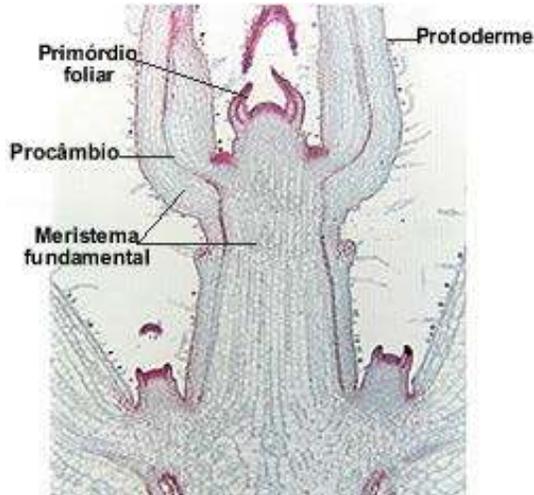


Figura 49. Sección longitudinal del ápice del tallo (Meristema caulinar de *Coleus* sp. (Maria de Castro, s/f).

Las células de este tejido ligeramente se diferencian y dan origen a: la protodermis, meristema fundamental y procambium que, a su vez, formarán los tejidos definitivos del cuerpo primario del tallo.

Debido a que las células del meristema apical están siempre dividiéndose, posibilita el crecimiento en longitud o crecimiento primario del tallo.

En la Figura 49 se observa la sección longitudinal del ápice del tallo.

²³ Para el estudio del tallo, se toma en cuenta las obras de: Uribe, F. 1991. Botánica general, p. 88-118, y Marzoca, A. 1985. Nociones básicas de taxonomía vegetal, p. 68-70.

El tallo tiene estructura externa e interna, con características específicas, dependiendo al tipo de planta que pertenece.

2.2.3.2.1.2. Estructura externa del tallo

En esta estructura (Figura 50) se observa las siguientes partes: nudos, entrenudos, yemas y lenticelas.

- **Nudos.** Son sitios donde se desarrollan las hojas.
- **Entrenudos.** Es la sección que comprende entre dos nudos.
- **Yemas.** Están constituidas por tejido meristemático. Se encuentran en las partes terminales del tallo, axilas de las hojas y a veces, en otros sitios del tallo. Según esto se clasifican en:

Yema apical. Se encuentra en el extremo del tallo principal y de las ramas. Esta protegida por hojas modificadas. Su función es la producción de tejidos para el crecimiento en longitud de la planta.

Yemas axilares o laterales. Éstas se encuentran en las axilas que forma la hoja con el tallo. Pueden ser foliares o florales, dependiendo si dan origen a una rama o flor, respectivamente.

Yemas adventicias. Este tipo de yemas aparecen en partes diferentes a los sitios señalados anteriormente.

- **Estípulas.** Son hojas modificadas que generalmente se disponen en pares y protegen la yema axilar, solo se presentan en algunas plantas, como el café y el frijol.
- **Cicatriz.** Es una huella que queda en el tallo cuando cae una hoja, una yema o se produce una lesión.
- **Lenticelas.** En algunos tallos, dependiendo su estado de desarrollo, aparecen, en la corteza, unos poros, ligeramente conspicuos, denominados lenticelas, a través de los cuales se intercambian gases entre el tallo y el medio.

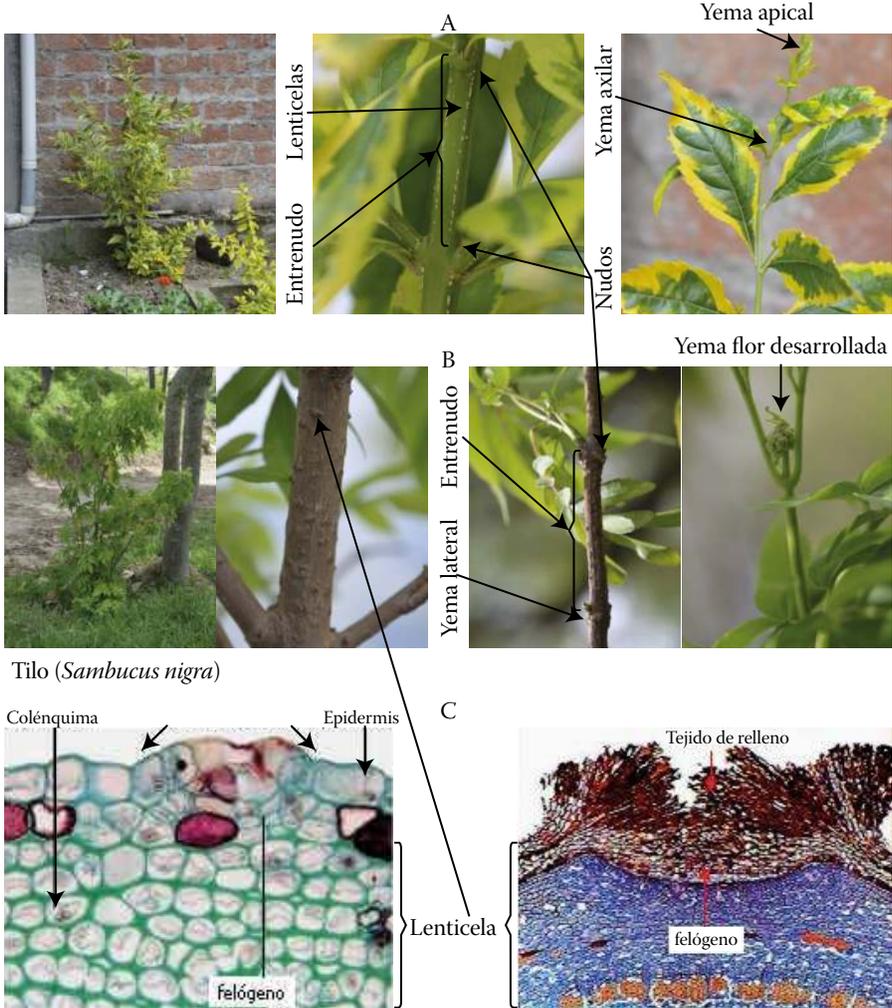


Figura 50. Estructura externa de tallos: A, Duranta; B, Tilo; y C, estructura interna de una lenticela²⁴

Del tallo principal que se desarrolla de la plúmula del embrión, generalmente, nacen ramificaciones de dos tipos (Figura 51):

- Ramificación monopódica o excurrente, cuando se diferencia claramente un eje principal dominante y de él salen las ramificaciones. Este caso se da, por ejemplo, en los pinos y ciprés.

²⁴ Estructura interna de una lenticela tomada en <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema19/Tema19-7Lenticelas.htm>

- Ramificación simpódica o delicuescente, cuando no es posible diferenciar un eje principal, sino varios, como sucede en determinados arbustos.



Figura 51. Tipo de ramificaciones de los tallos

Estructura interna del tallo del cuerpo primario de una dicotiledónea y monocotiledónea

La estructura interna del cuerpo primario de una planta dicotiledónea (Figura 52 A), en un corte transversal se puede observar los siguientes tejidos:

Epidermis. Se origina de la protodermis, ocupa la parte más externa del tallo y está cubierta de la cutícula.

Córtex. Se encuentra ubicado bajo la epidermis y se extiende hasta la parte más externa del haz vascular. Está constituido por los tejidos:

- **Colénquima.** Está formado por varias capas de células y se encuentra bajo la epidermis.
- **Parénquima cortical.** Está formado por varias capas de células.
- **Clorénquima.** Tejido parenquimático con cloroplastos. Se presenta en tallos herbáceos.
- **Esclerénquima.** Se presentan en algunas plantas como fibras dispersas en el córtex.
- **Células secretoras.** No se siempre se presentan pero en algunas especies son muy abundantes.

Estela. Es la parte central del cuerpo primario del tallo. Está formada por los tejidos:

- **Tejidos vasculares primarios.** Están formados por: esclerénquima, xilema, floema y cambium vascular, dando en su conjunto una apariencia ovalada.
 - **Esclerénquima.** Es la parte más externa del haz. Está formado por fibras esclerenquimáticas pertenecientes al floema primario.
 - **Floema primario.** Está formado por células grandes correspondientes a los elementos del tubo criboso, células acompañantes y parénquima del floema.
 - **Cambium vascular.** Se distingue dos clases: el fascicular que separa el xilema del floema y se origina del procambium; y, el interfascicular que se encuentra entre dos haces vasculares y se forma por la diferenciación de las células parenquimáticas.
 - **Xilema primario.** Con células que corresponden a los elementos del vaso, traqueidas, fibras del xilema y parénquima del xilema.
- **Médula.** Ocupa la parte central del tallo. Está formada por tejido parenquimático de almacenamiento. No es común encontrarla en tallos de plantas monocotiledóneas.

Parénquima interfascicular. Recibe este nombre la parte del parénquima que se encuentra entre dos haces vasculares y que comunica el córtex con la médula.

La estructura interna del cuerpo primario del tallo de una planta monocotiledónea (Figura 52 B), tiene los mismos tejidos que las dicotiledóneas, a excepción del cambium, que carecen del mismo. Una diferencia sustancial es que los haces vasculares se encuentran dispersos en el tallo y están rodeados por una vaina de esclerénquima.

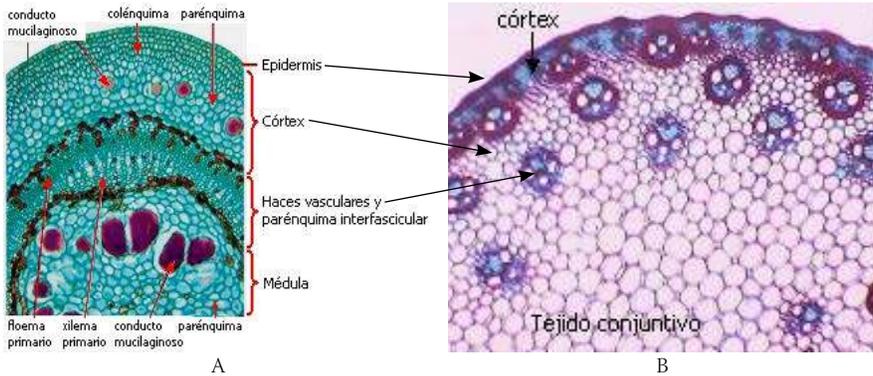


Figura 52. Corte transversal de tallos de: A, *Tilia sp* (dicotiledónea) y B, *Seteria geniculata* (monocotiledónea) (González y Arbo, 2013)

Estructura interna secundaria del tallo:

La estructura secundaria es posible en los tallos de las dicotiledóneas leñosas y Pinophytas. Estas plantas en cierta etapa de su desarrollo, crecen en grosor, debido a dos tipos de tejido: cambium vascular y cambium del corcho, que en su conjunto se denominan tejidos meristemáticos secundarios. Estos tejidos determinan el crecimiento secundario de los tallos. A continuación se especifican los tejidos que se derivan de los meristemas secundarios:

Cambium vascular. Está formado por dos tipos de células:

- Las iniciales de radio que producen células para que los radios medulares se ajusten al crecimiento en diámetro. Los radios producidos en el crecimiento secundario reciben el nombre de *radios vasculares* por tener su origen en el cambio vascular.
- Las fusiformes son alargadas y producen tejidos vasculares secundarios así: hacia el exterior el floema secundario y al interior el xilema secundario (madera). Desplazando en el primer caso al floema primario hacia fuera y en el segundo caso, el xilema primario hacia la médula.

El cambium vascular al igual que los otros meristemas tienen fluctuaciones estacionales, es decir, no es igualmente activo en todas las épocas del año, notándose un cese o disminución de la división celular en la época de invierno de las zonas templadas

El floema secundario se produce en menor proporción que el xilema secundario (madera). Este último tejido, dependiendo de las condiciones climáticas, especialmente de las condiciones de la precipitación, sus células se multiplican y desarrollan en proporciones variables, lo que determina la formación de anillos anuales.

Cambium del corcho o felógeno. Se origina por la diferenciación de células parenquimáticas más externas del córtex y producen hacia el exterior el corcho y felema y hacia el interior felodermo. El felema, el felógeno y el felodermo forman un tejido denominado peridermo.

Tanto el cambium vascular como el felógeno, son los tejidos que determinan el crecimiento secundario o en diámetro del tallo. En la Figura 53 se puede apreciar la estructura de una planta leñosa.

En el corte transversal de un tallo leñoso envejecido se observa que el xilema presenta dos zonas bien diferenciadas: *duramen*, es la región más vieja, de coloración más intensa y ha perdido la capacidad de transportar el agua y nutrientes, debido a la obstrucción de sus células por la deposición de taninos, carbohidratos, látex, gomas, resinas y por el desarrollo de tilosa; y la *albura* que constituye la parte más periférica y más joven y está en actividad puesto que transporta la savia bruta.

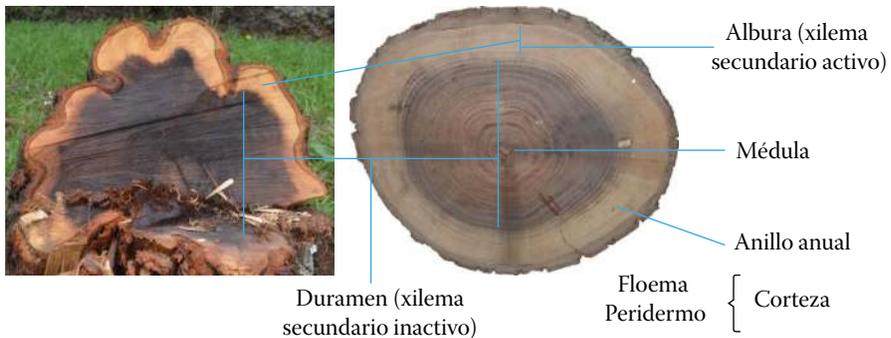


Figura 53. Estructura secundaria de un tallo de una planta leñosa

2.2.3.2.1.3. Clases de tallos

Los tallos se clasifican en función de: hábitat, consistencia, hábito de crecimiento, forma y tallos modificados

Según el hábitat, los tallos pueden ser: aéreos, subterráneos y acuático (Figura 54)

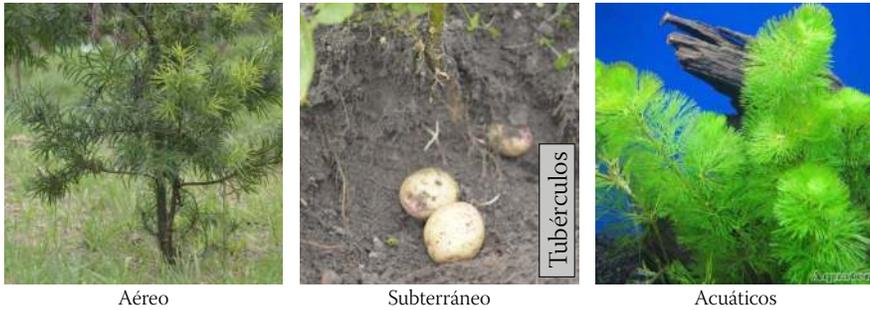


Figura 54. Tipos de tallos según el hábitat: aéreo; subterráneo (tubérculo de la papa); y, acuático²⁵

En consideración de la consistencia los tallos se clasifican en: leñosos (Figura 55), mismos que se subdividen en: árboles (con altura superior a los 5 metros, tienen un tronco principal con ramificaciones a una distancia del suelo más o menos grande), arborescentes (plantas grandes parecidas a un árbol con un tronco principal relativamente corto, sus ramificaciones son a poca distancia del suelo) y arbustos (plantas que no pasan de 3 o 4 metros de altura y poseen varios ejes, no se diferencia un tallo principal); herbáceos (tallos que carecen de leño o tienen muy poca cantidad); cañas (tallos de consistencia intermedia entre leñosa y herbácea); carnoso (con tejido parenquimático abundante); y, esponjoso (juncos). Figura 56.



Figura 55. Tipo de tallo según su consistencia leñosos

²⁵ Tallos acuáticos tomado en <http://www.aquaterralive.com/catalog/plantas-acuaticas-c-120.html?osCsid=emt055hrls73cse843v463cmh0>



Figura 56. Tipo de tallos según su consistencia

Los tallos según el hábito de crecimiento pueden ser, erguidos: tronco (leñoso, cilíndrico-cónico), estípite (leñoso, no ramificado que posee el mismo diámetro en toda su dimensión), cálamo (herbáceo cilíndrico, cónico o triangular y sin nudos), escapo (tallo sin hojas o con éstas muy reducidas, en su extremo se desarrollan las flores) (azucena, agave, diente de león) (Figura 57); bejucos (herbáceos o leñosos a veces muy largos); trepadores (se alejan de la superficie del suelo adhiriéndose a un soporte con estructuras especiales como hojas, urilos o zarcillos); y, rastreros (herbáceos y crecen sobre el suelo) (Figura 58).

Los tallos por su forma (Figura 59), pueden ser cilíndricos; de sección circular; cuadrangulares, de sección cuadrada; triangulares; alados, con dilataciones longitudinales; y, aplanados, de un diámetro menor que el otro.



Figura 57. Tallos según el hábito de crecimiento: erguidos



Figura 58. Tallos según el hábito de crecimiento:



Figura 59. Tipo de tallos según su forma

Los tallos modificados (Figura 60) son aquellos que presentan características de adaptaciones diversas. Ejemplos: **estolón** (ramificaciones laterales, delgadas y comúnmente largas que se desarrollan en la base de los tallos, crecen rastreros o subterráneos produciendo raíces adventicias y nuevas plantas, como la fresas); **rizoma** (subterráneo, cilíndrico y perenne, con entrenudos cortos, raíces adventicias y brotes aéreos, como son los casos de jengibre y kikuyo); **tubérculo** (generalmente subterráneo, corto y grueso, que produce las yemas en depresiones cóncavas, ejemplo las papas); **bulbo** (tallo discoide con yema central rodeado de escamas, que pueden ser grandes, amplias y concéntricas, o también brácteas más o menos carnosas, llamada catáfilas, casos: azucena y cebolla); **cormo** (es un bulbo con el tallo más desarrollado y las escamas más reducidas, ejemplo, gladiolos); **bulbillo** (pueden desarrollarse en la axila de la hoja, en la inflorescencia o sobre la propia hoja, ejemplo, en las cabuyas); **cladodio** (con apariencia de hoja, como es el caso de las tunas, es fotosintético, produce flores y hojas generalmente transformadas en espinas o escamas); **espinas** (estructuras lignificadas agudas y rígidas que poseen tejidos vasculares

y pueden ser sencillas o ramificadas); y, **aguijones o acúleos** (no poseen tejidos vasculares, por lo que se separan fácilmente sin dañar la corteza).

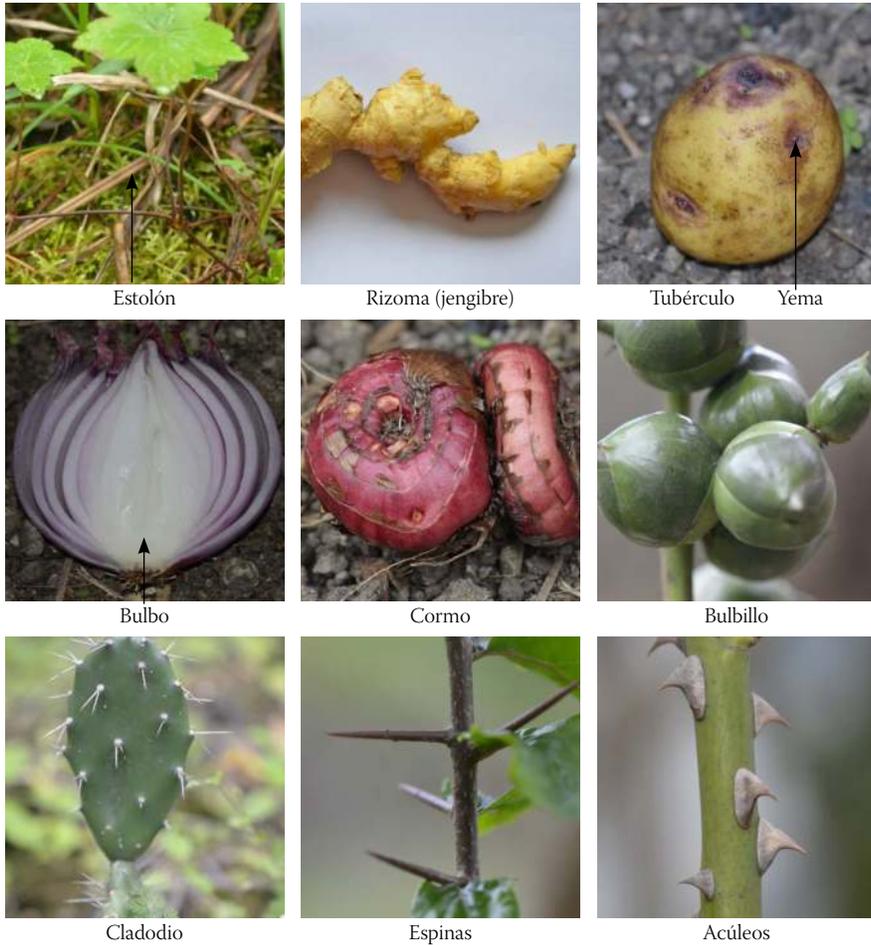


Figura 60. Ejemplos de tallos modificados

2.2.3.2.1.4. Funciones y uso de los tallos

Las funciones del tallo son las siguientes:

- Conducir savia elaborada y bruta, a través del floema y xilema, respectivamente.
- Producir y sostener hojas y flores.
- Almacenar sustancias.
- Propagación vegetativa.

Los tallos pueden ser usados en lo siguiente:

- En la alimentación: Ejemplos: papa y cebolla
- En la medicina: Ejemplo, cortezas de quina, higuerón, sangre grado.
- En la industria de la madera, del papel, textil, taninos y resinas.

2.2.3.2.2. La hoja²⁶

2.2.3.2.2.1. Definición

La hoja es un órgano vegetativo que se forma en los nudos del tallo. En la yema apical del tallo principal o en la yema axilar se forma los primordios foliares por divisiones periferales del meristema apical.

2.2.3.2.2.2. Estructura de la hoja

La hoja tiene estructura externa e interna. La externa consta de: pecíolo y limbo o lámina foliar. El limbo está integrado por: ápice, borde, base y nervaduras. En la Figura 61 se observa la estructura externa de dos tipos de hoja.

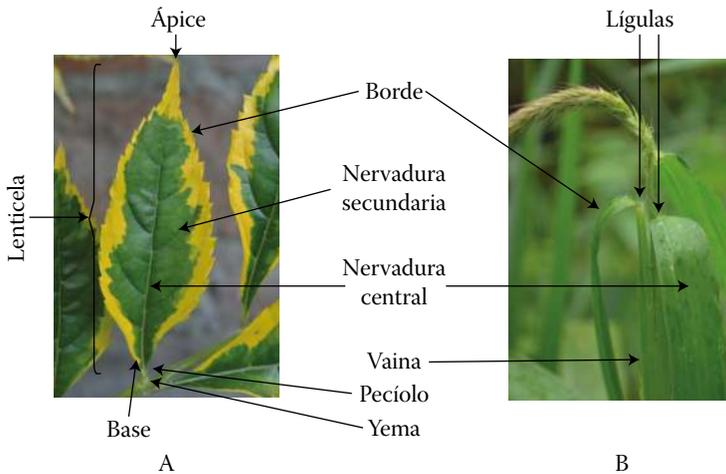


Figura 61. Estructura externa de la hoja: A, de dicotiledónea y B, de monocotiledónea.

Pecíolo. Estructura que une la lámina con tallo principal o las ramas. Algunas plantas poseen un pecíolo reducido (hojas subpecioladas) otras no lo tienen

26 El estudio de las hojas basa en la obras de Uribe (1991). Botánica general, 2 ed. Medellin, Col. Universidad de Antioquia, p. 120-134, y Marzocca (1985). Nociones básicas de taxonomía vegetal, p. 71-74.

(hojas sésiles). En algunas monocotiledóneas como las gramíneas el pecíolo se reduce a una vaina que envuelve al tallo

Limbo. Es la parte de la hoja generalmente laminar. La cara superior se llama superficie abaxial o haz y la inferior superficie abaxial o envés. A través de la lámina se distribuyen las nervaduras, en unos casos ramificadas (dicotiledónea) en otros paralelas (monocotiledóneas).

Estructura interna de la hoja. En la sección trasversal de una hoja se observa: cutícula, epidermis superior, parénquima en empalizada, parénquima esponjoso o lagunar, epidermis inferior, estomas y nervaduras.

Epidermis. Generalmente está constituida por una sola capa de células, protege a la hoja, tanto en la superficie ventral (haz), como en la dorsal (envés). Está cubierta por la cutícula. En la epidermis se distinguen tres tipos de células: células epidérmicas comunes, células oclusivas y células adyacentes o subsidiarias.

Mesófilo. Es el tejido más abundante de la hoja y el más importante en él se da el proceso fotosíntesis, constituido por el parénquima en empalizada y el parénquima esponjoso o lagunar.

Nervaduras. Son la continuación del xilema y floema del tallo. Las nervaduras se distribuyen a través de la lámina foliar, en forma ramificada o paralela, según el tipo de plantas: dicotiledóneas o monocotiledóneas.

En la Figura 62 se observa la estructura interna de una hoja

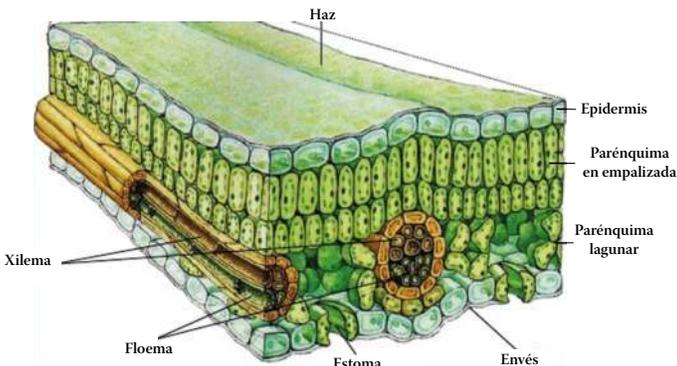


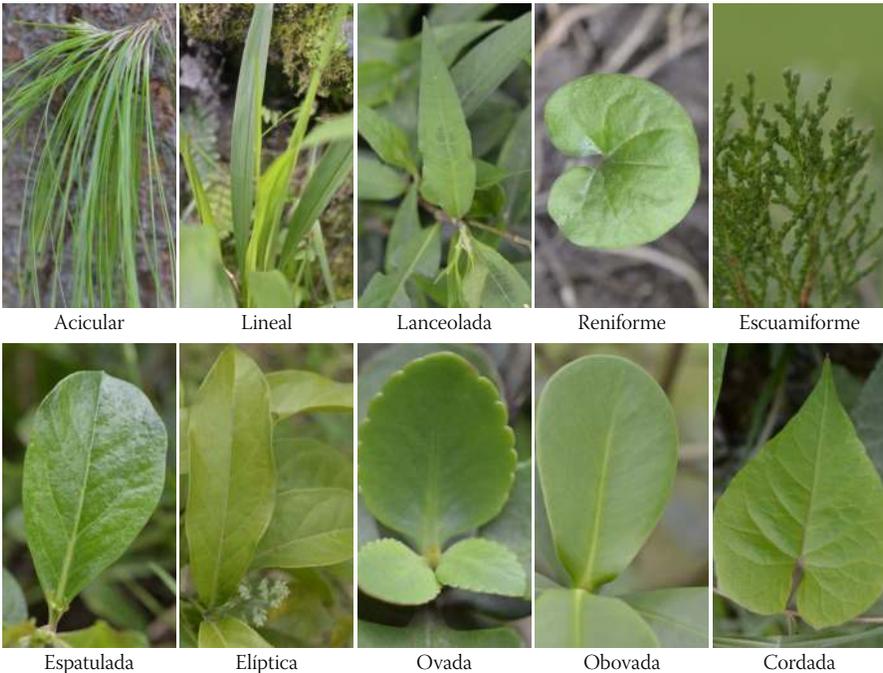
Figura 62. Estructura interna²⁷ de una hoja-corte sección transversal

27 Estructura interna de una hoja, tomado en <http://es.slideshare.net/emartinvidales/nutricin-en-vegetalesdef>

2.2.3.2.3. Clasificación de la hoja

Las hojas presentan una diversidad de características, resultados de la información genética e interacción (en el proceso evolutivo) con el medio ambiente. Determinadas características sirven para diferenciar a las plantas o ubicar a la clase a la que pertenecen. Para la clasificación de las hojas se toman en cuenta los siguientes parámetros: forma, pecíolo, complejidad, nervaduras, ápice, base, bordes y las modificaciones que han experimentado las hojas.

Clasificación de las hojas según la forma. Existe diversidad de formas, así: acicular (pino), lineal (gramíneas: trigo), lanceolada (sauce), oblanceolada (*Rumex paraguayensis*), espatulada, oblonga, elíptica, oval u ovalada, ovada o oovada, obovada, orbicular, peltada (*Tropaeolum majus*), obcordada, romboidal, reniforme, sagitada, deltoide, obdeltoide, astada, cuneiforme, perfoliada, pandurada, decurrente, falcada, ensiforme. En la Figura 63 se observan algunos ejemplos.



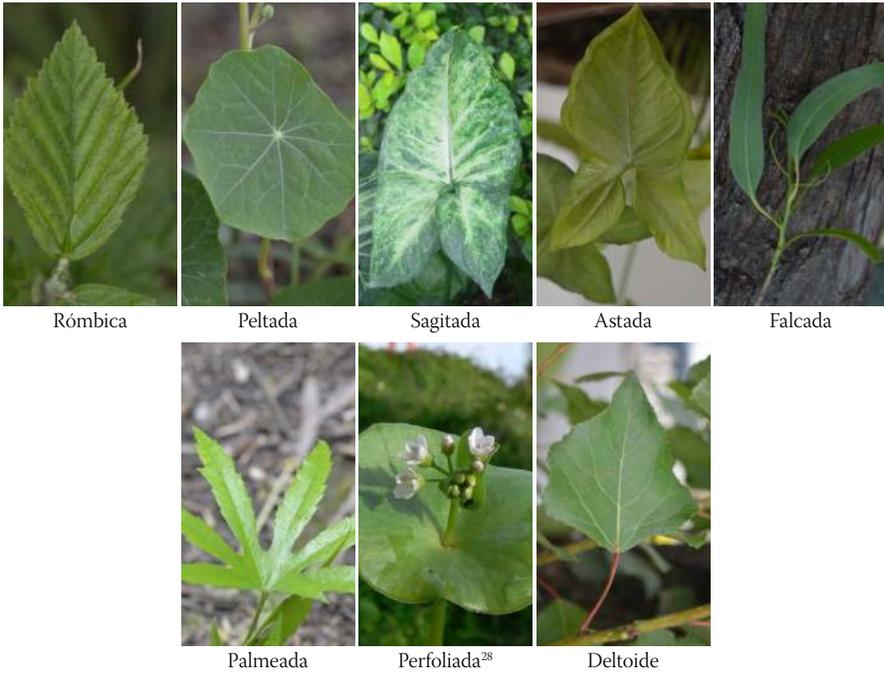


Figura 63. Tipo de hojas según la forma

Clasificación de las hojas según el pecíolo. Las hojas pueden ser: pecioladas, subpecioladas, sésiles o sentadas, envainadas y aladas (Figura 64).



Figura 64. Tipos de hojas según el pecíolo

Clasificación de las hojas según la complejidad. Las hojas pueden ser simples y compuestas que poseen más de un limbo. Las compuestas a su vez se clasifican en: palmado compuestas, cuando todos los folíolos salen del mismo punto del

²⁸ Hoja perfoliada de *Claytonia perfoliata* o *Montia perfoliata*, tomado en <http://www.luontoportti.com/suomi/images/14612.jpg>

pecíolo; pinnado-compuesta, cuando los folíolos salen a lo largo del raquis a manera de peine, si el raquis en su extremo termina en dos folíolos, se dice que la hoja es paripinnada y si termina en un solo folíolo, es imparipinnada; recompuestas (bipinnadas, tripinnadas), si el raquis se ramifica dos o más veces y los folíolos se insertan en las ramificaciones; y unifoliadas, que se parecen a una hoja simple, debido a que sus folíolos se han reducido, quedando solamente uno que tienen una articulación en el sitio donde se une al pecíolo, a diferencia de la hoja simple que no la posee. En la Figura 65 se dan ejemplos de hojas, según la complejidad.

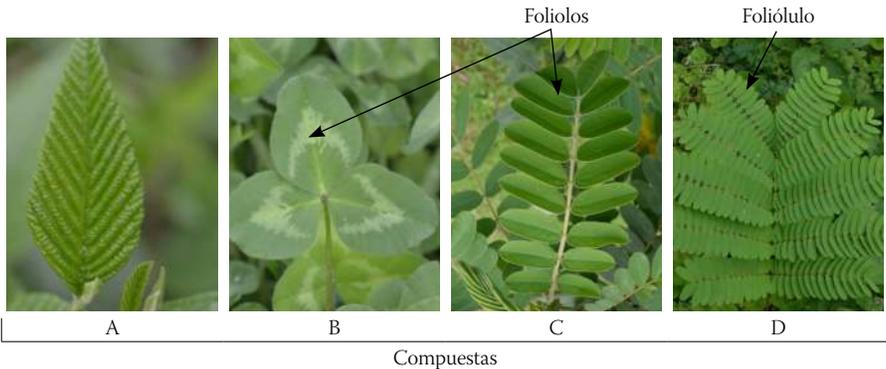


Figura 65. Tipo de hojas según la complejidad: A simple; B trifoliada; C pinnada paripinnada; y, D bipinnada paripinnada

Clasificación de las hojas según las nervaduras. Las hojas pueden ser: retinervadas (pinatinervadas, palmatinervadas y curvinervadas) si tienen una nervadura central y a partir de estas se ramifican en nervaduras secundarias y luego en terciarias; y, paralelinervadas, con dos casos: primero, una nervadura central más o menos diferenciadas y otras paralelas a ésta, y segundo con una nervadura central notable y nervaduras paralelas perpendiculares a ella, como las hojas del banano. Ejemplos de esta clasificación se observa en la Figura 66.



Figura 66. Tipos de hojas según las nervaduras

Clasificación de las hojas según el ápice. Por el ápice reciben diferentes nombres, así: redondeado, obtuso, agudo, atenuado, truncado, emarginado, retuso, cuspidado, mucronato, acuminado, espinoso, aristado, caudado. En la Figura 67 se dan ejemplos.



Figura 67. Tipos de hojas según el ápice.

Clasificación de las hojas según la base. Toman el nombre de conformidad a la forma de la base, como: redondeada, asimétrica, obtusa, aguda, cordada, cuneada, atenuada, truncada, sagitada, auriculada, abrazadora y astada. En la Figura 68 se observa algunos casos.



Figura 68. Tipos de hojas según la base

Clasificación de las hojas según el borde. Existe una variedad de bordes que permiten diferenciar las clases o tipos de hojas. El borde puede ser: entero y lobado.

- **Entero**, cuando el margen es sin ningún tipo de escotadura y dientes.
- **Lobado**, con escotaduras y lóbulos más o menos profundos y anchos. Las hojas lobadas pueden clasificarse a su vez en lobuladas y hendidas, cuando los recortes no pasan del cuarto de la mitad

de lámina. Hay hojas palmatilobuladas y pinatilobuladas. Esta denominación se da más bien al margen si los lóbulos son obtusos, sin son agudos, las hojas serán palmatihendidas o pinatihendidas.

Cuando las hojas lobadas son divididas hasta cerca de la mitad del limbo se denominan palmatífidas y pinatífidas.

Partidas, cuando presentan recortes que pasan de la mitad del limbo sin alcanzar la nervadura media, y pueden ser palmatipartidas o pinatipartidas

Sectadas, cuando las hojas tienen márgenes recortados o divididos hasta la nervadura media, y pueden ser hojas palmatisectas y pinatisectas.

Finalmente hay hojas denominadas runcinadas, las que tienen lóbulos profundos y arqueados hacia la bases, o por lo menos con el borde superior convexo y el inferior recto; laciniadas que tienen profundas incisiones y lóbulos numerosos muy estrechos, lineales o casi; y, liradas, lobuladas o partidas con lóbulo terminal grande y los restantes sucesivamente más pequeños hacia la base.

- **Dentado**, margen en forma de dientes angulares.
- **Aserrado**, cuando las incisiones están dirigidos o inclinados hacia un lado. A la vez las hojas pueden ser serruladas (diminutivo), o retrorsas, cuando los dientes se hallan dirigidos hacia atrás.
- **Crenado**, margen con dientes anchos y obtusos.
- **Ondulado**, margen ondeado.
- **Sinuado**, margen con senos entrantes y salientes en forma abrupta.
- **Crespo**, margen ondeado hacia arriba y abajo.
- **Revuelto**, margen enrollado con la cara inferior hacia adentro.

En la Figura 69, se aprecian algunos casos de la clasificación de las hojas según el borde



Entera



Palmatilobulada



Pinatihendida



Palmatipartida



Pinatipartida



Pinatífida



Palmatisecta



Laciniada



Liradas



Dentadas



Retrorsa



Figura 69. Tipo de hojas según el borde.

Clasificación de las hojas según la filotaxia. La filotaxia se refiere a la forma como se disponen las hojas en el tallo. Según esto, las hojas pueden ser: opuestas (decusadas, si son opuestas en varios planos), alternas o dísticas, espiraladas, verticiladas, roseta y fasciculadas (Figura 70)



Figura 70. Tipo de hojas según la filotaxia

Clasificación de las hojas según sus modificaciones. Las hojas de acuerdo a las necesidades de la planta se modifican de diferente manera, así: cotiledones o embriófilos (hojas de la semilla, almacenan sustancias); brácteas o hipsófilos (se parecen a pétalos de las flores), y pueden ser: espata (brácteas grandes y vistosas), glumas, lemas y paleas (brácteas de las inflorescencias de las gramíneas); cálculo, epicaliz o sobrecaliz (apéndices foliáceos en la parte externa del cáliz); catáfilos (sin clorofila y se encuentran en órganos subterráneos); pérulas (hojas que protegen a las yemas); espinas foliares; zarcillos foliares (estructuras que crecen en forma de espiral y sirven para la fijación de la planta); filodios (dilataciones laminares del pecíolo, que pueden reemplazar al limbo de las hojas); ascidios; y, trampa o cepo. En la Figura 71 se aprecian algunos de los casos señalados anteriormente.



Figura 71. Tipo de hojas modificadas

2.2.3.2.4. Funciones y uso de las hojas

Las funciones de las hojas son:

- Transpiración.
- Gutación.
- Fotosíntesis.
- Respiración.
- Almacenamiento de sustancias.
- Reproducción vegetativa.
- Nutrición de la planta.

Las hojas pueden ser usadas, entre otros casos, en los siguientes:

- En la alimentación.
- Medicina.
- Industria.
- Decoración u ornamentación.

2.2.3.2.3. La flor

2.2.3.2.3.1. Definición

La flor es un conjunto de antófilos (Font Quer, 2010) y que se la considera con un eje caular, denominado pedúnculo, más o menos reducido y de crecimiento definido, que se ensancha en el extremo apical, formando el tálamo o receptáculo, para dar asiento a los verticilos florales (Gómez-Álvarez, *et al* 2002). Se desarrolla de una yema axilar floral (Uribe, 1991).

2.2.3.2.3.2. Estructura de la flor²⁹

Una flor común consta de las siguientes partes: pedúnculo, cáliz, corola, androceo y gineceo. Cada componente a su vez tiene su estructura correspondiente (Figura 72).

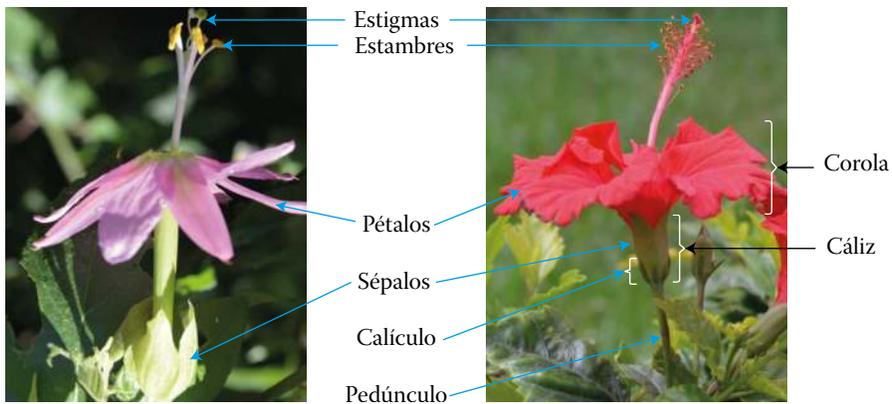


Figura 72. Estructura de la flor típica.

Una flor completa consta de cuatro componentes o ciclos: cáliz, corola, androceo (conjunto de estambres) y gineceo o pistilo. Estos ciclos se unen en el extremo superior ensanchado del pedúnculo denominado receptáculo o base floral.

Si el conjunto del cáliz y la corola se diferencian plenamente se llama perianto, si presentan similitud, se denomina perigonio. El perigonio es corolino o calicino, según tenga la apariencia de corola o cáliz, respectivamente.

²⁹ Para el estudio de la estructura de la flor e inflorescencias se toman en cuenta los conceptos de Uribe (1991). Botánica General, 2 ed. Medellín, Col. Universidad de Antioquia. p. 137-140 y Marzocca (1985). Nociones básicas de Taxonomía vegetal, p. 91-106

Si una flor posee los cuatro verticilos florales señalados anteriormente es completa, si faltan cualquiera de ellos es incompleta. Una flor completa es perfecta, bisexual o hermafrodita; si en cambio falta uno de los ciclos sexuales la flor es unisexual o incompleta y si solo poseen estambres o gineceo la flor es estaminada o pistilada, respectivamente.

También se considera que existen flores neutras, por carecer de estambres y pistilo.

Si en una misma planta existen flores estaminadas y pistiladas por separado toman el nombre de monoicas (monoecia³⁰) (ejemplo, el maíz). Pero si las flores femeninas y masculinas están en diferentes plantas de la misma especie, se llaman dioicas (dioecia³¹) (sauce y marihuana) (Figura 73). También existen casos que tienen al mismo tiempo flores unisexuales y bisexuales, ya sea en la misma planta o en plantas diferentes de la misma especie (papayo). Las especies con estas particularidades se llaman polígamas y son las menos frecuentes.



Figura 73. Plantas: monoica, dioica y hermafrodita

En lo referente al cáliz, formado por los sépalos, tiene algunas particularidades, por ejemplo, puede ser dialisépalo o gamosépalo, si los sépalos son libres o connados, respectivamente; marcescente, caduco o persistente, según se marchite rápidamente, en el primer caso, caedizo, en el segundo caso, y permanezca sobre la planta después de la maduración, en el tercer caso; y acrescente si crece después de la floración o carnosos al tornarse así al pasar la

30 Monoecia, se alude a la distribución de los órganos sexuales en flores distintas, pero sobre el mismo pie, en la misma morada, las masculinas y las femeninas (Font Quer, 2010)

31 Dioecia, distribución de los órganos sexuales en flores distintas y en distintos pies, las masculinas y las femeninas en sendas moradas (Font Quer, 2010)

32 Planta de marihuana tomada en <http://lanacion.com.ec/la-marihuana-podria-perjudicial-la-salud-osea/>

fecundación. El cáliz por la forma puede ser: tubuloso, bilabiado, asimétrico, espolonado y campanulado.

La corola está formada por el conjunto de pétalos, si éstos son libres o soldados la corola puede ser dialipétala o gamopétala, respectivamente. Si las flores no tienen pétalos, se llaman apétalas. En la Figura 74 se indica ejemplos de: flores dialipétalas y flores gamopétalas.

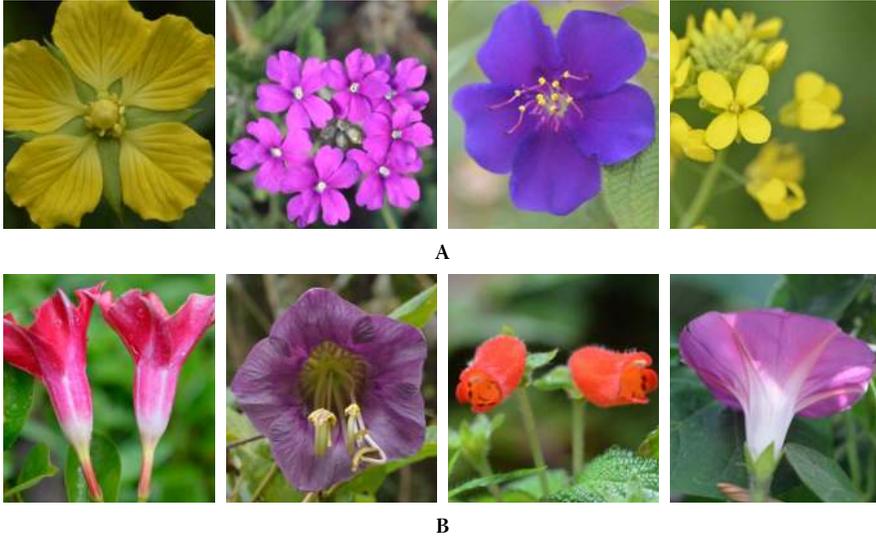


Figura 74. Tipos de flores: A, dialipétalas y B, gamopétalas

El androceo está constituido por los estambres, cada uno de ellos consta de un filamento y la antera (en su interior se encuentran los granos de polen). Los estambres presentan una variedad de particularidades, por ejemplo, pueden ser monadelfos (unidos entre si por sus filamentos), diadelfos (forman dos grupos) y poliadelfos (forman varios grupos).

El pistilo está formado por el ovario, estilo y estigma. En el interior del ovario se encuentran los óvulos que se insertan en la placenta. Según la disposición de los óvulos en la hoja carpelar, la placentación puede ser parietal o axilar.

El estilo presenta características externas diferentes, lo que hace que tome nombres como: columnar, filiforme, bifurcado y ramificado. El estigma, también presenta diferentes aspectos, según el tipo de plantas; existen estigmas, plumosos (muchas gramíneas), capitado (naranja), filiforme (maíz), ramificado (girasol), sentado (amapola).

Las flores tienen simetría variada: actinomorfa o simetría radiada, que puede dividirse en dos mitades iguales, según infinidad de planos (azucena, jazmín y rosa); zigomorfas, que se dividen solo en dos partes iguales según un único plano (orquídeas); y asimétricas, es decir que carecen de simetría (achiras) (Figura 75)



Figura 75. Tipos de flores según la simetría: A, actinomorfa; B zigomorfas; y, C₁, C₂ y C₃ asimétricas

2.2.3.2.3.3. Inflorescencias.

Las flores se agrupan en estructuras denominadas inflorescencias. Existen dos tipos: simple (con una sola flor, en la planta se hallan separadas por hojas) y compuestas (formada por dos o más flores, separadas entre sí por brácteas o sin ellas). La estructura de una inflorescencia se observa en la Figura 76.

33 Flore de achira amarilla o caña de la india amarilla tomado en http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Canna_glauca.htm

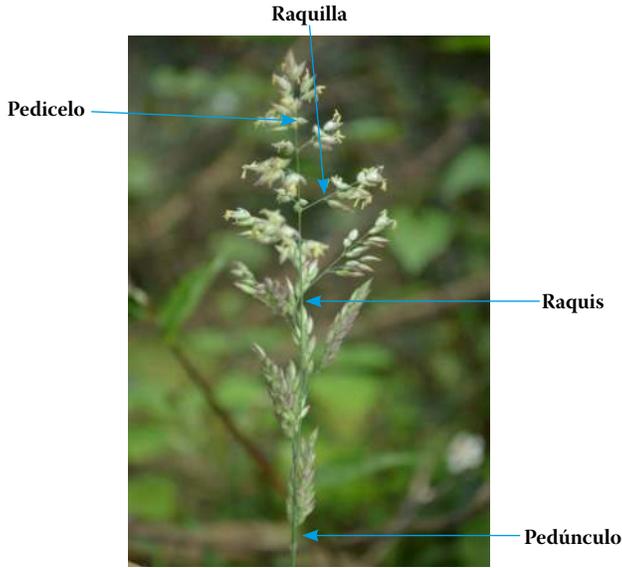


Figura 76. Estructura de una inflorescencia de monocotiledónea

Las inflorescencias compuestas se dividen en racimosas o indefinidas y cimosas o definidas. Las inflorescencias racimosas a su vez pueden ser: racimoides, espicoides y umbeloides; y, las inflorescencias racimoides: racimo, panoja o panícula (holco) y corimbo (cerezo y peral) (Figura 77).



Figura 77. Inflorescencia racimoides

Las inflorescencias espicoides pueden ser: espiga (llantén, trigo), espiga compuesta (ray grass), amento (sauce), espádice (anturio y cartucho), estróbilo (de coníferas). En la Figura 78 se observan algunos ejemplos.

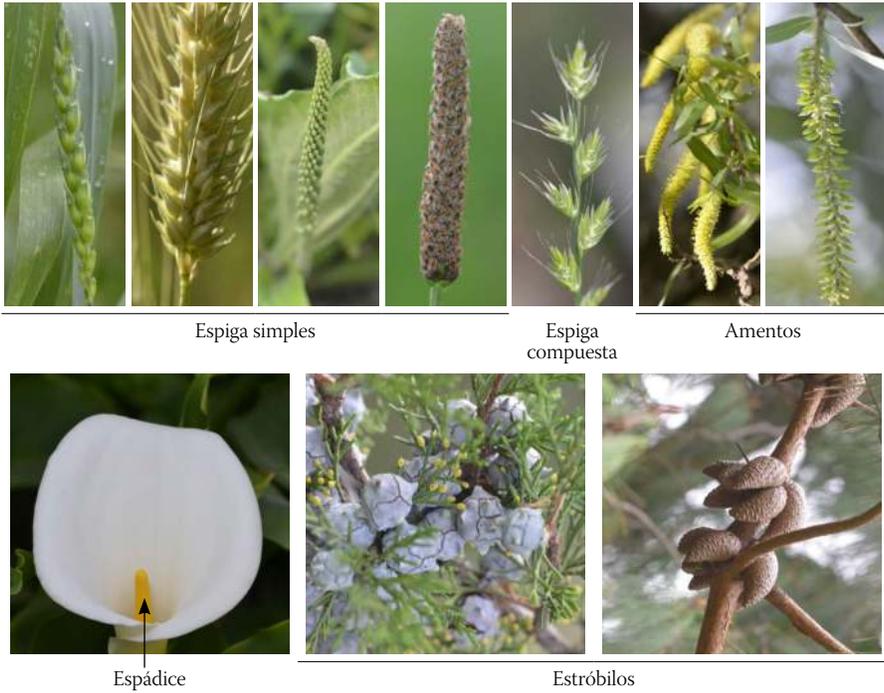


Figura 78. Inflorescencias espicoides

Las inflorescencias umbeloides pueden ser: capítulo (si no tiene involucre se llama cabezuela), umbela simple y umbela compuesta (Figura 79).



Capitulos (Asteráceas)



Cabezuela

Umbela simple³⁴

Umbela compuesta

Figura 79. Inflorescencias umbeloides

En las inflorescencias cimosas o definidas, el eje principal muere o termina con una flor, desarrollándose luego ejes secundarios, terciarios, etc. La inflorescencia de este tipo se llama generalmente cima. Presentan tres tipos principales: monocasio, dicasio y pleocasio (azucena roja, tilo y geranio). Las particularidades de la estructura de este tipo de inflorescencias se observan en la Figura 80.

34 Umbela simple tomado en http://es.wikipedia.org/wiki/Allium_cepa



Figura 80. Inflorescencias cimosas: monocasio (escorpoide y helicoide); dicasio; y pleocasio

Finalmente se precisa que existen inflorescencias mixtas, como el racimo de cimas y la cima de racimos.

35 a, cima escorpoide tomado en http://patriciasilvasaenz.mex.tl/photo_1089700_CIMA-ESCORPIOIDE--COMUN-EN-BORAGINACEAE-.html

2.2.3.2.4. El fruto³⁶

2.2.3.2.4.1. Definición

El fruto es el ovario desarrollado y maduro (Uribe, 1991) denominado pericarpio que contiene las semillas, y está formado por tres partes: epicarpio, corresponde a la cara inferior de la hoja carpelar; mesocarpio, parénquima del ovario; y, endocarpio, corresponde a la cara superior de la hoja carpelar (Marzocca, 1985). En las Figuras 81 y 82 se observa la estructura de pericarpios carnosos y frutos secos: dehiscentes e indehiscentes, respectivamente.

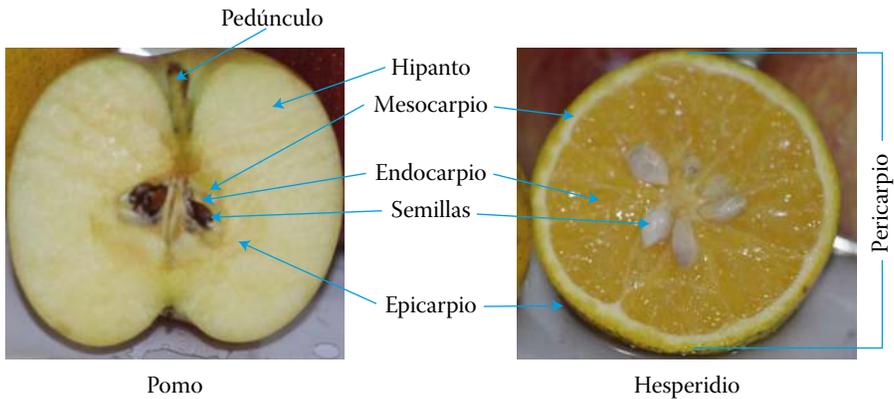


Figura 81. Estructura de frutos (pericarpios) carnosos

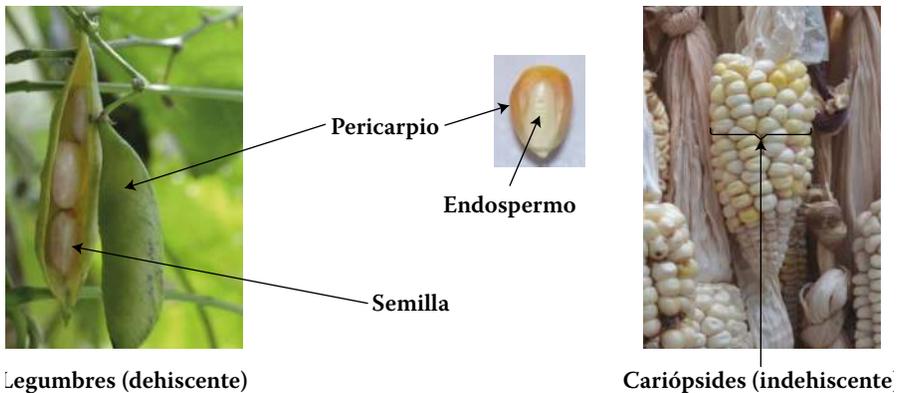


Figura 82. Estructura de frutos secos

36 Para el estudio del fruto se toman en cuenta los conceptos de Uribe (1991). Botánica general, 2 ed. Medellín, Col. Universidad de Antioquia, p. 152-162 y Marzocca (1985). Nociones básicas de taxonomía vegetal, p. 106-115

2.2.3.2.4.2. Clasificación de los frutos

Los frutos pueden clasificarse en simples y compuestos. Los simples (un solo ovario), a su vez se clasifican en carnosos y secos con sus correspondientes subdivisiones, y los compuestos (varios ovarios) en agregados y múltiples.

Los frutos simples provienen de un solo ovario y los compuestos se derivan de más de un ovario, pertenecientes a la misma flor o flores diferentes (Uribe, 1991). En las Figuras 83 y 84 se aprecia ejemplos de frutos simples carnosos.



Figura 83. Frutos simples carnosos: bayas

37 Al fruto del aguacate Schroeder (1953) y (1958) y Blumenfeld y Gazit (1974), citados por Barrientos Priego; García Villanueva y Avitia García (s/f) sugieren que deber ser considerado como baya por la naturaleza frágil del endocarpio y el hecho de que el fruto sigue una curva de crecimiento simple sigmoide y no la doble sigmoide común en las drupas; tomado en http://www.avocadosource.com/journals/chapingo/1996_ii_2_189.pdf



Figura 84. Frutos simples carnosos: hesperidios, pepónides, pomo, nuculema y drupas

Los frutos simples secos se subdividen en dehiscentes (el fruto se abre solo, poniendo en libertad a las semillas) e indehiscentes (las semillas quedan en libertad cuando el pericarpio se descompone). Los primeros, según los casos, toman nombres como: legumbre, folículo, silicua, silícula, pixidio y cápsula, en la Figura 85 se observan algunos ejemplos; y, los segundos pueden ser: aquenio, nuez, cariósipide, cipsela, lomento y sámara (Figura 86)

³⁸ Fruto cuidra tomado en https://es.wikipedia.org/wiki/Citrus_medica#/media/Archivo:Chinesische_Zedrat_Zitrone.jpg

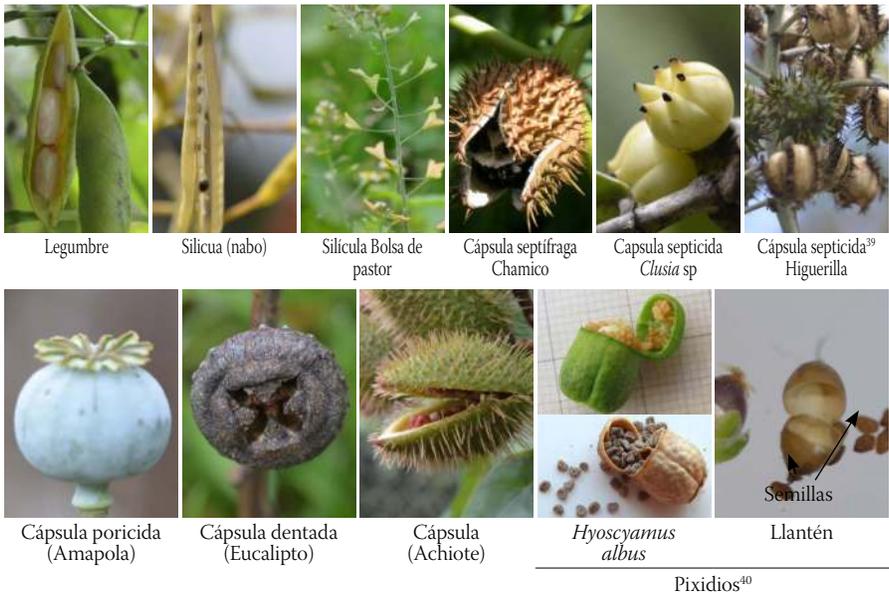


Figura 85. Frutos secos dehiscentes



Figura 86. Frutos secos indehiscentes.

39 Fruto de higuierilla denominado cápsula septisida por Invernón, et al (2012). Manual de laboratorio de botánica el fruto. Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal Facultad de Ciencias Universidad de Córdoba disponible en http://www.uco.es/botanica/recursos-innovacion/Manual_Fruto.pdf

40 Pixidio de *Hyoscyamus albus* L, tomado en <http://es.wikipedia.org/wiki/Pixidio>

41 Fruto seco indehiscente, nuez de nogal, tomado en <https://circlefood.wordpress.com/2010/04/18/>

Conforme se indicó anteriormente, los frutos compuestos provienen de más de un ovario, pertenecientes a la misma flor o flores diferentes. Estos frutos se dividen en agregados y múltiples. Los agregados provienen de una sola flor con varios pistilos como la fresa, guanábana, chirimoya, rosa y mora. Se presentan ejemplos en la Figura 87.



Figura 87. Frutos compuestos: agregados

Los compuestos múltiples provienen de varios ovarios separados, cada uno de ellos pertenecientes a una flor. Ejemplos de estos casos se dan en la breva (higo) y la piña (Figura 88)



Figura 88. Frutos compuestos: múltiples.

42 Fruto de guanábana, tomado en <http://achosioque.blogspot.com/2012/01/la-guanabana-grandes-propiedades.html>

43 Fruto de piña, tomado en <http://www.flordeplanta.com.ar/frutales/anana-como-cultivarla-en-maceta/>

2.2.4. La semilla

2.2.4.1. Definición

La semilla es un óvulo fecundado y maduro que reproduce sexualmente a la planta. Almacena sustancias de reserva, a esto se debe su importancia biológica y económica. Es una estructura que posee una planta en potencia, pues en ella se encuentra un embrión a partir del cual se desarrolla una planta nueva (Uribe, 1991).

2.2.4.2. Tamaño de las semillas

El tamaño de las semillas es variable, existen desde tamaños considerables (el coco) hasta microscópicas, como es el caso de las semillas de orquídeas (Uribe, 1991)

2.2.4.3. Estructura de la semilla

La estructura de las semillas tiene sus características según sea el caso de semillas de dicotiledóneas o monocotiledóneas.

2.2.4.3.1. Estructura de la semilla de las dicotiledóneas

Para el estudio de la semilla de este tipo de plantas se considera la planta de frijol, cuya estructura es:

Tegumento o epispermo. Es la envoltura externa que protege a la semilla contra factores como: la desecación excesiva, lesiones mecánicas, jugos digestivos de animales y gérmenes patógenos. Esta estructura presenta dos capas.

- **Testa.** Es la capa más externa, constituida por tejido esclerenquimático, es dura y brillante y presenta una variedad de colores.
- **Tegmen.** Es una capa membranosa que tapiza internamente la testa.

Hilo u ombligo. Se llama así a la cicatriz que deja el funículo al separarse de la semilla.

Micrópilo. Se observa en la testa cerca al hilo. Al comienzo de la germinación el agua entra por el micrópilo.

Embrión. Es la parte viva de la semilla. A partir del embrión se forma la nueva planta. Consta de las siguientes partes:

- **Cotiledones.** Son hojas modificadas, que almacenan alimentos para nutrir a la plántula al iniciarse la germinación.
- **Epicótilo.** Se llama así a la parte del embrión que se encuentra por encima de la inserción de los cotiledones. En el extremo superior del epicótilo se encuentra la plúmula o gémula, constituida por tejido meristemático, que dará origen a los elementos del sistema caular.
- **Hipocótilo.** Es la parte del embrión que se encuentra por debajo de la inserción de los cotiledones. En el extremo inferior de esta estructura se encuentra la radícula, constituida por tejido meristemático, encargado de originar los tejidos de la raíz principal.

Endospermo. Tejido nutritivo constituido por células (3N) que nutre al embrión en las primeras etapas de la germinación de la semilla. Inicialmente todas las semillas poseen endospermo, pero en algunas semillas como el frijol, a medida que la semilla madura el embrión lo va absorbiendo hasta llegar a tener poco o nada del mismo, cuando está completamente formada. (Uribe, 1991). En la Figura 89 se observan las partes de una semilla de frijol.

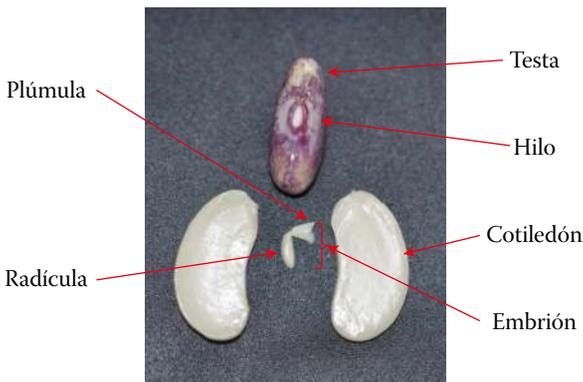


Figura 89. Estructura externa e interna de una semilla de frijol

2.2.4.3.2. Estructura de la semilla de las monocotiledóneas

Las semillas de las monocotiledóneas, tiene un solo cotiledón. Se describe a continuación la estructura de una “semilla” de maíz., que en la realidad es un fruto, denominado cariósipide.

Endospermo. Tejido nutritivo, con células triploides (3N). En el caso del maíz el endospermo es utilizado, cuando las semillas son plantadas y absorben agua, es abundante y poco a nada de cotiledón

Coleóptilo. Estructura que envuelve la plúmula de gramíneas y otras monocotiledóneas. En este caso el coleóptilo representa la primera hoja de la planta.

Coleoriza. Estructura cerrada que protege a la radícula del embrión de las gramíneas (Uribe, 1991).

Cotiledón. Las monocotiledóneas tienen un solo cotiledón. Es una estructura que almacena sustancias de reserva.

En la Figura 90 se observa la estructura del fruto-semilla del maíz.

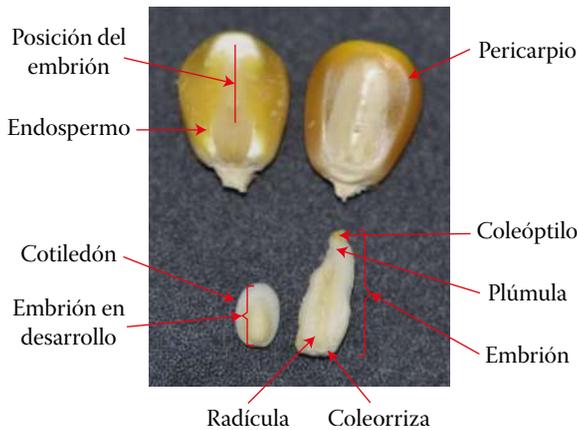


Figura 90. Estructura externa e interna del fruto-semilla del maíz.

2.2.4.4. Germinación de la semilla

Para que las semillas germinen tiene que existir determinadas condiciones, mismas que son consideradas como factores externos e internos (Uribe, 1991),

2.2.4.4.1. Factores externos

Entre estos factores están: el agua, el oxígeno y el calor, que deben encontrarse en determinados niveles o rangos (Uribe, 1991)

2.2.4.4.2. Factores internos

Se considera dos factores internos básicos para la germinación de la semilla: semilla madura y que el embrión esté vivo y sano (Uribe, 1991)

Los factores externos e internos interactúan, lo que posibilita que la semilla germine. En la Figura 91 se puede apreciar parte de los procesos de germinación de semillas de: monocotiledónea y dicotiledónea.

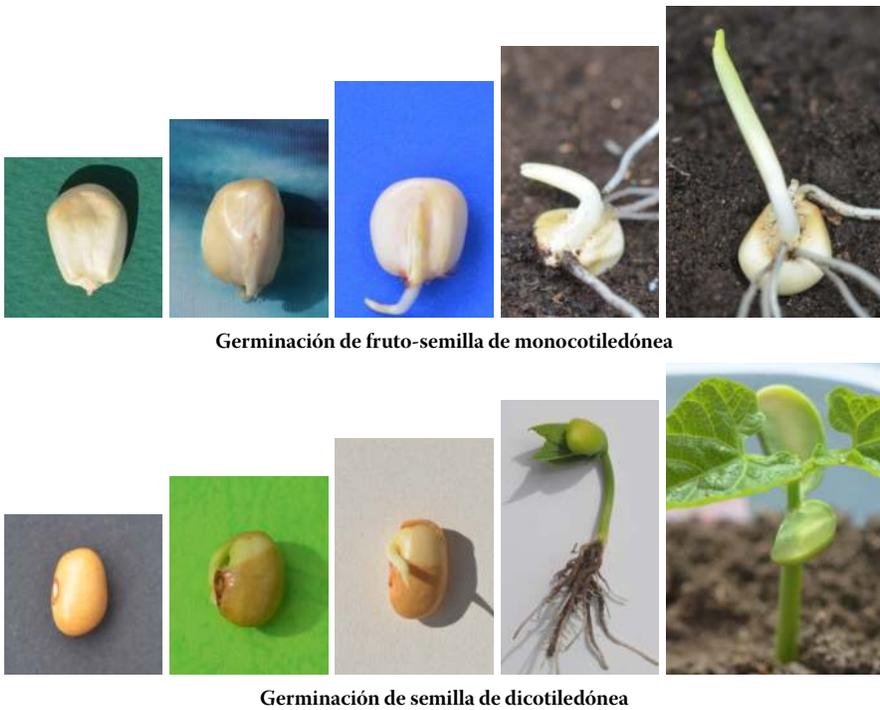


Figura 91. Proceso de la germinación de fruto-semillas maíz (monocotiledónea) y frijol (dicotiledóneas)

2.2.4.5. Tipo de semillas de dicotiledóneas y monocotiledóneas

En la Figura 92 se observa varios tipos de semillas de dicotiledóneas y en la Figura 93 tipos de semillas de monocotiledóneas, corresponden a hierbas, arbustos y árboles



Arveja



Frijol



Soya



Linaza



Papaya



Cacao⁴⁴



Melón⁴⁵



Zapote⁴⁶



Limón



Naranja



Uva



Tipo de ají

44 Imagen de semillas de cacao tomado en <http://www.ec.all.biz/semillas-de-cacao-g5778#.VhHsrSsYH44>

45 Imagen de semillas de melón es tomado en <https://naturalum.wordpress.com/2015/06/01/el-melon-el-mejor-companero-del-verano/>

46 Imagen de semillas de zapote, tomado en http://es.123rf.com/photo_15352368_semilla-o-semillas-de-zapote-aislado-en-blanco.html?fromid=L1h2Uk9CMks1QnVGB21IQXpjC3Rpdz09



Nabo silvestre



Marihuana⁴⁷



Amapola⁴⁸



Coca⁴⁹



Higuerilla



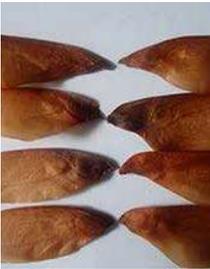
Chirimoya



Nispero



Frijol de palo



Cedro colorado⁵⁰



caoba (*Swietenia macrophylla*)⁵¹



Guayacan amarillo⁵²

47 Imagen demillas de marihuana, tomada en http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marijuana_seeds.jpg

48 Imagen de semillas de amapola, tomada en https://en.wikipedia.org/wiki/Poppy_seed

49 Imagen de semillas de coca tomada en <http://www.portaldeavisos.net/semillas-de-coca-107834>

50 Imagen de semillas de cedro colorado, tomada en <http://www.semiforeirl.com/productos.html>

51 Imagen de semillas de caoba, tomada en <http://hrbunas.blogspot.com/2015/01/>

52 Imagen de semillas de guayacan amarillo tomada en <http://www.semillascamposeeds.com/productos/guayacan-amarillo/>



Figura 92. Ejemplo de semillas de dicotiledóneas

53 Imagen de semillas de teca, tomada en <http://elsemillero.net/semillas-forestales-mejoradas-para-la-reforestacion-productiva-en-colombia/>

54 Imgen de semillas de charán blanco, tomada en <http://unibio.unam.mx/irekani/bitstream/123456789/70031/1/Chloroleucon-mangense-FS3236-sem.jpg>



Figura 93. Semillas de monocotiledóneas

55 Imagen de Semillas de arroz tomada en http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_content&view=article&id=803:iniap-evalu-la-presencia-del-acaro-blanco-en-el-cultivo-de-arroz&catid=97&Itemid=208

56 Imagen de semillas de trigo tomada en <http://sustainableseedco.com/wheat/>

57 Imagen de semillas de cebada, tomada en <http://sustainableseedco.com/barley/>

58 Imagen de semillas de centeno, tomada en <http://www.edabea.com/es/173-semillas-de-centeno-biologico-1-kgr.html>

59 Imagen de semillas de avena tomada en <http://www.foddersystems.com/fodder-feed/oat.html>

60 Imagen de semillas de pasto guinea chilena, tomada en <http://www.tropicalforages.info/Multiproposito/key/Multiproposito/Media/Html/Panicum%20maximum%20acq.htm>

61 Imagen de semillas de sorgo tomada en <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>

62 Imagen de semillas de alpiste tomado en <http://www.inkanatural.com/en/arti.asp?ref=canary-seed-en>

63 Imagen de semillas del pasto yaragua tomado en <http://espanol.istockphoto.com/photo-42980960-relva-capim-gordura-melinis-minutiflora.php>

3.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre M, Z.; Merino, B; Gutiérrez, M. 2012. Principales familias de árboles, arbustos y hierbas del sur del Ecuador. Loja, EC. Universidad Nacional de Loja, área agropecuaria y de recursos naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Forestal, Herbario y Jardín Botánico “Reinaldo Espinosa”.p. 8, 9.
- Anze, R.; Franken, M.; Zaballa, M.; Pinto, M.R.; Zeballos, G.; Cuadros, M.; Canseco, A.; De la Rocha, A.; Esterllano, V.H.; y, Del Granado, S. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. Revista Virtual REDESMA. p. 54-74.(disponible en: http://revistavirtual.redesma.org/vol1/pdf/redesma0101_art03.pdf. Consultado 5 de mayo de 2014)
- Azcón- Bieto, J.; Talón, M. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal. 2 ed. Barcelona, Es McGraw-Hill. Interamericana. p. 91, 167, 174- 176, 178, 187, 200
- Barreto, Y.; Paredes, J. 2015. Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*. Investigación y Amazonía 5(1 y 2): 9-14 (Disponible en: http://www.unas.edu.pe/revistas/index.php/revia/article/view/82/pdf_61. Consultado el: 12 de septiembre de 2017)
- Barrientos Priego, A.F; García Villanueva, E; Avitia García, E. s/f. Anatomía del fruto de aguacate, ¿drupa o baya?. (Disponible en: http://www.avocadosource.com/journals/chapingo/1996_ii_2_189.pdf. Consultado el: 10 de agosto de 2015)

- Carbal Herrera, A; Muñoz Carbal, J.; Solar Cumplido, L. 2015. valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la ciénaga de la Virgen. Cartagena-Colombia. Saber, Ciencia y Libertad. 10(1): 125-145. Disponible en: <http://revistas.unilibre.edu.co/index.php/saber/article/view/918/710>. Consultado el: 15 de agosto de 2016.
- Celis, A; Mendoza, C.; Pachón, M.; Cardona, J.; Delgado, W.; Cuca, L.E. 2008. Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión. Agron. Colomb. 26 (1): 97-105 (Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/1803/180314729012/>. Consultado el: 11 de agosto de 2017)
- Cerón Martínez, C.E. 2006. Plantas medicinales de los andes ecuatorianos. Escuela de biología de la Universidad Central del Ecuador. Quito, Ec.(Disponible en: <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Plantas+medicinales+de+los+andes+ecuatorianos&btnG=&lr=>. Consultado el 11 agosto de 2017)
- Cole, T.; Hilger, H.; Medan, D. 2016. Filogenia de las angiospermas-sistemática de las plantas con flores (poster), APG IV 2016. (Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299604398_Filogenia_de_las_Angiospermas_-_Sistematica_de_las_plantas_con_flores_Poster_APG_IV_2016. Consultado 15 de agosto de 2017)
- Cortes B, F. 1980. Fisiología vegetal básica. Madrid, ES, H. BLUME. pp. 11,18, 27, 28, 29, 35, 36, 37,38 39, 40-42, 49, 50, 53- 56
- Cowen, R. s/f. El origen de las plantas terrestres. En: GARCÍA, P. et al. 2002. Paleobiología; lecturas seleccionadas. 2 ed. México, Facultad de Ciencias, UNAM. pp. 187-196.
- Cronquist, A. 1984. Introducción a la botánica. México. CONTINENTAL. pp. 86-90, 276, 277
- Curtis, H.; Barnes, N; Schnek, A; Flores, G. 2006. Invitación a la biología. 6 ed. Madrid, ES, MEDICA PANAMERICANA. p. 36.
- EcuadorForestal. 2007. Planificación estratégica bosques nativos en el Ecuador 2007-2012; subsector bosques nativos del Ecuador. (Disponible en:

http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE_BN.pdf. Consultado el: 2 de mayo de 2015)

Europapress.es. Investigadores de UMA desarrollan modelos para detectar la introducción de especies invasoras como algas rojas. (Disponible en: <http://www.europapress.es/andalucia/malaga-00356/noticia-investigadores-uma-desarrollan-modelos-detectar-introduccion-especies-invasoras-algas-rojas-20131009124134.html>. Consultado 7 de marzo de 2014)

FAO, 2002. Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. (Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y3550s/y3550s00.HTM>. Consultado 7 de marzo de 2014)

FAO, 2012. El estado de los bosques del mundo 2012. (Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>. Consultado el: 2 de mayo de 2015)

FAO, 2015. Extracciones y producción de los productos madereros y de papel. Ecuador. (Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/country/57025/es/ecu/>. Consultado el 15 de agosto de 2016)

FAO, 2008, El estado mundial de la agricultura y la alimentación. (Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i0100s.pdf>. Consultado el: 2 mayo de 2015)

Font Quer, P. 2010. Diccionario de botánica. Ediciones Península. México

García Breijo, F.J. 2003. Biología y botánica; programa de la asignatura. Valencia, ES. Universidad Politécnica de Valencia (Disponible en: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/programa.htm>. Consultado 9 de mayo de 2015)

Gil, R.; Carmona, J.; Rodríguez, M. 2006. Estudio etnobotánico de especies tóxicas, ornamentales y medicinales de uso popular, presentes en el Jardín de Plantas Medicinales “Dr. Luis Ruiz Terán” de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de los Andes. Boletín antropológico 24(68): 463-481. (Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/712/71206805/>. Consultado el: 10 de agosto de 2017)

- Gómez-Álvarez, R. P.; Martín de Serrano, M.; Sesma, M.; Álvarez-Uría, M.; Álvarez, R.; Láiz, B.; Sáez, F. 2002. Citología e histología vegetal y animal. 3 ed. McGRAW-HILL-INTERAMERICANA. Madrid, Esp. pp. 107, 112., 150, 779, 780, 783, 938
- González, A. M.; Arbo, Ma. M. 2013. Botánica morfológica; morfología de las plantas vasculares, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, AR. (Disponible en: https://web.archive.org/web/20090301052752js_/http://hiperbotanica.net/. Consultado el: 4 de junio de 2019)
- Gray, J.; Shear, W. s/f. La vida primitiva en tierra firme. En: GARCÍA, P. et al. 2002. Paleobiología; lecturas seleccionadas. 2 ed. México, Facultad de Ciencias, UNAM. pp 165-185
- Guzmán, G; Piepenbring, M. 2011. Los hongos de Panamá; introducción a la identificación de los macroscópicos. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Méx. p. 7
- Hernández Gil, R. 2007. LibroBotánicaOnLine; célula vegetal. Departamento de Botánica. Merida, VN.Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.. (Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/celula/>. Consultado 13 de abril de 2014)
- INGENIEROS. ES. 2013. Important news; Japón, China y Corea del Sur concentran el 84% de las patentes de macroalgas. (Disponible en: <http://www.ingenieros.es/en/news/see/japon-china-y-corea-del-sur-concentran-el-84-de-las-patentes-de-macroalgas/3850>. Consultado el: 7 de marzo de 2014)
- Invernón, V.R; González, M.; López Nieto, E.; Arnelas Seco, I.; Devesa Alcaraz, J.A. 2012. Manual de laboratorio de Botánica; el fruto. Córdoba, ES. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias, Ecología y Fisiología Vegetal, Departamento de Botánica. . p. 2. (Disponible en: http://www.uco.es/botanica/recursos-innovacion/Manual_Fruto.pdf. Consultado 21 de enero de 2016)
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Core Writing Team,

- Pachauri RK, Meyer LA (Eds) IPCC, Geneva, Switzerland, 151 P, 1–112. (Disponible en: <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>. Consultado el: 10 de octubre de 2017)
- Maria de Castro, N. s/f. Meristemas. Instituto de Biología, Universidad Federal de Uberlandia. Brasil. (Disponible en: <http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/exercicios-html/Meristema.htm>. Consultado el: 12 marzo de 2014)
- Marzocca, A. 1 985. Nociones básicas de taxonomía vegetal. San José, Costa Rica. IICA . pp. 7, 14,15, 68-70, 71-84, 91-105, 106-115
- Megías Pacheco, M.; Molist García; Pombal Diego, M.A. 2016. Atlas de histología vegetal y animal; Vigo, ES. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud, Facultad de Biología, Universidad de Vigo. (Disponible en: <http://mmegias.webs.uvigo.es/inicio.html>. Consultado el: 2 de junio de 2015)
- Méndez Estrada, V.H.; Monge Nájera, J. 2011. El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. Biocenosis. Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. (Disponible en: <https://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article/view/1188>. Consultado el 3 de mayo de 2015)
- Ministerio del Ambiente; International Tropical Timber Organization, 2011. Informe técnico; descripción de las cadenas productivas de madera en el Ecuador, Quito, Ec. (Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0032011224ed4d7359af0>. Consultado el: 6 de octubre de 2015)
- Molina, N. 2001. Uso de extractos botánicos en control de plagas y enfermedades. Avances en el Fomento de Productos Fitosanitarios No-Sintéticos. CATIE, Costa Rica. (Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6884/A1752e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado el: 10 de octubre de 2015)
- Müller, L.E. 2000. Manual de laboratorio de morfología vegetal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).Turrialba, Costa Rica. p. iv (Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=D9QOAQAIAAJ&pg=PR4&lpg=PR4&dq=morfolog%->

C3%ADa+vegetal&source=bl&ots=PMYul3SP9z&sig=6dNrBgRu8eZ-Bq88eeNG1ve1ZSXI&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjF1avp45z-TAhUhiVQKHTSHDZ84ChDoAQgkMAI#v=onepage&q=morfologia%20vegetal&f=false. Consultado 10 de septiembre de 2015)

Nabors, M.W. 2006. Introducción a la botánica. Pearson Educación, S.A. Madri, Es. pp. 437, 439, 446, 447, 448, 459, 482, 484, 486, 488, 493, 510, 512, 515, 516-519

Oceanógrafos's Blog. 2012. Consumir macroalgas ayuda a reducir el peso en humanos. (Disponible en: <http://oceanografos.wordpress.com/2012/03/26/consumir-macroalgas-ayuda-a-reducir-el-peso-en-humanos/>. consultado 9 de marzo de 2014)

Ortiz, J. 2011. Monografía; Composición nutricional y funcional de las algas clorofíceas Chilenas: *Codium fragile* y *Ulva lactuca*. Facultad de Ciencias y Farmacéuticas Universidad de Chile (Disponible en: http://98.139.21.31/search/srpcache?p=en+http%3A%2F%2F repositorio.uchile.cl%2Fhandle%2F2250%2F121457&ei=UTF-8&type=25237_012317&fr=tightropetb&u=http://cc.bingj.com/cache.aspx?q=en+http%3a%2f%2frepositorio.uchile.cl%2fhandle%2f2250%2f121457&d=4596561596779044&mkt=en-US&setlang=en-US&w=bnSYLVhia-0qRh1NSTwmHxbDZnN8KSUS&icp=1&intl=us&sig=NSginUyz7.3jqMZsBHG_4A—. Consultado el: 8 de marzo de 2014)

Peña, E. J.; Palacios, M. L. y Ospina-Álvarez, N. 2005. Algas como indicadores de contaminación. Cali, CO. Universidad del Valle, Programa Editorial. p. 25-36. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=l4QBTq77BsIC&pg=PA49&lpg=PA49&dq=Algas+como+indicadoras+de+contaminaci%C3%B3n+50.%09Pe%C3%B1a,+E.+J.;+Palacios,+M.+y+Ospina-%C3%81lvarez,+N&source=bl&ots=JWEAMlnte9&sig=ft9knORN4j--FZch587OGst-KCg&hl=es&sa=X&ei=rhfU9rdHKXmsATwvIGYBA&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q=Algas%20como%20indicadoras%20de%20contaminaci%C3%B3n%2050.%09Pe%C3%B1a%2C%20E.%20J.%3B%20Palacios%2C%20M.%20y%20Ospina-%C3%81lvarez%2C%20N&f=false>. consultado el: 15 de marzo de 2014)

- Raisman J. S.; Gonzalez, A.N. 2007. Hipertextos del área de biología; las plantas y su estructura II, raíz. Chaco, AR. Facultad de Agroindustrias, Universidad Nacional del Nordeste. (Disponible en: <http://www.biologia.edu.ar/plantas/planta2.htm>. consultado 17 de marzo de 2014)
- Solomon, E.P.; Berg, L.R.; Martin, D.W.; Ville, C. 1998. Biología de villed. 4 ed. México. Interamericana-McGraw-Hill, pp. 13, 78
- Uribe A., F. 1991. Botánica general. 2 ed. Medellín, Col. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUÍA p. 11, 13, 15-17, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 29-34, 38-41, 43-49, 50-56, 63-66, 69, 70, 72-87, 88-118, 120-134, 137-140, 152-162, 201
- Vidotti, E.C.; Rollemberg; M. 2004. Algas: Da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. Departamento de química , Universidad Estadual de Maringá, Paraná, Brasil. (Disponible en: http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol27No1_139_23-DV02216.pdf. Consultado 14 de mayo de 2014)
- Wikipedia La enciclopedia libre. s/f. Banisteriopsis caapi. (Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Banisteriopsis_caapi. Consultado 15 de mayo de 2014)
- Wikipedia La enciclopedia libre. s/f. Terminología descriptiva de las plantas. (Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Terminolog%C3%ADa_descriptiva_de_las_plantas. Consultado el: 6 de septiembre de 2016)
- Wikimedia commons. 2007. File: Marijuana seeds.jpg (Disponible en: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marjuana_seeds.jpg. Consultado el 12 de agosto de 2016)
- Wikipedia La enciclopedia libre. Allium cepa. (Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Allium_cepa. Consultado el 12 de septiembre de 2016)
- Wikipedia La enciclopedia libre. Pixidio. (Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pixidio>. Consultado el: 15 de septiembre de 2016)
- Wikipedia The free Encyclopedia. 2015. Poppy seed.(Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Poppy_seed. Consultado el: 15 de septiembre de 2016)

<http://geografia.sanvalero.net/>

<http://www.batanga.com/curiosidades/2011/03/23/5-datos-interesantes-sobre-el-sol>

<http://www.tusplantasmedicinales.com/ajo-planta-curativa-milenaria/>

http://provefru.com/product_info.php/products_id/39

http://guiaverde.com/guia_de_plantas/raphanus_sativus_3056

<https://gobotany.newenglandwild.org/species/nicotiana/tabacum/>

<http://purijardin.blogspot.com/2011/09/tradescantias.html>

<http://www.ingenieros.es/en/news/see/japon-china-y-corea-del-sur-concentran-el-84-de-las-patentes-de-macroalgas/3850>

<http://oceanografos.wordpress.com/2012/03/26/consumir-macroalgas-ayuda-a-reducir-el-peso-en-humanos/>

http://fotos.lainformacion.com/ciencia-y-tecnologia/biologia/investigadores-de-una-desarrollan-modelos-para-detectar-la-introduccion-de-especies-invasoras-como-algas-rojas_hZvI3s8Cx94qIDwY63laf/

<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/contratapa/aprendiendo/capitulo13.htm>

https://web.archive.org/web/20090205134857js_/http://hiperbotanica.net/tema19/Tema19-3Peridermis.htm

https://web.archive.org/web/20090205134901js_/http://hiperbotanica.net/tema19/Tema19-7Lenticelas.htm

<http://www.escolapedia.com/partes-de-la-raiz/>

<http://spanish.alibaba.com/product-gs-img/laboratorio-preparados-preparado-portaobjetos-del-microscopio-diapositivas-joven-ra-z-de-zea-mays-t-s--450130679.html>

<http://www.bioscripts.net/2014/01/14/neumatoforo/>

<http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema19/Tema19-7Lenticelas.htm>

<http://www.aquaterralive.com/catalog/plantas-acuaticas-c-120.html?osCsid=emt055hrls73cse843v463cmh0>

<http://es.slideshare.net/emartinvidales/nutricin-en-vegetalesdef>

<http://www.luontoportti.com/suomi/images/14612.jpg>

<http://lanacion.com.ec/la-marihuana-podria-perjudicial-la-salud-osea/>

http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Canna_glauca.htm

http://patriciasilvasaenz.mex.tl/photo_1089700_CIMA-ESCORPIOIDE--COMUN-EN-BORAGINACEAE-.html

https://es.wikipedia.org/wiki/Citrus_medica#/media/Archivo:Chinesische_Zedrat_Zitrone.jpg

<https://circlefood.wordpress.com/2010/04/18/>

<http://achosioque.blogspot.com/2012/01/la-guanabana-grandes-propiedades.html>

<http://www.flordeplanta.com.ar/frutales/anana-como-cultivarla-en-maceta/>

<http://www.ec.all.biz/semillas-de-cacao-g5778#.VhHsrSsYH44>

<https://naturalum.wordpress.com/2015/06/01/el-melon-el-mejor-companero-del-verano/>

http://es.123rf.com/photo_15352368_semilla-o-semillas-de-zapote-aislado-en-blanco.html?fromid=L1h2Uk9CMks1QnVGb21IQXpJc3Rpdz09

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marijuana_seeds.jpg

<http://www.portaldeavisos.net/semillas-de-coca-107834>

<http://www.semiforeirl.com/productos.html>

<http://hrbunas.blogspot.com/2015/01/>

<http://www.semillascamposeeds.com/productos/guayacan-amarillo/>

<http://elsemillero.net/semillas-forestales-mejoradas-para-la-reforestacion-productiva-en-colombia/>

<http://unibio.unam.mx/irekani/bitstream/123456789/70031/1/Chloroleucon-mangense-FS3236-sem.jpg>

http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_content&view=article&id=803:iniap-evaluo-la-presencia-del-acaro-blanco-en-el-cultivo-de-arroz&catid=97&Itemid=208

<http://sustainableseedco.com/wheat/>

<http://sustainableseedco.com/barley/>

<http://www.edabea.com/es/173-semillas-de-centeno-biologico-1-kgr.html>

<http://www.foddersystems.com/fodder-feed/oat.html>

<http://www.tropicalforages.info/Multiproposito/key/Multiproposito/Media/Html/Panicum%20maximum%20Jacq.htm>

<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>

<http://www.inkanatural.com/en/arti.asp?ref=canary-seed-en>

<http://espanol.istockphoto.com/photo-42980960-relva-capim-gordura-melinis- minutiflora.php>