

ISBN 978 958 98193 0 2

Sistemas de producción de café en Colombia

Jaime Arcila P. - Fernando Farfán V. - Argemiro Moreno B.
Luis Fernando Salazar G. - Edgar Hincapié G.





FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

COMITÉ NACIONAL

Período 1º enero/07-diciembre 31/10

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Director del Departamento Nacional de Planeación

Juan Camilo Restrepo Salazar
Mario Gómez Estrada
Carlos Alberto Gómez Buendía
Carlos Roberto Ramírez Montoya
César Eladio Campos Arana
Darío James Maya Hoyos
Jaime García Parra
Héctor Falla Puentes
Fernando Castrillón Muñoz
Javier Bohórquez Bohórquez

Gerente General
GABRIEL SILVA LUJÁN

Gerente Administrativo
LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Financiero
CATALINA CRANE ARANGO

Gerente Comercial
ROBERTO VÉLEZ VALLEJO

Gerente Técnico
ÉDGAR ECHEVERRI GÓMEZ

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
GABRIEL CADENA GÓMEZ

6A6Aa:xa
A62

ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G.,
L.F.; HINCAPIÉ G., E.

Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2007.
309 p.

Fitotecnia, Prácticas de cultivo, Caficultura
Manejo de cafetales

Una publicación de Cenicafé

Editores:

Héctor Fabio Ospina O.
Sandra Milena Marín L.

Diseño y Diagramación:

Carmenza Bacca Ramírez

Fotografía:

Gonzalo Hoyos Salazar
Jaime Arcila P.
Argemiro Moreno B.

Impresión

Editorial Blanecolor Ltda.

Primera edición

Mayo de 2007

1.500 ejemplares

© FNC-Cenicafé, 2007

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Sistemas de producción de café en Colombia

Jaime Arcila P. - Fernando Farfán V. - Argemiro Moreno B.
Luis Fernando Salazar G. - Edgar Hincapié G.



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia



Cenicafé

Autores ■

Jaime Arcila Pulgarín. Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Investigador Principal. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, A.A. 2427. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia (jaime.arcila@cafedecolombia.com).

Fernando Farfán Valencia. Ingeniero Agrónomo. Asistente de Investigación. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, A.A. 2427. Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia (fernando.farfan@cafedecolombia.com).

Argemiro M. Moreno Berrocal. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Investigador Científico II. Disciplina de Fitotecnia Centro Nacional de Investigaciones de Café, A.A. 2427. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia (argemiro.moreno@cafedecolombia.com).

Luis Fernando Salazar Gutiérrez. Ingeniero Agrónomo. Asistente de Investigación. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, A.A. 2427. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia (luisfernando.salazar@cafedecolombia.com).

Edgar Hincapié Gómez. Ingeniero Agrónomo. Investigador Científico I. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, A.A. 2427. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. (edgar.hincapie@cafedecolombia.com).



Agradecimientos ■

Desde los inicios de la investigación científica en la Federación Nacional de Cafeteros hasta el presente, varios investigadores han contribuido al desarrollo del conocimiento para el manejo agronómico del café: Ramón Mejía Franco, Juan Pablo Duque, Pedro Nel Mejía, Emilio Latorre H., Alberto Machado Sierra, José Vicente Triana, Marco Fidel Castro, Alfonso Uribe Henao, Alfonso Mestre Mestre, José Néstor Salazar Arias, Jaime Castillo Zapata, Germán Moreno Ruiz, Alvaro Jaramillo Robledo, Hernando Duque Orrego, Lucelly Orozco Gallego, Gabriel Cadena Gómez.

Se agradece además a todas las personas, entidades y dependencias que de alguna forma colaboraron e hicieron posible esta publicación, en especial a:

A la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Al Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé.

A todos los caficultores que han facilitado sus fincas para investigaciones cuyos resultados se mencionan en este libro.

A los estudiantes y becarios.

A los jefes y personal de apoyo de la Estación Central Naranjal de Cenicafé -Chinchiná (Caldas).

A los jefes y personal auxiliar de las Subestaciones Experimentales Consacá y La Unión (Nariño), El Tambo (Cauca), Gigante (Huila), La Sirena y Albán (Valle), Maracay y Paraguaicito (Quindío), La Catalina (Risaralda), Supía y Marquetalia (Caldas), Líbano (Tolima), El Rosario (Antioquia), Santa Bárbara (Cundinamarca), Santander (Santander), Pueblo Bello (Cesar).

A las Disciplinas de Suelos, Fitotecnia, Agroclimatología, Mejoramiento Genético y el Centro de Documentación de Cenicafé.

En la Disciplina de Divulgación a Héctor Fabio Ospina Ospina, Sandra Milena Marín López, Carmenza Bacca Ramírez y Gonzalo Hoyos Salazar.

El contenido de ésta publicación ha sido base para los Programas de Transferencia de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en especial, en la atención directa a los Caficultores en la sede principal y subestaciones de experimentación de Cenicafé, la capacitación de los Extensionistas de la Institución y en el curso “Sistemas de Producción de Café” del Programa de Capacitación Virtual E-learning desarrollado en conjunto con la Gerencia Técnica de la Federación y la Fundación Manuel Mejía; por tal razón, algunos textos e ilustraciones se utilizan simultáneamente y son producto de la interacción de los equipos de edición y diseño organizados con tal propósito.



Contenido

11 **Presentación**

13 **Prólogo**

15 **Capítulo 1. Fundamentos sobre sistemas de producción**

Elementos de un sistema

Ecosistemas - Agroecosistemas - Sistemas de producción

Sistemas de producción de café en Colombia

21 **Capítulo 2. Crecimiento y desarrollo de la planta de café**

Ciclo de vida y fases fenológicas del cafeto

Desarrollo vegetativo del cafeto: Crecimiento y desarrollo de las raíces

Desarrollo vegetativo del cafeto: Origen y desarrollo de los órganos vegetativos aéreos (tallo, ramas y hojas).

Desarrollo vegetativo del cafeto: Desarrollo foliar y su relación con el crecimiento y producción de la planta

Fase reproductiva del cafeto: Desarrollo floral

Condiciones favorables para el desarrollo de la flor

Condiciones desfavorables para el desarrollo de la flor

Fase reproductiva del cafeto: Desarrollo del fruto

Maduración del fruto del café (*Coffea arabica* L.)

Fase de senescencia del cafeto

Escala para la descripción de las fases fenológicas durante el crecimiento y desarrollo de la planta de café (*Coffea* sp.)

61 **Capítulo 3. Factores que determinan la productividad del cafetal**

La productividad agrícola

Factores determinantes de la productividad del cafetal

Factores climáticos que intervienen en la productividad del cafetal

Factores edáficos que inciden en la productividad del cafetal

Factores genéticos (especies y variedades) y su incidencia en la productividad del cafetal

Producción potencial de *Coffea arabica* L. en Colombia

Componentes de la producción y la productividad de *Coffea arabica* L.

Algunas propiedades físicas y factores de conversión del café

- 87 **Capítulo 4. Establecimiento y administración del cafetal**
Administración del cafetal
Sistemas de propagación (semilla, germinadores, almácigos)
Factores que afectan el desarrollo del cafeto en la etapa de almácigo
Manejo del almácigo
Siembra en el campo
- 101 **Capítulo 5. Las arvenses y su manejo en los cafetales**
Interferencia de las arvenses con los cultivos
Manejo de arvenses en cafetales
Manejo integrado de arvenses (MIA) en cafetales
- 131 **Capítulo 6. Densidad de siembra y productividad de los cafetales**
Consideraciones sobre el fenómeno de la competencia entre plantas
La densidad de siembra: una estrategia para el manejo de la competencia
Curvas de respuesta de los cultivos a la densidad de siembra
Formas de obtener la densidad de siembra óptima
- 145 **Capítulo 7. Renovación y administración de los lotes para estabilizar la producción de café en la finca**
Aspectos morfológicos y fisiológicos del cafeto que determinan los ciclos de renovación y poda
Aspectos fisiológicos de la renovación
Opciones para renovar los cafetales
Administración de los lotes y estabilización de la producción de la finca
- 161 **Capítulo 8. Producción de café en sistemas agroforestales**
Definición de sistemas agroforestales
Clasificación de los sistemas agroforestales
Análisis estructural de los sistemas agroforestales
Categorías de los sistemas agroforestales
Sistemas agroforestales
Denominaciones del componente arbóreo de los SAF con café
Selección y diseño de sistemas agroforestales con café
Distribución y manejo de la sombra

Interacciones árbol-suelo-cultivo

Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA)

¿Cuál es el porcentaje de sombra adecuado para el café?

Efecto de la sombra sobre la producción de café

Efecto del sombrío y la cobertura vegetal muerta de especies leguminosas sobre la disponibilidad de agua en el suelo

Efecto del sombrío de especies forestales sobre algunas propiedades químicas del suelo

Descripción de algunos árboles utilizados como sombrío del café

201 **Capítulo 9. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café**

La nutrición mineral del cafeto

Nutrientes esenciales y beneficios para la planta

Cómo consiguen las plantas los nutrientes esenciales

Proceso de absorción de los nutrientes presentes en el suelo

Manejo de la nutrición edáfica en la producción de café en Colombia

Absorción foliar de nutrientes por el cafeto

Fertilización orgánica

Abonos orgánicos

Características de los abonos orgánicos

Composición química de algunos abonos orgánicos

Efectos beneficios de la materia orgánica (M.O.)

Liberación de nutrientes y requerimientos de las plantas

Descomposición de la materia orgánica en el suelo

Agentes responsables de la descomposición

Fertilización orgánica de cafetales

233 **Capítulo 10. Cafés especiales**

¿Qué es un café especial?

Clases de cafés especiales

Algunos aspectos del mercado de los cafés especiales

Comportamiento de algunos indicadores en la transición de producción de café convencional a orgánico

Cafés especiales colombianos

Clasificación de los cafés especiales colombianos
Cafés con códigos de conducta y especiales que se venden en el mundo
Comparación de normas y criterios

255 Capítulo 11. producción de café en sistemas intercalados

Estructura de los sistemas de producción
Opciones tecnológicas para los sistemas de producción complementarios al café
Producción de maíz intercalado con café
Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) intercalado con café
Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) intercalado con siembras nuevas de café
Producción de plátano (*Musa* sp. Grupo AAB) intercalado con siembras nuevas de café (*Coffea arabica* L.)
Sistema de relevo de cultivos transitorios con café

275 Capítulo 12. Las buenas prácticas agrícolas en la caficultura

Definiciones y conceptos
Las buenas prácticas agrícolas en el cultivo del café
Recolección y manejo postcosecha del café
Salud, seguridad y bienestar laboral
Medioambiente
Lista de chequeo
Términos empleados en las buenas prácticas agrícolas

295 Bibliografía

Presentación

Desde la época en la cual se sembraron las primeras plantas de café en Colombia, hasta los tiempos contemporáneos, los caficultores se han preocupado por aumentar su producción y satisfacer la creciente demanda del grano colombiano.

La especie *Coffea arabica* encontró en los suelos y el clima colombianos, y en la vocación agrícola de sus habitantes, el mejor lugar para adaptarse y así convertirse en la mejor aliada del desarrollo rural y en general, del país.

El cultivo se inició en el oriente del país, y cuenta la historia que en su fomento tuvo mucho que ver la visión del presbítero Francisco Romero, gran impulsor de su cultivo en los Santanderes. Posteriormente floreció en el Gran Cauca y en Antioquia hasta prácticamente no existir una región del país en donde no se cultivara.

Sin embargo, fue la creación de la Federación Nacional de Cafeteros en el año de 1927, lo que logró la organización institucional que ha hecho posible que el café sea el gran motor de nuestra economía y el sector que más ha integrado social y económicamente a los colombianos.

Desde la creación de la Federación, los dirigentes cafeteros se preocuparon por tener el apoyo de la investigación para resolver los problemas del cultivo y para generar los conocimientos que facilitarían el éxito de su producción bajo las más difíciles circunstancias.

Con la creación del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, por el IX Congreso Nacional Cafetero en el año de 1938, los caficultores tomaron la decisión de apoyar a la industria con las actividades de investigación científica con el fin de tener soluciones que les permitieran seguir produciendo el café de acuerdo con la demanda creciente del mercado, gracias a la calidad reconocida del producto nacional.

En la presente obra, los lectores van a encontrar una completa recopilación de las principales contribuciones de los investigadores de Cenicafé, a través de los años, en relación con los sistemas de producción de café.

La actividad agrícola, desde los albores de la humanidad, ha acumulado una serie de conocimientos que han permitido alimentar a una cada vez mayor población, logrando no solo satisfacer sus necesidades nutricionales básicas, entregando cada vez no solo mayores cantidades de productos sino, además, mejores alimentos, más sanos, más nutritivos y más económicos. También se ha logrado atender la demanda de la industria por materias primas de origen vegetal que le han permitido a los seres humanos satisfacer sus necesidades básicas de vestuario, vivienda, comunicación y bienestar en general. Contemporáneamente, son los productos biodegradables, y los combustibles de origen vegetal los que cada vez se requieren en mayor volumen ante los problemas de los costos económicos y ambientales de los productos derivados del petróleo y con la captura de carbono por parte de las especies vegetales, se apuesta contribuir a remediar el fenómeno del cambio climático.

Todo esto ha sido posible y lo será en el futuro, gracias a la ciencia aplicada en el sector agrícola. Desde los conocimientos básicos de Mendel, la contribución de nuestros naturalistas que estudiaron las especies encontradas en el Nuevo Mundo, así como la revolución que implicó el empleo del mejoramiento genético de plantas, el conocimiento de los secretos de la fotosíntesis, el empleo de nutrimentos, el control de las plagas y las enfermedades, la mecanización de la agricultura, el procesamiento de los productos vegetales y su industrialización, han sido los grandes motores que han contribuido sustancialmente al desarrollo de la humanidad. En nuestro medio cafetero, un reducido número de científicos asociados a Cenicafé, ha asumido la responsabilidad de generar conocimientos que en forma integrada le permiten a los caficultores colombianos, producir eficientemente y bajo los principios del respeto por el medio ambiente.

Fundamentales han sido las contribuciones de nuestros investigadores sobre la conservación de los suelos, teniendo como base los estudios de éstos, del clima, de su interacción y de las prácticas de cultivo como el empleo de árboles de sombrero o los sistemas de manejo de arvenses y la práctica de medidas de conservación.

En las etapas iniciales del cultivo, las investigaciones han entregado prácticas sencillas, económicas y eficientes para construir el germinador y el almácigo con empleo de la pulpa de café descompuesta o mediante sistemas que permiten la obtención de colinos con dos tallos, con una importante reducción de los costos durante la etapa del establecimiento de los cafetales.

Las variedades de café estudiadas y mejoradas genéticamente han sido la base del desarrollo de los sistemas de producción de un volumen de café creciente a través de los años, pero además, con excelentes características de grano y de calidad en taza y adaptadas a los distintos ecosistemas de nuestra zona cafetera. La transformación de la caficultura colombiana en los años 70s se debió fundamentalmente a la introducción de la variedad Caturra y a la adopción de los resultados de investigaciones realizadas en Cenicafé, que enseñaron a los caficultores a cultivarla en las densidades de población óptimas, a plena exposición solar en aquellas regiones apropiadas, y con el uso de nutrimentos adecuados, aplicados en las épocas, dosis, frecuencias y formas más adecuadas.

Sin embargo, fueron las investigaciones sobre densidades de siembra, basadas en conceptos fisiológicos como el índice de área foliar y con el apoyo de los resultados sobre sistemas de renovación periódica, las que dieron el mayor impulso a la producción y a la productividad de la caficultura. Con la llegada al país del patógeno causante de la roya del cafeto, se terminó un largo período de la caficultura durante el cual los caficultores no tuvieron que preocuparse por problemas de importancia económica. No obstante, los investigadores de Cenicafé, con gran visión, se adelantaron a esta nueva situación y fueron capaces de entregarle oportunamente a éstos, una variedad con resistencia durable a la enfermedad. Todavía hoy, 23 años más tarde, los caficultores que adoptaron dicha variedad siguen disfrutando de la ventaja de no incurrir en pérdidas de cosecha ni en costos de control. Las variedades resistentes a la roya, han sido fácilmente adoptadas por los caficultores, gracias a que su sistema de producción es el mismo que fue desarrollado previamente con la variedad Caturra. Actualmente nuevas variedades tanto de porte alto como de porte bajo producidas en Cenicafé están siendo adoptadas como la mejor alternativa de producción y la forma más eficaz y económica para controlar la roya del cafeto.

Siempre ha sido preocupación de los caficultores el cómo manejar sus cultivos de café, asociándolo con otras especies bien sea como árboles de sombrío, como especies forestales, frutales o alimenticias. Cenicafé ha entregado resultados que resuelven en gran medida dichas preocupaciones. Los estudios sobre las mejores especies de sombrío que no solo permitieran la producción del café, sino además la conservación de los suelos fueron pioneras en Cenicafé y se han continuado a través de los años y en distintas regiones del país. La definición acerca del número de árboles de sombrío por hectárea según la especie empleada constituye una información muy valiosa para los cultivadores. También lo son los resultados sobre el empleo del plátano o el banano a manera de sombrío transitorio y como especie de importancia alimentaria y económica. Las prácticas que actualmente se aplican en relación con el intercalamiento de cultivos como maíz, frijol o tomate durante las etapas improductivas del café (levante o renovación por zoca), también fueron estudiadas por Cenicafé y permiten la obtención de ingresos adicionales en un sistema de cultivo en el cual, además, se logra que el café no disminuya su productividad. Como alternativa para aquellos que desean producir café orgánico o certificado por sus buenas prácticas agrícolas que se orientan a la sostenibilidad ambiental, igualmente Cenicafé ha desarrollado un conjunto de investigaciones que nos permite entregarles la información adecuada para lograr dichos propósitos. En el aspecto ambiental estamos además acompañando a los grupos interesados en la preservación de la biodiversidad y en lograr el reconocimiento como cultivadores responsables con el medio ambiente.

Es con gran satisfacción y con el sincero deseo de contribuir una vez más a la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de nuestra caficultura, que hacemos entrega de este libro, escrito con base en los resultados de las investigaciones realizadas en el Centro, desde su fundación hasta este año, y en el cual se presentan las contribuciones de nuestros investigadores que en forma consagrada, silenciosa pero con gran rigor científico, han dedicado lo mejor de su vida profesional al servicio de los caficultores colombianos. Esperamos que esta obra sea de gran utilidad a los profesionales de nuestro Servicio de Extensión, conformado por mujeres y hombres con gran espíritu de servicio y a quienes dedicamos esta obra como reconocimiento a su grandiosa labor como transferidores de tecnología y promotores del cambio.

Gabriel Cadena Gómez
Director de Cenicafé

Prólogo ■

El mejoramiento de la productividad y la rentabilidad de la caficultura colombiana, en armonía con el medio ambiente, ha sido uno de los objetivos más importantes de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, desde su creación en 1927. Sus dirigentes, conscientes que la investigación y la experimentación agrícola eran la base para el desarrollo del soporte tecnológico necesario para alcanzar estos objetivos, lograron que en la ley 76 de 1927, en uno de sus apartes se estipulara la fundación de una “sección científica, verdaderamente práctica, para adiestrar a los caficultores tanto en lo referente al cultivo (del cafeto) como a la preparación o beneficio del grano”.

Para el año 1933 ya se tenían 5 granjas para la investigación en la zona cafetera así: La Esperanza en Cundinamarca, Líbano en Tolima, La Granja Escuela Cafetera de Caldas, Granja de las Mercedes en Antioquia, y la Granja Blonay en Norte de Santander. Los primeros planes de investigación definidos se iniciaron en 1932 en La Granja Escuela de Caldas y comprendían los siguientes tópicos: poda del café, erosión del suelo, ensayos sobre sombrío, métodos de cultivo y manejo del suelo, y experimentos sobre siembras. La experimentación se consolidó en 1938, cuando se dio el carácter de Centro Nacional de Investigaciones de Café, a la Granja Escuela de Caldas, con sede en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas, y se organizaron otras granjas como estaciones experimentales de repetición en Antioquia y Norte de Santander, así como muchos campos de cooperación experimental y granjas demostrativas distribuidas en los diferentes departamentos cafeteros de Colombia.

Hasta ese momento el sistema de producción predominante era de carácter extensivo, con una sola variedad (*Coffea arabica* L. variedad Típica), muy bajas densidades de siembra (961-1.600 cafetos/ha), altas densidades de tallos de café, altas densidades del sombrío, a libre crecimiento o con descope, sin fertilización y muy baja productividad (300 a 500 kg.ha⁻¹). Duque, en 1940, registra que para esa época, en Colombia existían dos formas distintas de árbol: “árbol descopado que no sufrió poda de formación y árbol sin descopar que tampoco ha tenido poda de formación ni método alguno de racionalización”, es decir, no había renovación de las plantaciones.

Los primeros trabajos experimentales de Cenicafé se enfocaron al estudio de los distintos sistemas de cultivo, sombrío y manejo de los suelos, así como a la definición de cuáles tipos de poda de las utilizadas en el país y otras regiones cafeteras del mundo resultaban más convenientes para nuestras regiones cafeteras. Así mismo, se adelantaron trabajos de registros de producción de plantas de las variedades Típica y Borbón y se hicieron selecciones para producir semilla. La variedad Borbón se introdujo a finales de la década de los años 20 y a pesar de mostrar siempre en los experimentos mejores rendimientos que la variedad Típica, nunca fue adoptada por los caficultores ya que bajo las prácticas de cultivo predominantes en la época no se percibían sus bondades.

El trabajo de investigación se complementó con visitas a varias regiones cafeteras del mundo y fue así como en la década de los años 50 se enviaron misiones científicas al Brasil, Hawai, Centro América y Puerto Rico. De estas visitas se concluyó que era posible cultivar el café a plena exposición con varias plantas por sitio y obtener producciones superiores a los 2.500 kg de café pergamino seco por hectárea, que el cultivo al sol debía ir acompañado de niveles apropiados de fertilizante y que existían otras modalidades de siembra y de podas para renovar las plantaciones. Estas observaciones se plasmaron en un proyecto sobre “Modalidades del cultivo del cafeto” en el cual se compararon las variedades Típica y Borbón, al sol y bajo sombra, con y sin fertilización, descope y libre crecimiento, una y cuatro plantas por sitio y dos profundidades de siembra. Este ensayo sentó las bases sobre las cuales la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia inició un programa extensivo de ensayos de cultivo al sol (Triana, 1957; Uribe; 1958). Estos resultados y la introducción de la variedad Caturra, dieron origen a la transformación de la caficultura de los años 60 y 70 (Castillo, 1990).

Los ensayos de siembra de la variedad Caturra al sol, en altas densidades de siembra (más de 5.000 plantas/ha) y sistemas de renovación por zoca, mostraron la gran adaptabilidad de esta variedad a las condiciones ambientales de la zona cafetera colombiana y permitieron la intensificación y la tecnificación de nuestra caficultura (Uribe y Mestre 1980; Mestre y Salazar, 1990).

La década de los años 80 marcó otro rumbo importante en la caficultura colombiana con la llegada de la roya del cafeto y la disponibilidad, en ese momento, gracias a la investigación de Cenicafé, de una variedad resistente a

esta enfermedad, la variedad Colombia, en la cual se reunieron las excelentes características agronómicas de la variedad Caturra y la resistencia a la roya presente en el Híbrido de Timor. Esto permitió mantener el proceso de intensificación y tecnificación de la caficultura.

Paralelamente con la experimentación para el desarrollo de las técnicas agronómicas, se avanzó en la caracterización edafológica y climática de los diferentes ambientes en que se cultiva el café en Colombia (Gómez *et al.*, 1991). Las investigaciones en los diferentes aspectos agronómicos y ecológicos del cultivo del café que se llevan a cabo regionalmente, han generado conocimientos y alimentado la posibilidad de implantar nuevas herramientas para lograr una visión global de la diversidad de recursos de suelo, clima y comportamiento de los cultivos y así tomar decisiones más acertadas a nivel nacional y regional. Al establecer las relaciones entre el suelo, el clima, el relieve y la planta, ha sido posible considerar regionalmente éstas características mediante sistemas de información geográfica, con los cuales se puede hacer referencia espacial de los resultados de la experimentación, los modelos de producción y los sistemas de fertilización, entre otros. En este desarrollo, el papel de las subestaciones experimentales ha sido fundamental, como también la colaboración de un sinnúmero de caficultores que han facilitado sus predios para la realización de diversos experimentos.

En el campo específico de la investigación agronómica es preciso una mención especial de los Ingenieros Agrónomos que a través de los años han hecho importantes contribuciones al manejo de la caficultura colombiana: Ramón Mejía Franco, Juan Pablo Duque, Pedro Nel Mejía, Emilio Latorre H., Fernando Suárez de Castro, Alberto Machado Sierra, José Vicente Triana, Marco Fidel Castro, Álvaro Gómez Aristizábal, Alfonso Uribe Henao, Alfonso Mestre Mestre, José Néstor Salazar Arias, Jaime Castillo Zapata y Germán Moreno Ruiz.

En síntesis, la caficultura colombiana, ha evolucionado ampliamente pasando de las plantaciones envejecidas, de baja densidad y bajo sombrío a explotaciones intensivas especializadas, de alta densidad, a plena exposición solar, aunque con un remanente de caficultura tradicional. Igualmente ha tenido que afrontar nuevos problemas como la roya del cafeto y la broca del fruto y nuevos desafíos en la búsqueda de mercados con valor agregado. El conjunto tecnológico producido y difundido por la Federación de Cafeteros, basado en realidades socioeconómicas y con la aplicación de los principios de la agricultura científica ha dado así origen a una caficultura fuerte y competitiva, y simultáneamente, se han protegido los recursos naturales.

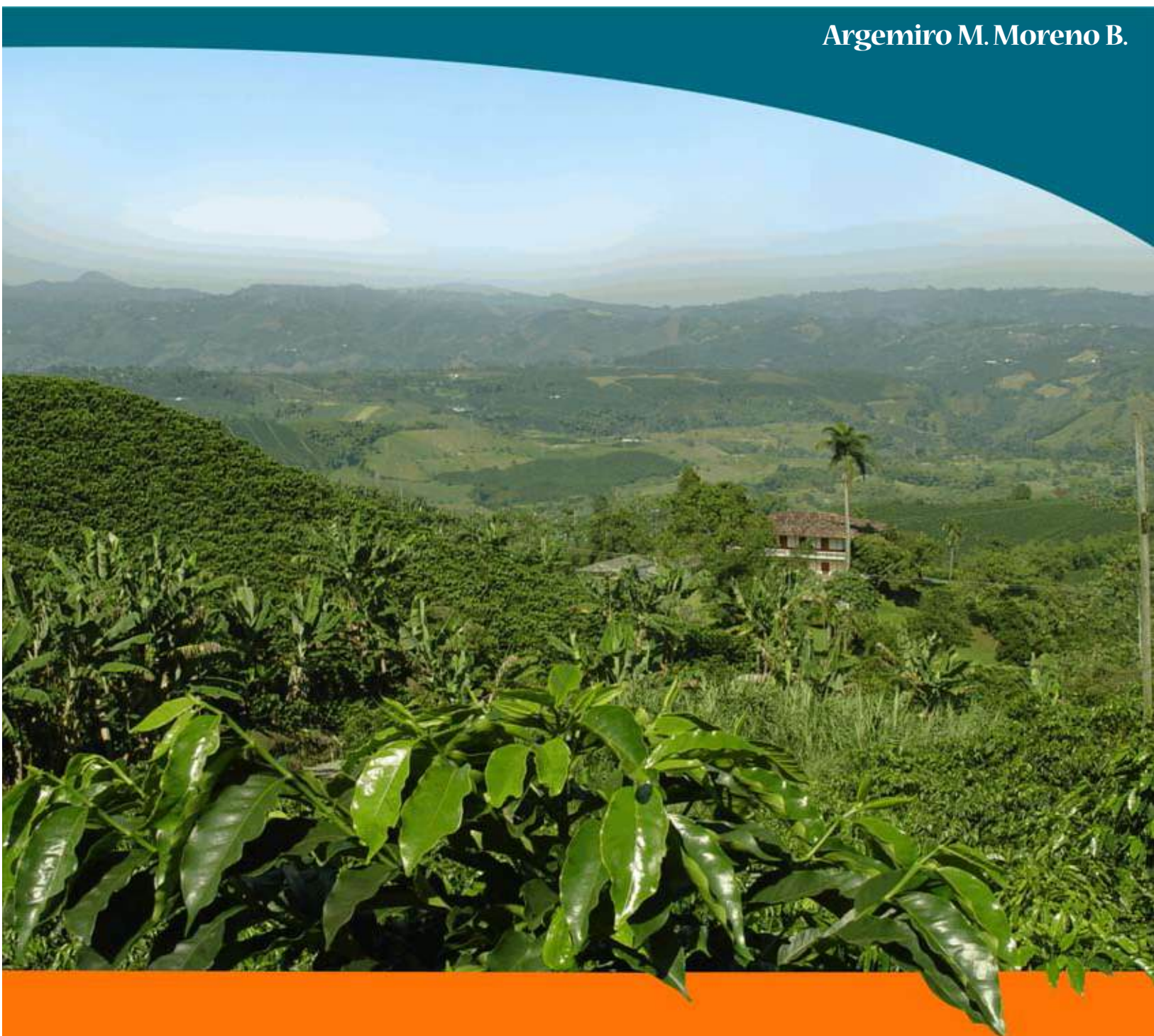
Este libro, es una visión de los avances en las técnicas de producción de café en Colombia, bajo la perspectiva de los diferentes factores que intervienen en los sistemas de producción. Apoyados en los avances del conocimiento en el campo agrícola y de la Investigación de Cenicafe, se interpreta el desarrollo de la planta de café bajo las condiciones de las regiones en que se cultiva en nuestro país, se describe el proceso productivo y los factores que lo afectan, se explican las prácticas de siembra y formas de conducción del cultivo para ser exitosos, eficientes y sostenibles en la producción, se establecen criterios para la agroforestería con café y para la incursión en los procesos productivos para cafés certificados o especiales. Igualmente se introducen los fundamentos para sustentar el proceso productivo sobre la base de las buenas prácticas agrícolas y la tecnología para diversificar ingresos con el intercalamiento de cultivos semestrales.

Para la industria cafetera, es de gran importancia continuar el desarrollo de alternativas para los sistemas de producción de café, tecnificados y tradicionales, óptimos desde el punto de vista económico, social y ecológico. A la par con estos desarrollos se debe promover la aplicación permanente de los conocimientos y tecnologías más avanzados, producto de la investigación biológica y agronómica del cultivo, en todas las actividades y procesos tanto experimentales como demostrativos establecidos en las subestaciones experimentales regionales y en los Comités de Cafeteros, para que sirvan de modelos para transferir, educar y capacitar a nuestros caficultores en las mejores técnicas de administración y manejo de sus cultivos y predios.

Los autores

Fundamentos sobre sistemas de producción

Argemiro M. Moreno B.



Elementos de un sistema

La ciencia y la tecnología, hoy día son el fundamento y el soporte de todas las actividades productivas artesanales o empresariales de los seres humanos; por tanto, es importante tener principios y conceptos amplios sobre lo que es un sistema de producción, para entenderlo en toda su dimensión y así poder acudir con precisión y oportunidad a la Fitotecnia como tecnología de la producción agrícola. La actividad agrícola empresarial para que pueda ser exitosa tiene necesariamente que usar conocimiento científico y tecnológico junto con un proceso administrativo eficaz y eficiente.

La Fitotecnia, es la materia o la disciplina que utiliza el conocimiento de forma armónica y coordinada para obtener productos vegetales útiles al hombre, en las mejores condiciones económicas, ecológicas y de respeto al medio ambiente. El ámbito de la producción vegetal en que se enmarcan los estudios fitotécnicos queda sustentado en tres grandes grupos de factores: edáficos (suelo), climáticos y biológicos (Urbano, 1995).

Para comprender mejor los sistemas, es importante considerar un poco la Teoría General de Sistemas, la cual se desarrolló cuando se comprendió que muchos problemas en el “mundo real” son muy complejos y que necesitan soluciones multidisciplinarias; pues no es suficiente con considerar unos pocos factores; hay que tomar en cuenta el conjunto y ver cada problema como uno de los componentes de un sistema. En consecuencia, esta teoría es una de las que tienen mayor aceptación tanto en las ciencias básicas como en las aplicadas, debido a su alcance integrador como lenguaje interdisciplinario, de tal manera que al comprender las teorías, los elementos, las definiciones y los demás aportes que brinda sobre los sistemas, genera competencia para analizar y entender cualquier tipo de sistema en un momento determinado o por lo menos, para tener una perspectiva de sistemas.

La Teoría General de Sistemas se encarga de analizar un sistema de forma general, luego los subsistemas que los componen o conforman y las interrelaciones que existen entre sí, para cumplir un propósito u objetivo. En consecuencia, busca semejanzas que permitan aplicar leyes idénticas a fenómenos diferentes y que a su vez permitan encontrar características comunes en sistemas diversos.

Según Bertalanffy (1976), sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas, esto es que en términos generales un sistema está conformado por componentes con estructura y funciones determinadas con entradas (insumos) y salidas (productos) definidas hacia un fin establecido. Por ejemplo, el sistema

de producción de café a libre exposición solar está conformado por las plantas de café, el suelo y el ambiente para producir cerezas de café. Si al anterior sistema le incluimos un componente nuevo como es la sombra, el sistema cambia, y esos cambios también dependerán de los efectos que produzca la sombra; porque el nuevo componente influye en la estructura del sistema y por tanto, en sus interacciones y productos tanto en cantidad como en calidad.

De otra parte, el sistema de producción café a libre exposición solar puede descomponerse en subsistemas como las arvenses, el suelo, el clima y la planta de café, entre otros. Lo anterior muestra que en la medida que analicemos el sistema encontraremos otros inferiores contenidos en los anteriores, dando paso a lo que se conoce como principio de recursividad.

Al tener una visión de sistemas ante la producción agrícola, se da la posibilidad de entender lo que ocurre en la finca como sistema dinámico global y cada uno de sus subsistemas, donde el sistema de producción de café, con sus componentes y sus subsistemas, funcionarán hacia los objetivos propuestos, como resultado de las decisiones técnicas y administrativas del empresario agrícola.

Elementos de un sistema

Todo sistema está conformado por:

1. Componentes
2. Interacción entre componentes
3. Entradas (insumos)
4. Salidas (productos)
5. Límite o frontera

Identificar con claridad y precisión los elementos de un sistema, es la base para empezar a entenderlo bien, para no incurrir en imprecisiones y por tanto, en decisiones inadecuadas o erróneas a la hora de desarrollarlo o al tratar de influir sobre el mismo. Por ejemplo, en el sistema de producción de café, al no entender bien las interacciones de dos componentes como la planta y el suelo, puede incurrirse en grandes fallas, como puede ser sembrar una planta que no tenga un sistema radical adecuado para que se ancle bien al suelo y pueda absorber agua y nutrimentos. Si por el contrario ya el cafetal (sistema) está establecido y se observan plantas deficientes en su desarrollo y con un anclaje débil, es muy probable que sea a causa de malformaciones radicales o condiciones deficientes del suelo, por no haber considerado ese detalle a la hora de

sembrar las plantas desde el estado de chapola. Como el cultivo del café es para varios años, el conocimiento de los elementos del sistema y de sus interacciones es aún de mayor relevancia.

Aparte de identificar los componentes de un sistema, también es importante conocer su estructura. La palabra estructura se deriva del latín *struere* que significa construir; la estructura está dada por las interrelaciones más o menos estables entre las partes o los componentes de un sistema, que pueden ser verificadas (identificadas) en un momento dado. En algunos casos es preferible distinguir entre una estructura primaria (referida a las relaciones internas) y una hiperestructura (referida a las relaciones externas). La estructura de un sistema depende del número de componentes, del tipo de componentes y de la interacción entre los componentes. Si uno se hace preguntas tales como: ¿Qué pasa si esto cambia?, entonces comienza a ver que cada elemento es parte de una o más estructuras del sistema.

El ambiente o entorno, es el medio que envuelve al sistema con el cual está en constante interacción, ya que éste recibe entradas, las procesa y efectúa salidas. La supervivencia de un sistema depende de su capacidad de adaptarse, cambiar y responder a las exigencias y demandas del ambiente. Aunque el ambiente puede ser un recurso para el sistema, también puede ser una amenaza. Algunas veces, el ambiente o entorno puede modificarse para favorecer el sistema, como cuando se usa el sombrío en los cafetales para reducir el impacto negativo del déficit hídrico y las altas temperaturas. El atributo se refiere a las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan a los componentes de un sistema. En el caso del café, el componente planta tiene el atributo de ser perenne.

En un sistema dado, la función siempre se define en términos de procesos. La función está relacionada con el proceso de recibir entradas y producir salidas. Este proceso se puede caracterizar usando diferentes criterios, pero entre los más importantes están: productividad, eficiencia y variabilidad.

Una forma de estudiar los sistemas es por medio de modelos, los cuales son construcciones diseñadas por un observador que persigue identificar y medir relaciones sistémicas complejas. Todo sistema real tiene la posibilidad de ser representado en más de un modelo. La decisión en este punto depende tanto de los objetivos de quien modela como de su capacidad para distinguir las relaciones relevantes con relación a tales objetivos. El propósito de la modelación de sistemas es la simplificación. Con relación al café, la función de producción es quizá el modelo más simple para representar la producción de café en función de

algunas variables como el número de ramas, nudos por rama y granos por nudo, entre otras.

Dada la gran diversidad de sistemas, éstos pueden clasificarse:

1. Conforme a su naturaleza, se pueden agrupar en reales, ideales y modelos. Mientras los primeros presumen de una existencia independiente del observador (quien los puede descubrir), los segundos son construcciones simbólicas, como el caso de la lógica y las matemáticas, mientras que el tercer tipo corresponde a abstracciones de la realidad, en donde se combina lo conceptual con las características de los objetos. Por ejemplo, la producción del café puede expresarse de forma matemática mediante una función de producción, con el propósito de predecir producciones o conocer mejor algunas interacciones entre sus componentes más interesantes.

2. Con relación a su origen, pueden ser naturales o artificiales, distinción que apunta a destacar la dependencia o no en su estructuración por parte de otros sistemas. En general, los agroecosistemas son sistemas artificiales, producto de la actividad humana (antrópica).

El Sistema de Información Cafetera (SICA), es un sistema artificial para describir y caracterizar la caficultura colombiana, y se define de la siguiente manera: sistema de información dinámico, actualizable que le permite a las autoridades cafeteras, a la institución y a los productores contar con información confiable, la cual contribuye al mejoramiento de la competitividad y la sostenibilidad de la caficultura colombiana, en procura del bienestar de las familias cafeteras.

3. En cuanto al ambiente o al entorno, cuando se puede expresar o determinar el grado de aislamiento los sistemas pueden ser cerrados o abiertos, según el tipo de intercambio que establecen con sus ambientes. En este punto se han producido importantes innovaciones en la Teoría General de Sistemas, tales como las nociones que se refieren a procesos relativos a estructuras disipativas, autorreferencialidad, autoobservación, autodescripción, autoorganización, reflexión y autopoiesis. Un cafetal, es un sistema abierto y como tal interactúa de forma positiva o negativa con su entorno, tanto por las funciones del sistema como por su manejo. Por ejemplo, un manejo inadecuado del subsistema arvenses puede influir negativamente sobre el subsistema suelo (facilitando la erosión, por ejemplo), por eso se ha optado por el manejo integrado de las arvenses, producto de una visión global de este subsistema, porque al evitar que éste se deteriore, su interacción con las plantas se mantendrá bien.

Ecosistemas - Agroecosistemas - Sistemas de producción

Actualmente, la preocupación por la sostenibilidad del ambiente mediante el manejo equilibrado de los recursos naturales renovables (el suelo, por ejemplo) para satisfacer las diversas necesidades de la humanidad, constituye un serio desafío, pues en cuanto aumenta la población humana, se incrementa la demanda por alimentos y materias primas de origen vegetal y animal.

La productividad biológica considerada como la acumulación de energía y materiales, se fundamenta en conceptos ecológicos, pero es la aplicación de la tecnología la que permite aprovechar dicha productividad. En consecuencia, entender la estructura y la función de los ecosistemas, los agroecosistemas y los sistemas de producción, para usar de forma adecuada lo mejor que haya en tecnología de la producción, aparte de ser un compromiso general, es una forma de garantizar efectividad y su sostenibilidad.

El ecosistema según Hart (1985), es un sistema dinámico relativamente autónomo formado por una comunidad natural (componentes bióticos) y su medio ambiente físico (componentes abióticos). Este concepto empezó a desarrollarse en las décadas de 1920 y 1930, y tiene en cuenta las complejas interacciones entre los organismos (plantas, animales, bacterias, algas, protozoos y hongos, entre otros) que forman la comunidad y los flujos de energía y materiales que la atraviesan. En otras palabras, el ecosistema es el conjunto de factores abióticos y bióticos de una determinada zona y la interacción que se establece entre ellos.

La interacción entre el medio abiótico y biótico se produce cada vez que un animal o vegetal se alimenta y después elimina sus desechos. Para profundizar sobre este concepto, es fundamental saber cómo se organizan los seres vivos y qué tipo de interacción ocurre entre ellos y con su ambiente.

Agroecosistema o Sistema agrícola, es un ecosistema sometido por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos. Estas modificaciones afectan prácticamente todos los procesos estudiados por los ecólogos, y abarcan desde el comportamiento de los individuos y la dinámica de las poblaciones hasta la composición de las comunidades y los flujos de materia y energía.

Casi siempre la intervención del hombre se hace con un propósito (Spedding, 1995), donde el beneficio económico mediante la consecución de uno o varios productos (agrícolas, forestales o pecuarios) casi siempre

predomina, aunque también se puede satisfacer otro tipo de necesidades.

Estimaciones recientes, indican que más de la mitad de la superficie de la corteza terrestre ha sido destinada a la práctica de la agricultura (12%), la ganadería (25%) o la plantación de bosques artificiales (15%).

Ante los efectos nocivos que ha sufrido la superficie de la corteza terrestre como son la compactación de los suelos, la erosión y la disminución o la pérdida de la fertilidad natural, hoy día se propende por establecer agroecosistemas sostenibles en términos sociales, económicos y ambientales. Lo anterior ha sido el resultado de un mejor conocimiento de estos sistemas, tanto en sí mismos como de los subsistemas del ecosistema. Los agroecosistemas, están conformados a su vez por subsistemas, tales como el subsistema cultivos, el subsistema arvenses, el subsistema plagas, el subsistema enfermedades y el subsistema suelo.

Un sistema de producción agrícola, es una actividad dirigida a transformar componentes abióticos (oferta ambiental) por medio de componentes bióticos (genotipo), en arreglos espaciales y cronológicos con prácticas adecuadas de manejo, en productos de importancia económica. Por ejemplo, la planta de café (genotipo) transforma CO₂, agua, energía solar y minerales, en cerezas de café.

La Fitotecnia, es la tecnología propia de los sistemas de producción agrícola, la cual como tal es una visión y un sistema de conocimientos multidisciplinarios, para producir con calidad, rentabilidad y sostenibilidad cualquier producto agrícola. Al respecto, es importante tener en cuenta que al aplicar tecnología a un sistema de producción, el propósito debe ser aminorar la brecha que existe entre el potencial de producción y la producción real. Por tanto, es clave identificar los elementos del sistema que más contribuyen a la producción final (Figura 1.1).

Dentro de los sistemas de producción agrícola, también se practica la Agroforestería, la cual se refiere a sistemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes como los árboles, los arbustos y las palmas, entre otras, se usan de forma deliberada en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Nair, 1989).

Entre las características de los Sistemas Agroforestales, se puede mencionar su gran capacidad para optimizar la producción a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen la función de proveer muchos productos tales como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, principios activos de interés

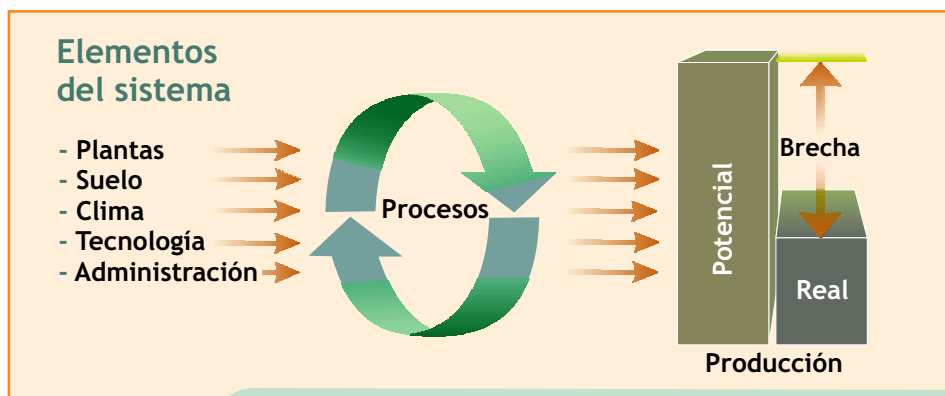


Figura 1.1. Relación entre algunos elementos de un sistema de producción agrícola y sus producciones potencial y real.

farmacéutico, cosméticos, aceites y resinas, entre otras. Por otra parte, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercas vivas para los cultivos y árboles frutales, demarcación de límites, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de tierras degradadas y control de arvenses.

Aunque los propósitos, objetivos o beneficios de un Sistema Agroforestal pueden ser diferentes según las necesidades o situaciones, de forma amplia tienen buen reconocimiento los siguientes: la protección y el mejoramiento del suelo y la diversificación de la producción, lo cual le asegura una mayor estabilidad e ingresos económicos en el mediano y el largo plazo; obtención de subproductos como leña, postes, miel y otros, que mejorarán la calidad de vida de los propietarios; dado el reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema, ayudará a un aumento de la productividad para el agricultor, la comunidad o la región (Torquebiau, 1993).

Sistemas de producción de café en Colombia

En la región cafetera colombiana se han identificado áreas homogéneas en características de suelo, relieve y clima denominadas ecotopos cafeteros, que definen el entorno o el ambiente principal de los sistemas de producción de café. Se consideran los siguientes sistemas de producción: tradicional, tecnificado, con semisombra y con sombra.

Sistema de producción tradicional, se considera un lote de café con variedad Caturra o Típica, establecido sin trazo, con sombrío no regulado y una población menor a 2.500 plantas por hectárea.

Sistema de producción tecnificado, se considera un lote de café con variedad Caturra o Castillo®, el cual ha sido trazado, establecido al sol o con sombrío regulado y una población mayor a 2.500 plantas por hectárea.

Sistema de producción con semisombra, se define en función del componente arbóreo como regulador de la luz solar. Generalmente, se emplean especie arbóreas como el guamo, el nogal o el chachafruto, entre otros y con una densidad entre 20 y 50 árboles por hectárea, o cualquier especie arbustiva semipermanente (plátano o banano) con un número de plantas entre 300 y 750 sitios por hectárea.

Sistema de producción de café con sombra. Está caracterizado por el empleo de cualquier especie arbórea permanente con una densidad superior a 50 árboles por hectárea, equivalente a una distancia de siembra de 14 x 14 m. También puede darse la regulación de la luz incidente por cualquier especie arbustiva semipermanente con más de 750 sitios por hectárea, la cual puede establecerse con una distancia de siembra de 3,7 x 3,7 m, con un arreglo espacial uniforme (Federación Nacional de Cafeteros, 1993).

La regulación de la luz incidente, generalmente se emplea en aquellas regiones donde ocurre déficit hídrico y altas temperaturas. Para este sistema comúnmente se emplean plantas de valor económico, lo que se denomina sombrío productivo, como una forma de reducir los costos de producción y es una opción para diversificar el ingreso.

Tabla 1.1. Análisis económico de doce prácticas para mejorar el desempeño de las fincas cafeteras (Ramírez *et al.*, 2002).

No.	Práctica	Inversión adicional	Ineficiencias cubiertas/beneficios de las prácticas	Cubrimiento actual
1	Sembrar Variedad Castillo®	No	Resistente a la roya. La pérdida potencial por roya es hasta del 23% de la producción y menor calidad.	27% del área sembrada
2	Producir colinos de café en la finca	No	Ahorro del 62% de los costos Puede representar entre 30 y 40% más de productividad.	N.D.
3	Utilizar materia orgánica	No	Reducción de costos y mejor calidad del fertilizante	N.D.
4	Aumentar la densidad	(1)	Fundamental para aumentar la productividad Alternativa adicional: 2 chapolas por sitio reducen hasta en un 46% el costo de instalación.	
5	Manejo integrado de arvenses (MIA)	No	Reducción del 58% en costos Sostenibilidad de la productividad por la protección del suelo (importancia enorme en lotes de ladera)	N.D.
6	Fertilizar con base en el análisis de suelo	No	Actualmente se hace un uso excesivo de los fertilizantes. Algunos ejercicios muestran pérdidas marginales por esta práctica entre el 50 y el 90% de su costo. Todo se logra con educación e información sobre suelos.	N.D.
7	Fertilizantes al voleo	No	Aumenta la productividad del fertilizante y disminuye los requerimientos de mano de obra. Reducción del 66% en costos	N.D.
8	Manejo integrado de broca (MIB)	No	La broca deteriora la calidad - menores ingresos por reducción del precio recibido Se reduce entre un 30 y 80% el valor del costo según el nivel de infestación. Educación sobre el uso racional de los recursos.	N.D.
9	Renovar por zoca	No	Estabiliza y mejora la productividad. 50% menos costosa que la siembra. Capacitación para planear los ciclos Alternativa adicional: dos chupones por sitio permiten aumentar la productividad, al incrementar la densidad sin necesidad de nuevas siembras.	
10	Cosechar sólo los frutos maduros	(2)	Muestreos indican que cerca del 15% del grano recogido no son frutos maduros Mejora calidad - mayores ingresos	N.D.
11	Beneficio ecológico	Sí	Recuperación de la inversión entre 4 y 6 años Ahorro en el consumo de agua (98%) Menos mano de obra y tiempo, mayor calidad, menor contaminación y manejo de subproductos	
12	Producir alimentos en los cafetales	Sí	Aprovecha la tierra con otros cultivos. Un ejemplo: rentabilidades de 120 y 163% para cultivos de café-maíz en dos localidades	N. D.
13	Herramientas de registro y análisis de costos	(3)	Manejo empresarial. Hay un software AgroWin para esto. Educación	

(1) Genera costos porque es necesario renovar los cafetales.

(2) Genera un mayor costo laboral por la recolección pero el mayor precio por el café lo compensa

(3) Puede diseñarse un sistema de ayuda porque no todos tienen acceso al computador. Los técnicos del Servicio de Extensión pueden ayudar en esto porque todos están equipados

En cuanto a la tecnología que puede aplicarse para modernizar los sistemas de producción de café, reducir los costos, aumentar la productividad, buscar la sostenibilidad y ganar eficiencia, existen prácticas descritas por Duque (2001), que se resumen en la Tabla 1.1 (Ramírez *et al.*, 2002).

En los siguientes capítulos, se encuentran los fundamentos científicos y tecnológicos sobre las prácticas de cultivo para consolidar sistemas de producción de café, eficaces, eficientes, rentables y sostenibles.

Crecimiento y desarrollo de la planta de café

Jaime arcila Pulgarín.



Ciclo de vida y fases fenológicas del cafeto

Ciclo de vida del cafeto

Para establecer el manejo adecuado del cultivo de café se requiere un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a su crecimiento, desarrollo y producción, así como de los factores que los afectan. Expresado en términos más simples, el éxito del cultivo del café depende de la cantidad y la calidad de su crecimiento, de tal forma que si éstos son óptimos, los rendimientos en producción serán buenos y excepto en situaciones económicas especiales se obtendrán ganancias, contrario a lo que ocurre cuando el crecimiento del cultivo es deficiente.

Como todo organismo vivo cada especie vegetal, incluido el cafeto, tiene un ciclo de vida y un potencial productivo característicos. En el transcurso de este ciclo es posible distinguir una serie de fases de desarrollo, en las cuales, la planta o sus órganos, permanece por períodos de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que ocurran en el sitio de cultivo. Esto implica además, que la condición apropiada para una fase de desarrollo por ejemplo, el crecimiento de las

hojas, puede ser desfavorable para otra fase, como la floración, y que por consiguiente los requerimientos de manejo sean diferentes en cada caso (Watts,1979).

El cafeto es un arbusto perenne cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza hasta 20-25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo. A libre crecimiento, la planta comienza a producir frutos en ramas de un año de edad, continúa su producción durante varios años y alcanza su máxima productividad entre los 6 y 8 años de edad. La planta puede seguir su actividad por muchos años pero con niveles de productividad bajos.

Durante su ciclo de vida, la planta destina una parte de éste a la formación de estructuras no reproductivas como las raíces, las ramas, los nudos y las hojas, actividad denominada desarrollo vegetativo (Dedecca, 1957). La fase durante la cual ocurre la formación y desarrollo de estructuras de reproducción como las flores y los frutos se denomina desarrollo reproductivo. Después de varios años de actividad, la planta envejece y entra en un proceso de deterioro que se denomina fase de senescencia o envejecimiento.

Fases fenológicas del cafeto

En la Figura 2.1 se muestra la secuencia durante tres años, de las épocas en que ocurren las fases de

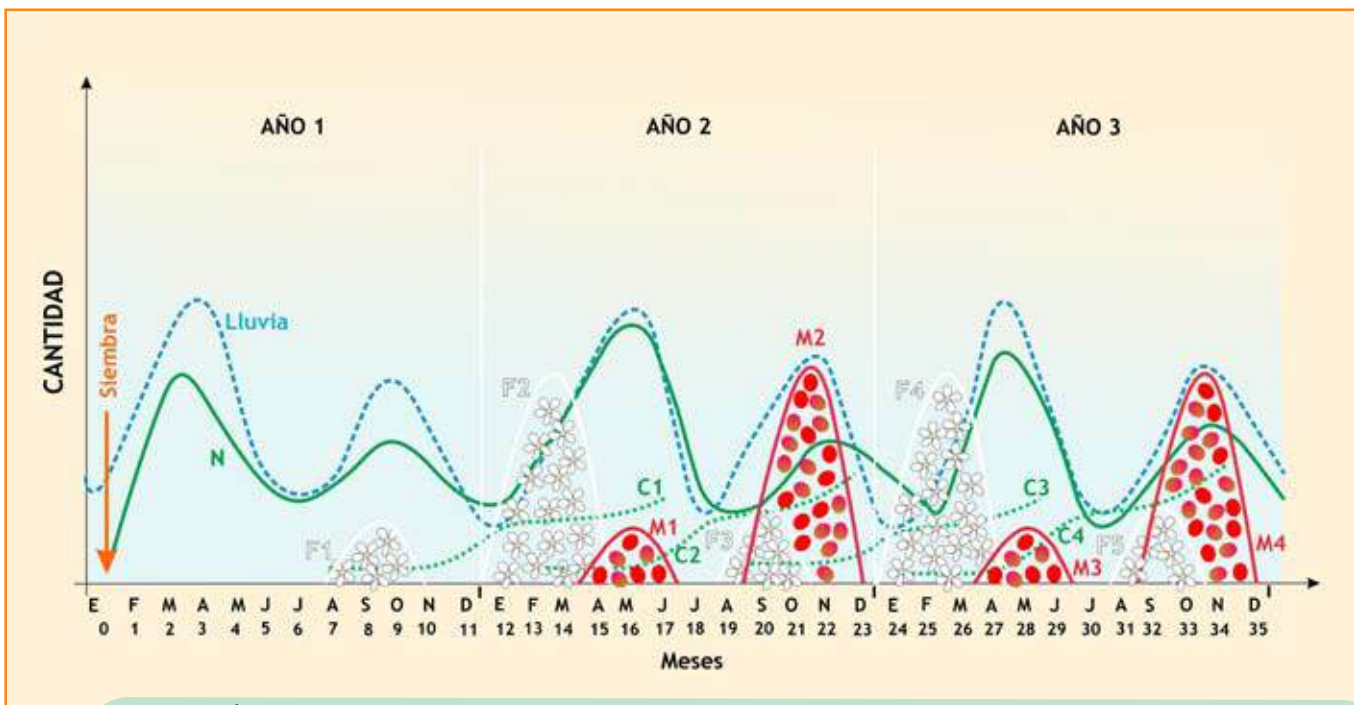


Figura 2.1. Épocas de formación de nudos y hojas (N), de floración (F1, F2, F3, F4, F5...), de crecimiento del fruto (C1,C2,C3,C4...) y de maduración de frutos (M1, M2, M3, M4...) en la planta de café y su relación con la disponibilidad hídrica, durante tres años a partir de la siembra. La formación de nudos, hojas y frutos, ocurre en períodos húmedos. El crecimiento mensual varía según la región. La floración ocurre al final de los períodos secos (Arcila *et al.*,2001).

desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas de *Coffea arabica* L. luego de la siembra definitiva en el campo (Arcila *et al.*, 2001).

La disponibilidad de agua y energía en las regiones cafeteras y su interacción con los factores genéticos (por ejemplo variedades de café), nutricionales y hormonales, determinan que el ritmo y la cantidad de crecimiento de los diferentes órganos y tejidos de la planta de café varíen en las distintas épocas del año (Trojer, 1968; Jaramillo, 2005).

Fase de desarrollo vegetativo del cafeto. En los cultivos anuales se considera como fase vegetativa el tiempo transcurrido desde la germinación hasta la primera floración. En el caso de especies perennes y arbustivas como el cafeto, la definición de la fase vegetativa es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo, por ejemplo la formación de nudos y hojas y la generación de nuevas raíces, ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo.

De acuerdo a la forma como se desarrolla la planta de café en Colombia, puede considerarse que el desarrollo vegetativo, es decir, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a transplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). Hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta.

Fase de desarrollo reproductivo del cafeto. Comienza con la aparición de las primeras flores. El periodo de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración.

Superposición de las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo. Una vez que se ha completado el período desde la siembra hasta la primera floración, hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta.

Fase de senescencia del cafeto. Como se anotó, el cafeto es una planta perenne y se considera que alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y los 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad. El ritmo de envejecimiento

depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros.

Los órganos de la planta completan su ciclo de vida en épocas y edades diferentes, por ejemplo, la hoja tiene una duración promedio de 350 días, una rama primaria dura varios años y una flor abierta dura tres días.

Desarrollo vegetativo del cafeto: Crecimiento y desarrollo de las raíces

La raíz y sus funciones

Las raíces desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y la producción del cafeto. La raíz es el órgano por medio del cual la planta se ancla al suelo y absorbe y transporta el agua y los minerales esenciales para su crecimiento. La raíz tiene además otras funciones menos conocidas como es la síntesis de algunas hormonas reguladoras del crecimiento como las citoquininas y el ácido giberélico, y en ocasiones, la síntesis de metabolitos secundarios. En algunas especies la raíz puede servir como órgano de almacenamiento (Raven *et al.*, 1999).

Origen de la raíz

El sistema radical de una planta angiosperma comienza su desarrollo a partir de un meristema localizado en la base del hipocótilo del embrión de la semilla, el cual da origen a la radícula o raíz embrionaria. Cuando ocurre la germinación, la primera estructura que emerge de la semilla es la radícula. A ésta, se le denomina también raíz primaria. En las plantas gimnospermas, magnólicas y eudicotiledóneas, la raíz primaria crece verticalmente hacia abajo transformándose en la raíz pivotante, sobre la cual se producen ramificaciones o raíces laterales conformando lo que se denomina sistema radical pivotante. En las plantas monocotiledóneas, la raíz primaria dura muy poco, se atrofia y es reemplazada por numerosas raíces, de igual tamaño, que se desarrollan a partir del tallo y que se conocen como raíces adventicias. El conjunto de estas raíces adventicias y sus ramificaciones laterales se denomina sistema radical fibroso.

Estructura de la raíz

Una raíz típica de una angiosperma presenta la siguiente estructura funcional (Raven *et al.*, 1999):

La caliptra o cofia. Órgano apical que cubre la punta de la raíz, protegiéndola de los posibles daños en su recorrido por el suelo. A medida que la raíz penetra las células más externas de esta cubierta se desgarran y van formando una capa mucilaginosa que facilita el paso de la raíz por los poros del suelo. Las células desprendidas son reemplazadas por nuevas células, originadas en el meristema radical. La cofia también desempeña un papel en la respuesta de la raíz a la gravedad ya que en el centro de ella se encuentra el sitio de percepción al gravitropismo (posiblemente amiloplastos).

La región meristemática o punto de crecimiento. Es la parte que se encuentra inmediatamente por encima de la caliptra. Consta de un grupo de células prismáticas y pequeñas que se dividen activamente para formar nuevas células que van a constituir los tejidos básicos de la raíz: el protodermo, precursor de la epidermis; el tejido básico, precursor de la corteza; y el procambium, precursor del xilema y el floema, el periciclo y el cambium.

La región de elongación celular o de crecimiento. Es la combinación de la zona del meristema apical en la cual ocurre la división celular y la región inmediatamente siguiente, de unos pocos milímetros de extensión, en la cual las células se alargan. Esta región es responsable del crecimiento longitudinal de la raíz.

La región de diferenciación o maduración. Es la parte que sigue a la zona de elongación, en la cual la mayor parte de las células de los tejidos primarios maduran. En esta zona también se forman las raíces absorbentes a partir de células epidermales especializadas, y por ello también se le denomina como la zona de las raíces absorbentes.

La transición de una zona a otra es gradual y no hay una clara delimitación entre ellas. Las raíces laterales tienen el mismo tipo de organización.

En *C. arabica* ocurre una organización estructural típica de las angiospermas, como la descrita anteriormente.

En las Figuras 2.2A, B, C y D se muestran los principales aspectos morfológicos y anatómicos de la raíz de una planta angiosperma.

Anatomía de la raíz

Un corte transversal por encima de la zona de elongación permite identificar tres tejidos bien diferenciados, de afuera hacia adentro: la epidermis, la corteza y el sistema vascular (Raven *et al.*, 1999).

Epidermis. Es la capa de células más externa en la raíz. No posee cutícula, cloroplastos ni estomas. Algunas de estas células forman extensiones tubulares denominadas

pelos radicales, que aumentan significativamente la superficie de absorción de agua y nutrientes minerales. La capa de suelo que se adhiere a la raíz por intermedio del mucílago y las raíces absorbentes contiene una gran cantidad de microorganismos y células desprendidas de la caliptra. Esta capa se denomina rizosfera.

Corteza. Es un tejido multicelular contiguo a la epidermis y ocupa la mayor parte del área de la raíz primaria. Se subdivide en:

- Exodermis: células gruesas, suberizadas y lignificadas.
- Corteza central: células de paredes delgadas conectadas por plasmodesmas y con numerosos espacios intercelulares.
- Endodermis: capa más interna, caracterizada por la presencia de paredes celulares suberizadas, denominadas bandas casparianas.

A través de la corteza ocurre la difusión del agua, de los minerales y del oxígeno hacia el xilema, al interior de la raíz.

El cilindro vascular o estela. Comprende todo el tejido central encerrado por la endodermis. Está constituido por el periciclo y los tejidos vasculares (xilema y floema).

El periciclo es una capa unicelular de paredes gruesas, estrechamente ligadas y sin espacios intercelulares, a partir de la cual se forman las raíces laterales.

El centro del cilindro vascular está ocupado por un núcleo del xilema, del cual se desprenden ramificaciones hacia el periciclo y entre las ramificaciones se encuentran franjas de floema. A través del xilema ocurre el transporte del agua y las sustancias disueltas hacia la parte aérea de la planta y cuando éste se encuentra completamente diferenciado le proporciona resistencia a las raíces. En el floema ocurre el transporte de sustancias orgánicas desde las hojas hasta las raíces.

No existen muchos estudios acerca de la anatomía de la raíz del cafeto. Sin embargo, las observaciones realizadas por Dedecca (1957), sugieren que es muy aproximada a la descrita anteriormente (Figura 2.2E y F).

Arquitectura del sistema radical del cafeto

Plantas jóvenes. De menos de un año de edad. No existe un estudio detallado; sin embargo, aparentemente consta de una raíz pivotante bastante ramificada que predomina sobre las raíces laterales.

Plantas adultas. Mayores de dos años. En Kenya, Nutman (1933) estudió el sistema radical de 67 árboles de

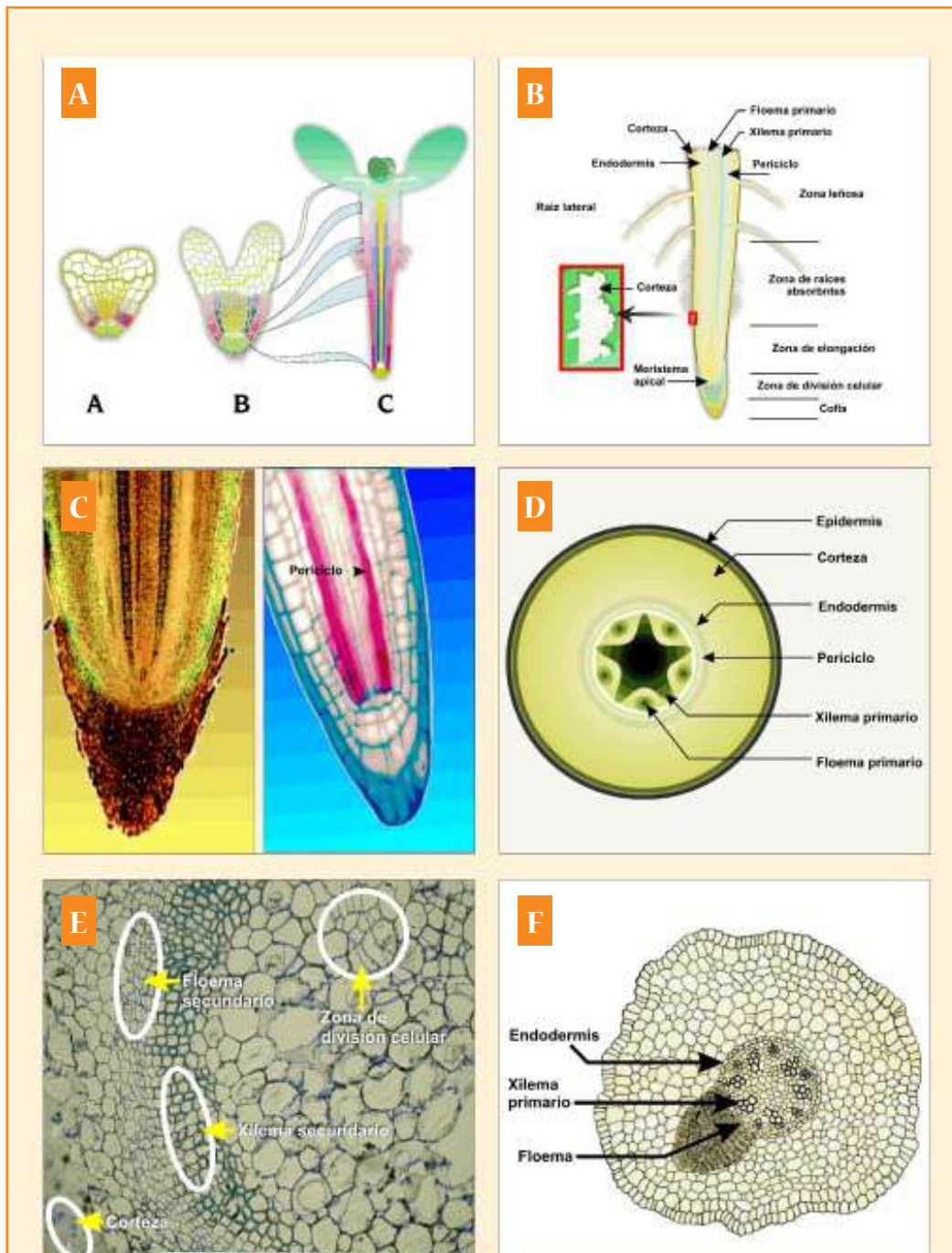


Figura 2.2. Morfología y anatomía de la raíz. A) Origen de los tejidos radicales. B) Zonas de crecimiento de la raíz. C) Corte longitudinal de la punta de la raíz. D) Tejidos de una raíz de una planta angiosperma (corte transversal). E) Tejidos de una raíz de café (corte transversal). F) Formación de la raíz secundaria en café, a partir del periciclo (Dedecca, 1957).

Coffea arabica entre 6 y 9 años de edad, en diferentes tipos de suelos, sugiere que un sistema radical típico de un cafeto bien desarrollado posee las siguientes características:

Una raíz pivotante central muy fuerte, a menudo múltiple, que disminuye su diámetro abruptamente y

que rara vez se extiende como una unidad reconocible más allá de 45 cm de profundidad. Cuatro a ocho raíces axiales que penetran verticalmente hasta 2 ó 3 m de profundidad. Estas raíces se originan lateralmente o en la bifurcación de la raíz pivotante y se ramifican en todas las direcciones a diferentes profundidades.

Raíces laterales:

1. Raíces laterales superficiales que crecen horizontalmente hasta 1,5 m del tronco, generalmente se ramifican en un plano horizontal o a veces se ramifican uniformemente en el suelo en todas las direcciones. Cuando crecen hacia abajo se denominan verticales.
2. Raíces laterales sub-superficiales que no crecen paralelas a la superficie del suelo. Se desarrollan a mayor profundidad que las anteriores y se ramifican en el suelo en todos los planos.
3. Raíces portadoras de raíces absorbentes, de longitud variable, que se distribuyen uniformemente a unos 2,5 cm de distancia sobre las raíces permanentes (de más de 3 mm de espesor). Tienden a ser más cortas y numerosas en la capa más superficial del suelo.
4. Raíces absorbentes que crecen uniformemente sobre las anteriores, a todas las profundidades, y son más numerosas en la capa superficial del suelo.

Suárez de Castro (1960), estudió la distribución de raíces del cafeto en un suelo de El Salvador, y encontró que la raíz principal de plantas de un año no profundiza más de 20 cm, en plantas de dos años llega hasta los 30 cm y en cafetos de 7 años profundiza hasta 50 cm.

De igual forma, Suárez de Castro (1953), evaluó la distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso en Colombia y observó que en los primeros 10 cm de profundidad se encuentra un 52,3% de las raíces absorbentes y un 47,5% de las raíces totales; mientras que en los primeros 30 cm encontró un 86,0% de las raíces absorbentes y 89,9% de las raíces totales (Figura 2.3).

Estudios con trazadores radioactivos en Kenya confirman la actividad superficial de las raíces del cafeto (Huxley *et al.*, 1974).

En la Figura 2.4 se representa el desarrollo radical en plantas café de diferentes edades.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. La mayor cantidad de raíces activas del cafeto se encuentra muy cerca de la superficie del suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, y se extiende entre 1 y 1,5 m desde el tronco. En los primeros 30 cm de profundidad se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del cafeto. Esto significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes a esta profundidad del suelo, por lo que se explica además, la efectividad de la fertilización al voleo. Las raíces vivas son de color café claro en su superficie externa y blancas en su interior

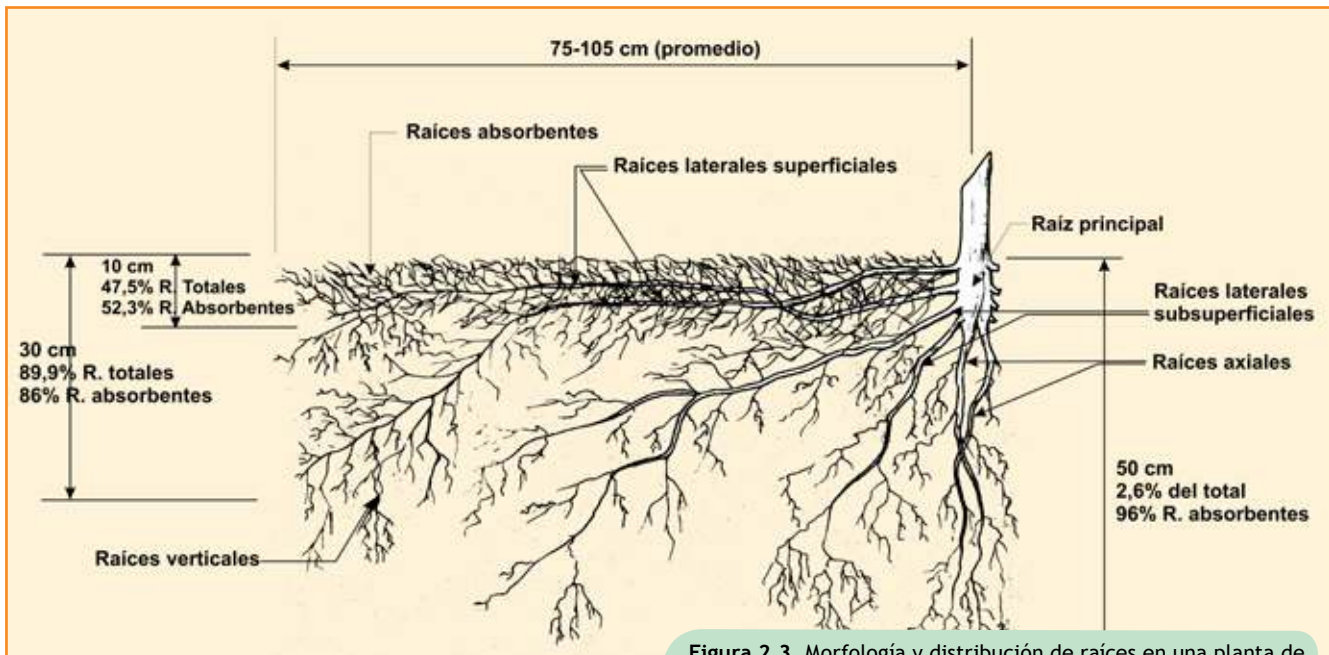


Figura 2.3. Morfología y distribución de raíces en una planta de *C. arabica* L. (Adaptado de Suárez de Castro, 1953).

Influencia del desarrollo radical sobre el crecimiento y la producción de café

Balance raíz / parte aérea (R/PA). En las plantas en crecimiento se mantiene un balance entre el área de la superficie total disponible para la elaboración de asimilados (área foliar o superficie fotosintetizadora) y

el área de la superficie disponible para la absorción de agua y minerales (área radical). En plántulas, la superficie de absorción excede ampliamente la superficie sintetizadora; sin embargo, la relación raíz/parte aérea (R/PA) disminuye gradualmente con la edad de la planta (Raven *et al.*, 1999).

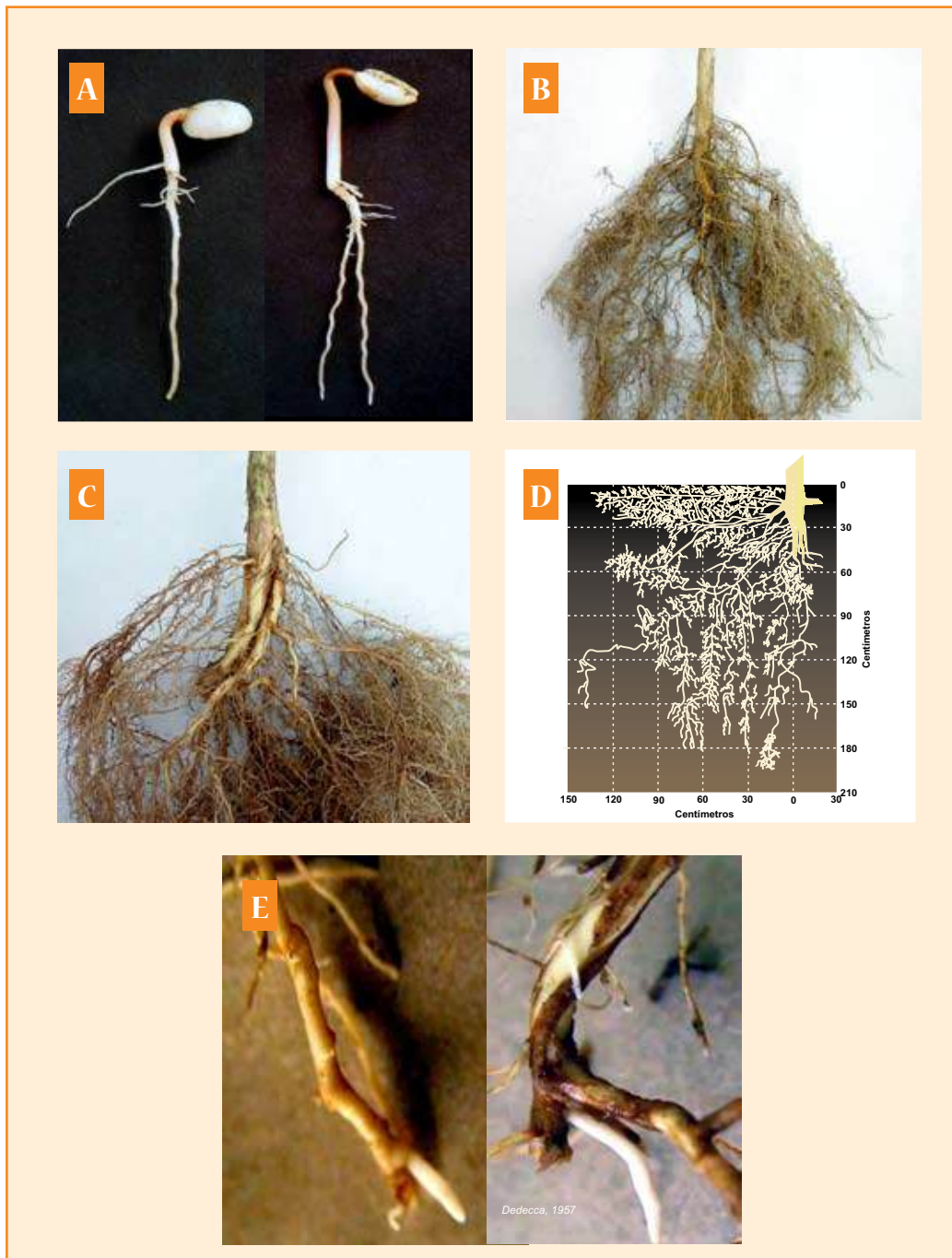


Figura 2.4. Aspectos del desarrollo radical del café. A) Fósforos con raíz normal y raíz bifurcada; B) Sistema radical normal de una planta de 12 meses; C) Sistema radical bifurcado de una planta de 12 meses; D) Raíz típica de una planta de 6 años; E) Regeneración de raíces de café.

Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto

Para la siembra en el campo los cafetos deben provenir de las mejores chapolas transplantadas en el almácigo, resultado de la selección y eliminación de aquellas débiles, deformes, amarillas y con raíces quebradas o torcidas. Las chapolas deben ser vigorosas, tener en lo posible completo el follaje y las raíces bien formadas, con la raíz pivotante recta y completamente desarrollada (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1979).

Cuando los cafetales se establecen en suelos con condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas, éstas adquieren un sistema radical limitado que se refleja en un crecimiento débil de la parte aérea, caracterizado por amarillamiento de las hojas, síntomas de deficiencias nutricionales, alta incidencia de mancha de hierro en hojas y frutos, desarrollo deficiente de los brotes, defoliación, secamiento de ramas y frutos (paloteo), baja producción, y en casos extremos, hasta la muerte (Arcila, 1992; Valencia, 1978). Si la planta se encuentra en la fase vegetativa o fase reproductiva con poca cosecha y el daño radical no es muy severo, puede aparentar un desarrollo normal; sin embargo, en el momento de presentarse una cosecha potencialmente alta, si no hay un buen sistema de raíces, la planta mostrará los síntomas descritos (Arcila, 1992).

Con base en observaciones experimentales y en estudios de caso en fincas de la zona cafetera colombiana, se han definido las principales condiciones adversas para el desarrollo radical de la planta de café durante las etapas del cultivo (Arcila, 1992), entre las que se encuentran:

Etapas de germinador. Las limitaciones del sistema radical en esta etapa están asociadas principalmente con los daños mecánicos producidos durante el beneficio de la semilla (raíz bifurcada), con la poca aireación del sustrato de germinación debido a su textura inadecuada o por el riego excesivo, siembra demasiado superficial o profunda y el uso inadecuado de agroquímicos para la desinfección del sustrato (Arcila, 1992; Velásquez *et al.*, 2003, 2004).

Etapas de almácigo. En esta etapa los factores que limitan el crecimiento de las raíces son: el tamaño inadecuado de las bolsas, la poda excesiva de la raíz pivotante en el momento del trasplante, el doblamiento de la raíz en la siembra, el ataque de nematodos, la deficiencia de materia orgánica en el sustrato utilizado para llenar las bolsas y el inadecuado o deficiente manejo cultural (Salazar, 1979, 1991).

Fases vegetativa y reproductiva (campo). Durante esta fase influyen en un mal desarrollo radical las inadecuadas condiciones físicas y químicas del suelo y

el ataque de enfermedades e insectos, principalmente, como se describe a continuación:

Condiciones físicas del suelo. La textura (proporción de arenas, limos y arcillas) y la estructura (forma de agrupación de las partículas y distribución del espacio poroso), son las características físicas del suelo que determinan el desarrollo y la distribución de las raíces. Estas propiedades afectan la resistencia a la penetración y la relación entre la tasa de difusión de oxígeno y el contenido de agua (aireación). Entre las condiciones físicas del suelo limitativas para el desarrollo radical están: la alta pedregosidad, el mal drenaje, la poca aireación y la baja retención de agua. Cuando se presentan horizontes de arcilla compactos muy superficiales, la raíz no se desarrolla bien, porque al quedar muy superficial está sujeta a condiciones de exceso de agua en las épocas lluviosas o de deficiencia en las épocas secas (Drew, 1988; Kupper, 1977; Suárez, 1977).

Condiciones químicas del suelo. Químicamente un suelo es pobre si las condiciones de fertilidad son deficientes. En este caso, el desarrollo radical es afectado directa o indirectamente. En la zona cafetera colombiana predominan los suelos ácidos, que afectan la fertilidad, y que poseen características como el pH muy ácido, menor de 5,0; la alta saturación de aluminio, mayor del 60%, que causa un pobre desarrollo de la raíz por bloqueamiento de los haces vasculares; y los bajos contenidos de materia orgánica y de fósforo. En general, si el suelo es pobre en nutrimentos las raíces resultan afectadas indirectamente porque la planta no produce la cantidad suficiente de asimilados que requiere el sistema radical (Aponte, 1984; Almeida, 1974).

Enfermedades. Entre las enfermedades que afectan a la raíz se encuentran aquellas causadas por hongos; se destacan la llaga negra causada por *Rosellinia bunodes* Berk. y Br., y la llaga estrellada, por *Rosellinia pepo* Berk. y Br. (Castro, 1991).

Otros microorganismos que deterioran las raíces en cafetales establecidos son los nematodos, especialmente los de la especie *Meloidogyne* sp. (Baeza, 1975).

Plagas. Existen insectos que atacan las raíces del cafeto como la palomilla (*Dismicoccus* sp.) que se alimenta de la savia radical. También se han registrado asociaciones de cóccidos y hormigas como es el caso de la hormiga de Amagá y la hormiga de la Esperanza. Son comunes en suelos pesados y húmedos o pueden encontrarse en cafetales viejos y mal fertilizados, que al colonizar la raíz, la debilitan e impiden su normal desarrollo y funcionamiento (Cárdenas *et al.*, 1973).

Poda de raíces. En Brasil, Santos (1992), estudió la morfología del sistema radical de plántulas en vivero,

de las variedades Caturra y Catuai, con intensidades de poda de 3, 5, 6, 9, 12 y 15 cm a partir del cuello de la raíz principal. Observó que a los seis meses después del trasplante se modificó la morfología del sistema radical por efecto de las podas realizadas, y encontró un incremento en el porcentaje de plántulas con más de una raíz principal (bifurcadas y trifurcadas), cuando la poda se realizó más cerca del cuello de la raíz; mientras que el porcentaje de plántulas con la raíz principal torcida disminuyó. El peso seco de las hojas, el tallo y el peso total de la planta fueron mayores cuando la poda se realizó más distante del cuello de la raíz. En general, observó un mayor porcentaje de plántulas con la raíz normal a partir de la poda realizada a los 9 cm del cuello de la raíz. No encontró diferencia significativa entre las variables estudiadas con relación a los cultivares evaluados.

En Cenicafé se evaluó la regeneración de raíces después de varias intensidades de poda en plantas que crecían en solución nutritiva y se encontró que la raíz pivotante se regenera normalmente o se bifurca (Arcila, 1992).

En otros estudios Salazar (1979), evaluó el efecto en el desarrollo de plantas de café en almácigo, provenientes de la siembra directa de la semilla en la bolsa y del trasplante de fósforos y chapolas, con y sin poda de una porción de la raíz pivotante. En este estudio no se encontraron diferencias significativas en altura y peso seco de la parte aérea y de las raíces. Además, observó que con los tratamientos de siembra de fósforos y chapolas con poda de raíz hubo una recuperación completa de la raíz.

Atrofia de raíces. En experimentos realizados en Brasil, Almeida *et al.* (1974) encontraron que los cafetos en formación presentaban síntomas acentuados de debilitamiento como: mal desarrollo, clorosis general y muerte de la planta. Los resultados mostraron que el 86% de las plantas tenía un sistema radical deficiente. Además, verificaron que los problemas tenían origen en un 80% durante la formación de la planta en el almácigo, y el 20% restante, en problemas relacionados con las características físicas del suelo. También identificaron defectos de siembra como “cola de marrano”, trastorno que ocurría cuando el operador no profundizaba en el sitio de siembra y la raíz quedaba enroscada. Por este defecto, la planta no se sujeta bien al suelo y desarrolla un sistema radical superficial, susceptible a las sequías y a los vientos. También observaron bifurcación de la raíz principal, que ocurre cuando el operador efectúa una poda de raíz muy próxima al cuello del tallo y que provoca una disminución del sistema radical así como poca profundización de la raíz. Con este tipo de podas pueden penetrar hongos y otros patógenos en el sitio de corte. Finalmente, observaron ahogamiento del tallo, ocurrido cuando el operador profundiza demasiado el

tallo, por lo que se originan plantas raquílicas y sistemas radicales deficientes.

Riego. Bull (1963), estudió los efectos de las coberturas descompuestas o mulch y del riego en el desarrollo radical de cafetos de 20 años de edad y registró que la profundidad de la raíz pivotante disminuye por efecto del riego y aumenta como consecuencia de la cobertura. El desarrollo de las raíces laterales aumentó por acción de las coberturas, pero cuando se combinaron el riego con el mantillo se obtuvieron los sistemas radicales más amplios.

Desarrollo radical y anclaje

El desarrollo del sistema radical de un árbol es un proceso muy complejo que involucra muchos factores internos y ambientales, y sus interacciones. Entre los factores internos se considera, por ejemplo, el número de primordios capaces de formar raíces estructurales. Entre los factores ambientales se encuentran el índice de humedad del suelo (capacidad de campo, exceso y déficit de agua), la disponibilidad de nutrimentos y el estrés mecánico. En general, existe muy poca información cuantitativa sobre todos los aspectos del desarrollo radical de los árboles (Coutts *et al.*, 1999).

Los árboles son flexibles y se inclinan (E), cuando se someten a una fuerza ejercida por el viento o a una fuerza aplicada superficialmente. Pero esta inclinación no es solamente una curvatura del tallo sino que va

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Daños en el sistema radical que reduzcan la superficie de absorción, afectarán el crecimiento de la parte aérea debido a la falta de agua, minerales esenciales y hormonas producidas en la raíz. Así mismo, la reducción del tamaño de la parte aérea limitará el crecimiento radical, a causa de la menor disponibilidad de carbohidratos y hormonas que se producen en la parte aérea de la planta. En la naturaleza es muy común el daño y la muerte de las raíces absorbentes debido a un sinnúmero de agentes, desde temperaturas extremas y deshidratación hasta daños ocasionados por microorganismos.

Como se observa en la Figura 2.4E, a medida que la planta pierde raíces, éstas son reemplazadas por otras nuevas, razón por la cual la fluctuación de las poblaciones de las raíces en el suelo es muy dinámica. Aún si se tienen cuidados extremos en el trasplante, la relación R/PA se altera, ya que la mayoría de las raíces finas se desprenden cuando la planta se extrae del suelo. Por esta razón es muy importante, en el momento de transplantar, reducir al máximo el tiempo de exposición de las raíces al ambiente.

acompañada de una inclinación de la base del mismo, debido a que las raíces se flexionan de tal forma que su sujeción al suelo no es rígida. Se presume que la rotación ocurre en el punto en que la línea central del tallo intersecta el plano del suelo y su elasticidad se describe como la rigidez del anclaje de la raíz (K). Por consiguiente, para estimar el volcamiento debe tenerse en cuenta tanto la flexibilidad del tallo como la rigidez del anclaje de la raíz (Neild, 1999).

En árboles jóvenes, el sistema radical se caracteriza por una raíz pivotante notoria y muchas raíces laterales, mientras que en árboles adultos las raíces laterales son más largas y la raíz pivotante detiene su crecimiento o tiende a atrofiarse. Cuando esta raíz se atrofia puede formar un sistema radical superficial con una raíz pivotante muy corta (sistema radical plano). Este tipo de sistema radical ofrece condiciones de anclaje muy pobres (Stokes, 1999).

Cualquier factor que reduzca la profundidad de penetración de la raíz pivotante disminuye el volumen de raíces efectivas y aumenta la tendencia al volcamiento. De acuerdo con Nicoll (1996), en períodos de sequías estos sistemas radicales superficiales son incapaces de utilizar la humedad de las partes más profundas del suelo.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. *La formación de un buen sistema radical inicia desde el germinador, continúa en el almácigo y termina cuando se hace una siembra adecuada en un suelo que le proporcione buenas condiciones físicas y químicas para su desarrollo. Si consideramos que la planta va a permanecer en el campo unos 20 años, es primordial iniciar el cultivo con plantas que tengan un excelente desarrollo radical.*

Las variedades de café cultivadas en Colombia (Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y Variedad Castillo®) poseen el potencial para formar un sistema radical óptimo. Este desarrollo se puede afectar en condiciones del suelo desfavorables que lo limitan, lo cual se reflejará en un desarrollo deficiente de la parte aérea y baja producción.

Un desarrollo inadecuado de la raíz origina problemas de anclaje o volcamiento, y debilitamiento general de la planta con síntomas de amarillamiento de las hojas, deficiencias nutricionales, alta incidencia de mancha de hierro en hojas y frutos, defoliación, secamiento de ramas y frutos (paloteo), baja producción y de mala calidad y finalmente, muerte. Si la planta se encuentra en la fase vegetativa, por ejemplo, entre la siembra y los 18 meses, y el daño radical no es muy severo puede aparentar un desarrollo normal. Sin embargo, con la ocurrencia de cosechas abundantes si la planta no cuenta con un buen sistema de raíces, mostrará los síntomas descritos anteriormente.

Desarrollo vegetativo del cafeto: Origen y desarrollo de los órganos vegetativos aéreos (tallo, ramas y hojas)

Origen de los órganos vegetativos aéreos

El crecimiento de la parte aérea del cafeto se genera a partir de las células meristemáticas ubicadas en el ápice del tallo y de las ramas (yemas apicales) y en las axilas de las hojas (yemas laterales, yemas axilares y yemas seriadas). A partir de los meristemas de las yemas se desarrollan los primordios de nudos, hojas, brotes, ramas y flores. El ápice del tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta (crecimiento ortotrópico). En el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta (crecimiento plagiotrópico) (Figura 2.5).

Yemas en el tallo. En cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de las axilas se originan de 4 a 5 yemas ordenadas en forma lineal, de mayor a menor, razón por la cual se les denomina yemas seriadas (yemas laterales o axilares). La primera, que a su vez es la de mayor edad, da origen únicamente a brotes que crecen horizontalmente (ramas primarias), se forma un solo par de ramas primarias por nudo. La siguiente yema de la serie, origina brotes verticales o “chupones”, mientras que las otras yemas permanecen latentes o eventualmente, forman flores y frutos caulinares, es decir, que crecen en el tallo (Figura 2.6).

Yemas en las ramas. En cada nudo formado en las ramas se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de ellas se originan de 4 a 5 yemas ordenadas en forma lineal, de mayor a menor, razón por la cual se les denomina yemas seriadas (yemas laterales). Estas yemas son de edad desuniforme y dan origen principalmente a flores, en la medida que las condiciones ambientales sean propicias. De cada yema se forman entre 4 y 6 flores, y a este conjunto se le denomina inflorescencia o glomérulo. Aquellas pocas yemas que no alcanzan a diferenciarse en flores, forman ramas secundarias o terciarias, cuando se dan condiciones ambientales poco favorables para la floración.

La formación de estas ramas ocurre principalmente en plantas mayores de 15 meses, en la zona de las ramas que ya fructificó y en unos pocos nudos, sin un patrón determinado. Por estas razones se considera

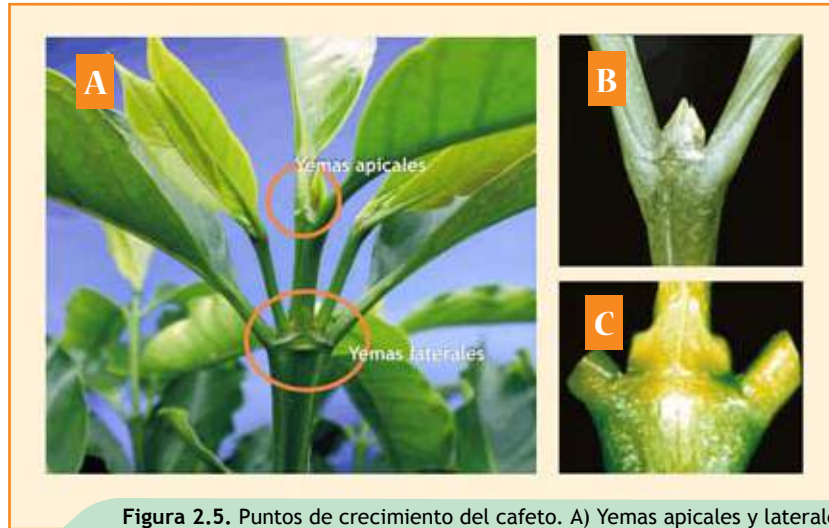


Figura 2.5. Puntos de crecimiento del cafeto. A) Yemas apicales y laterales; B) Yemas apicales responsables del crecimiento ortotrópico de la planta; C) Yemas laterales responsables del crecimiento plagiotrópico del cafeto.

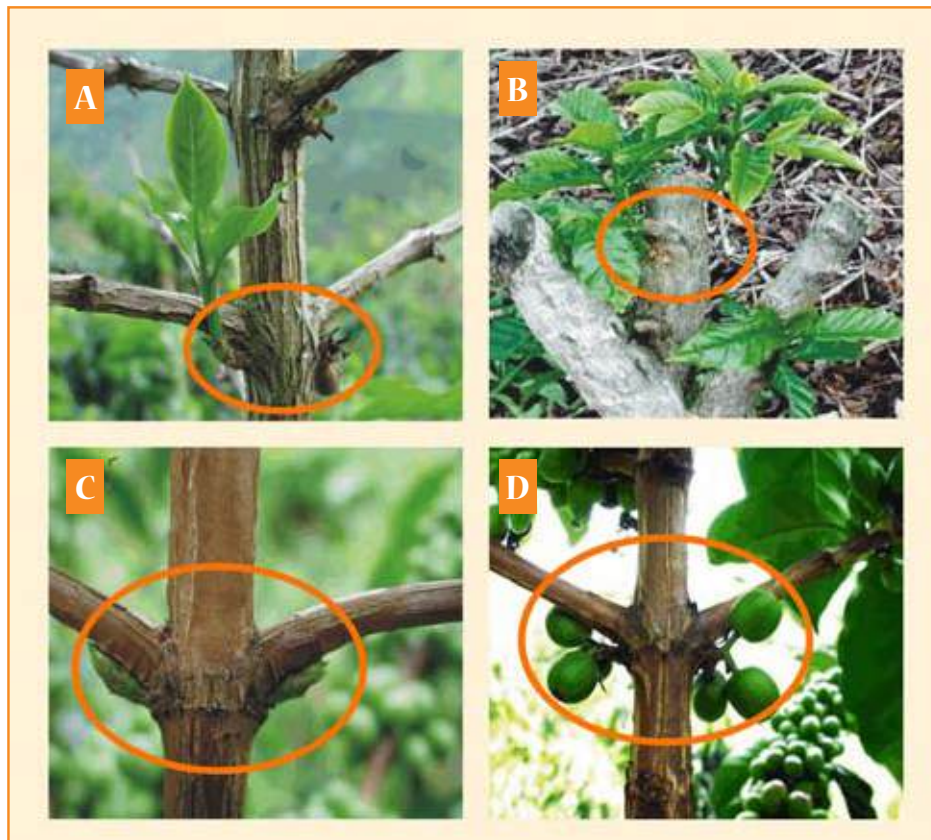


Figura 2.6. Formación de órganos a partir de las yemas laterales. A) Ramas primarias y brotes (chupones); B) Brotes de la zoca C) Flores caulinares; D) Frutos caulinares.

que la formación de ramas secundarias es también un fenómeno común, dentro de unas condiciones normales de desarrollo de la planta de café (Figura 2.7).

En la Figura 2.8 se resume la procedencia de los órganos según el tipo de yemas.

En la Figura 2.9 se describe la ubicación de las yemas que dan origen a los órganos que componen la parte aérea de la planta de café. Este conocimiento es fundamental para entender el comportamiento de la producción y el efecto de las diferentes prácticas agronómicas sobre el desarrollo de la planta.

En síntesis, el desarrollo de la parte aérea del café y la producción misma, ocurren a partir de las yemas apicales y axilares del tallo y de las ramas. A partir de estas yemas se forman los nudos, las hojas, las yemas florales y las ramas. La cantidad de nudos y hojas formadas dependen en alto grado de la oferta ambiental (agua, energía y minerales) y que a su vez, son determinantes de la cantidad de la cosecha (Cannell, 1985; Moens, 1968).

Crecimiento vegetativo del café en la zona cafetera colombiana

A los dos meses después de la germinación, la planta forma el primer par de hojas verdaderas y luego, en la fase de almácigo, la planta adquiere de 6 a 8 pares de hojas verdaderas o nudos. El primer par de ramas se forma entre los 7 y los 8 meses aproximadamente, y a partir del momento de la siembra en el sitio definitivo, la planta comienza la formación de las ramas que van a ser responsables de la producción (Arcila *et al.*, 2001).

En el tallo, un par de hojas o un nudo se origina en promedio cada 25 ó 30 días. En un año se forman aproximadamente de 12 a 14 pares de ramas primarias o cruces.

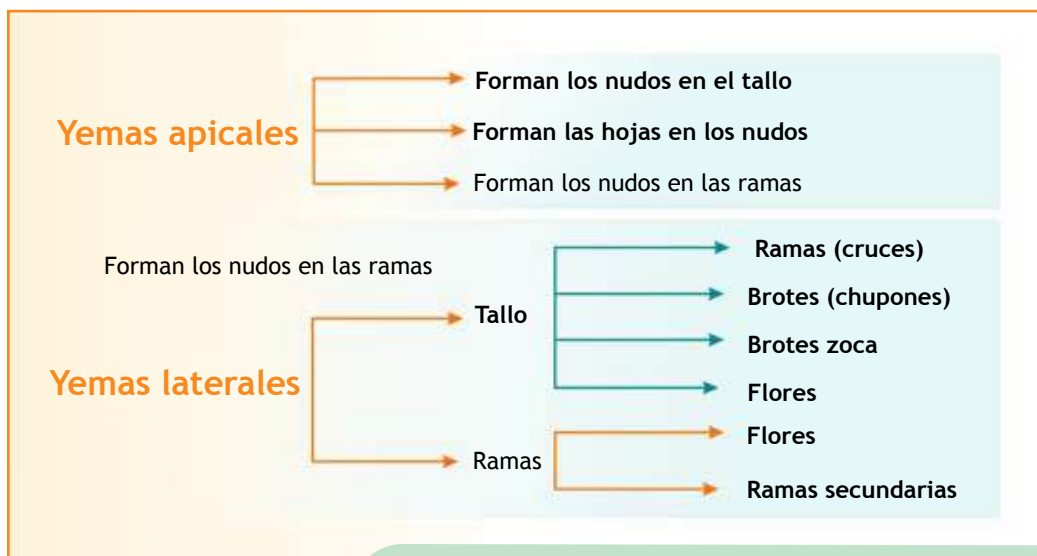
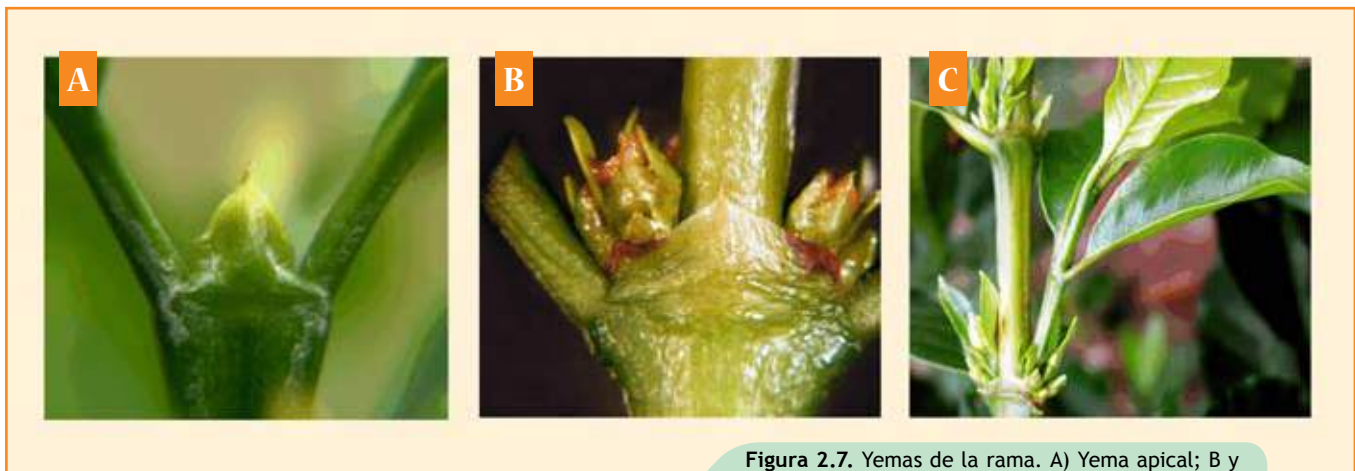


Figura 2.8. Origen de las diferentes estructuras de la planta de café.

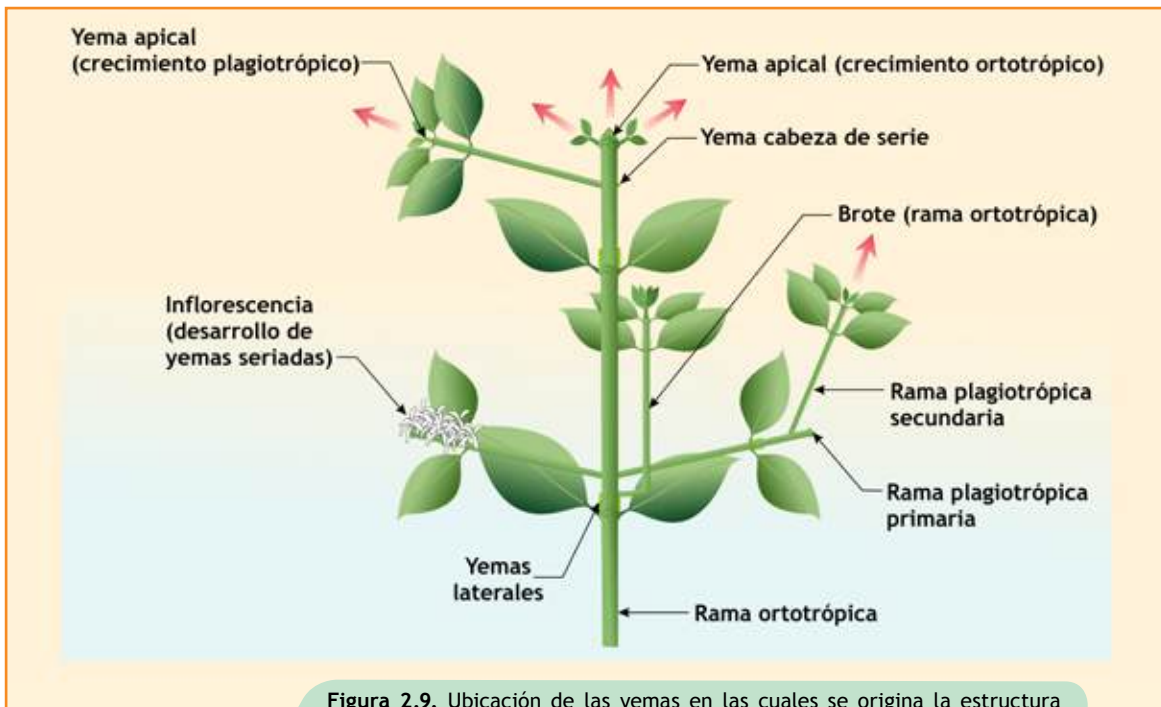


Figura 2.9. Ubicación de las yemas en las cuales se origina la estructura vegetativa y reproductiva de la planta de café (adaptado de Moens, 1968).

En las condiciones ambientales de la mayor parte de la zona cafetera colombiana, el cafeto forma nudos y hojas durante todo el año, sin embargo, existen épocas en las cuales ocurre una mayor o menor intensidad del crecimiento, condicionado por la disponibilidad de agua, de nutrientes y de energía. En general, el crecimiento es más activo cuando hay buen suministro de energía solar, agua y nutrientes, encontrándose que un aumento de la radiación (plena exposición solar) induce la formación de plantas más bajas, en las cuales ha ocurrido mayor diferenciación y que son más productivas, mientras que la sombra estimula la formación de plantas más altas con menor diferenciación y menos productivas (Castillo, 1957, 1966). Como se observa en la Figura 2.10, el número de cruces desarrolladas en un período determinado es variable, según la zona del país en la cual está ubicado el cafetal (Cenicafé, 2001). Varios estudios realizados en Colombia, muestran que en la zona cafetera central ocurre un mayor crecimiento del tallo y las ramas en los meses de marzo - abril y septiembre - octubre (Figura 2.11). También es importante anotar que en aquellas regiones donde hay períodos secos acentuados, el comportamiento de los cafetos está más condicionado por las variaciones de la precipitación o de la humedad del suelo, mientras que en las regiones donde no ocurren deficiencias hídricas en el suelo, el comportamiento del cafeto está estrechamente relacionado con la disponibilidad de la radiación solar (Jaramillo y Valencia, 1980; Gómez, 1977; Suárez de Castro, 1958; Suárez de Castro y Rodríguez, 1956).

Desarrollo vegetativo del cafeto: Desarrollo foliar y su relación con el crecimiento y producción de la planta

Las hojas del cafeto. Son órganos en los cuales se realizan los tres procesos fisiológicos más importantes que soportan el crecimiento y desarrollos vegetativo y reproductivo, éstos son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración.

La fotosíntesis es el proceso fisiológico que permite la elaboración de toda la materia hidrocarbonada necesaria para la planta.

La respiración es la función fisiológica en la cual la planta utiliza parte de los hidratos de carbono fotosintetizados para obtener la energía necesaria para los procesos de crecimiento y desarrollo. La respiración ocurre en todos los tejidos de la planta pero es particularmente intensa en las hojas y los tejidos jóvenes.

La transpiración es la función mediante la cual la planta elimina por los estomas el exceso de agua absorbida por el sistema radical. Tiene un papel importante en la absorción de agua y nutrientes, y es un mecanismo de refrigeración de la planta.



Figura 2.10. Número de ramas primarias formadas durante todo el ciclo productivo del café, Variedad Castillo®, en distintas zonas de Colombia (Cenicafé, 2001).

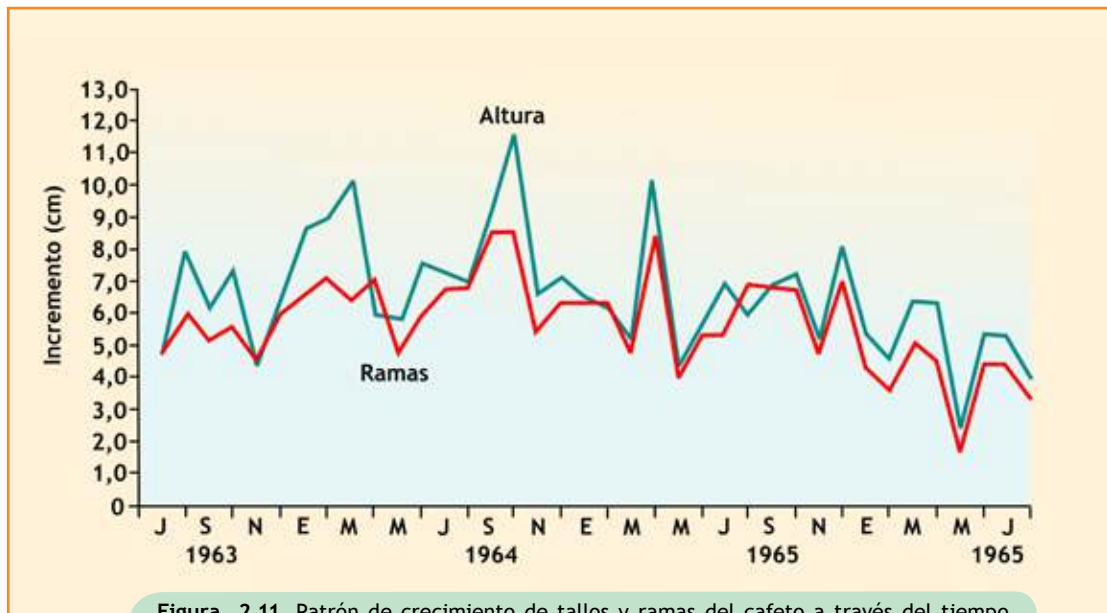


Figura 2.11. Patrón de crecimiento de tallos y ramas del café a través del tiempo. Variedad Caturra (Jaramillo y Valencia, 1980).

Las hojas también cumplen otras funciones como proteger las yemas, las flores y los frutos, de las condiciones climáticas adversas como el granizo y el exceso de radiación, entre otros.

En *C. arabica* las hojas son elípticas, levemente coriáceas, con la lámina y los márgenes un poco onduladas, de un color verde claro cuando jóvenes y verde oscuro cuando completan su desarrollo.

Crecimiento de la hoja. La hoja se origina a partir de la yema apical, la cual aparece en un corte longitudinal

(Figura 2.12A) como una protuberancia formada por varias capas de células, algunas de las cuales tienen la capacidad de dividirse para producir células nuevas que van a formar otros órganos de la planta. De esta manera, el desarrollo foliar se inicia con una serie de divisiones en una de las tres capas celulares más externas cerca de la yema apical, la cual se transforma en otra protuberancia lateral o primordio foliar, que luego por divisiones continuas y crecimiento de sus células se convertirá en una hoja, con la estructura que se presenta en la Figura 2.12B.

En Cenicafé, Buitrago (1983), estudió la tasa de crecimiento de las hojas en plantas de almácigo de var. Caturra y se encontró que éstas alcanzaban el máximo desarrollo entre 20 y 25 días después de su aparición (Figura 2.13). En las plántulas el primer par de hojas verdaderas aparece a los 70 días después de la germinación. De otra parte, se ha observado que en las ramas primarias un par de hojas aparece cada 20 días, aproximadamente. El área promedio que alcanza una hoja a plena exposición solar es de 30 a 40 cm².

Épocas de formación de hojas. Durante todo el año ocurre formación de follaje, pero existen épocas en que los factores climáticos como la radiación y la disponibilidad de agua en el suelo favorecen una mayor formación de hojas. En Chinchiná (Caldas), hay tres épocas de mayor formación de hojas, entre febrero y abril, julio y agosto y de noviembre a diciembre. El de mayor abundancia es el período entre febrero y abril (Valencia, 1999).

En la Figura 2.14 se puede observar el transcurso de la formación de hojas en las ramas primarias, secundarias y terciarias en la variedad Colombia, en tres densidades de siembra. Se aprecia además que las ramas secundarias

se empiezan a formar hacia los 12 meses y las ramas terciarias hacia los 16 meses.

Cantidad de follaje. El número de hojas por árbol y el área foliar de las plantas varían según la edad y la densidad de población (Tabla 2.1). En cafetos de la var. Caturra de 5 años, el número de hojas observado fue de 3.920, 6.400 y 7.600 para las densidades de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas por hectárea, respectivamente (Valencia, 1973).

En otro estudio con la variedad Colombia se encontró que para las mismas densidades de siembra, los máximos valores del número de hojas alcanzado por planta fueron de 12.521, 11.623 y 4.365 y el tiempo en el cual se alcanzó este máximo fue a los 56, 53 y 43 meses, respectivamente. Se observó además, una tendencia a disminuir el tamaño promedio de las hojas con la edad (Arcila y Chávez, 1995).

Factores que afectan el desarrollo foliar

Una hoja sana puede durar en promedio de 10 a 15 meses en un cafetal bajo sombra y de 9 a 14 meses en cafetales a plena exposición solar (Arcila, 1983, 1987).

Los diferentes factores que afectan el desarrollo foliar son:

Variaciones climáticas. El desarrollo foliar es altamente sensible a las deficiencias hídricas. Generalmente, después de la interrupción de períodos secos

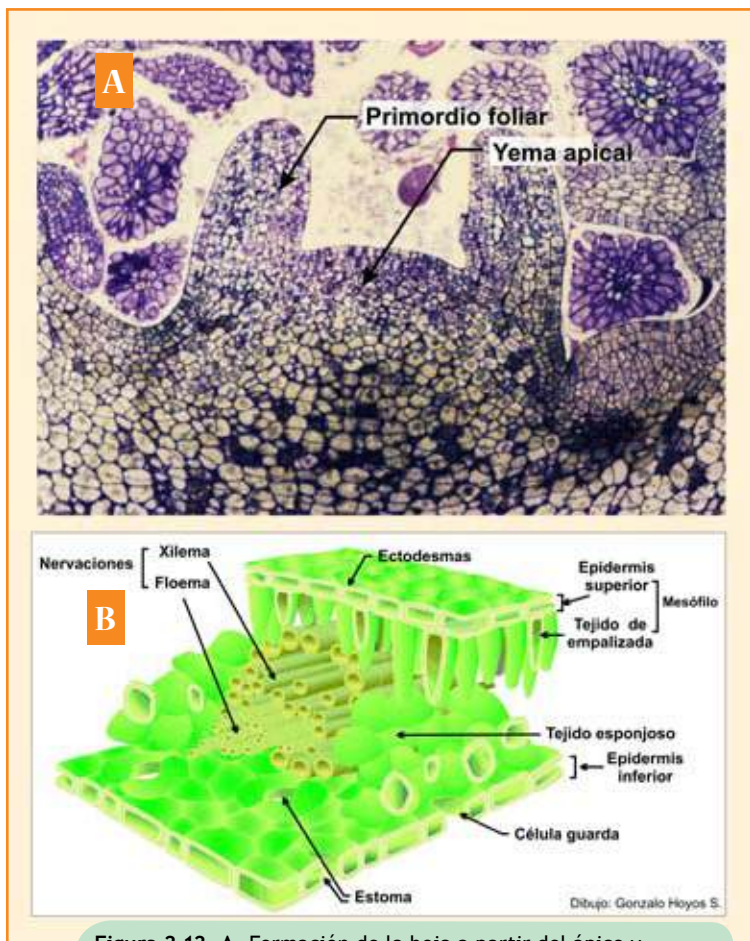


Figura 2.12. A. Formación de la hoja a partir del ápice y B. estructura de una hoja completamente desarrollada.

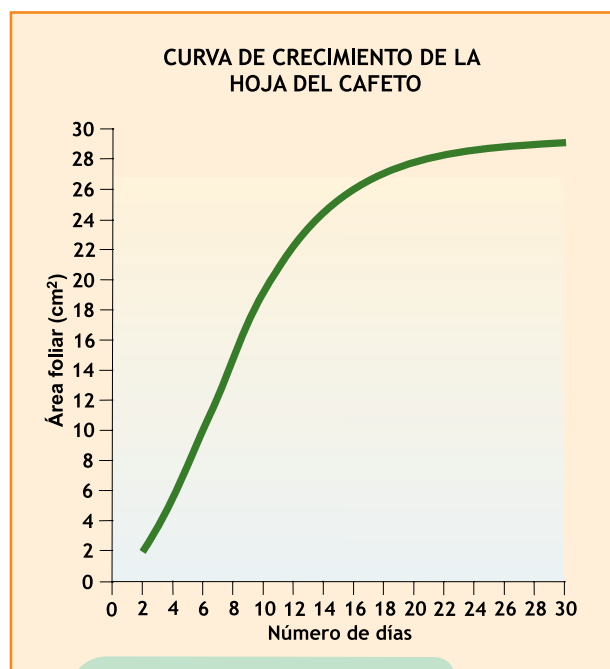


Figura 2.13. Curva de crecimiento de la hoja del café (Buitrago, 1983).

prolongados, las plantas pueden presentar clorosis (envejecimiento prematuro) y pérdida del follaje.

Nutrición. Bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno y magnesio ocurre menor producción de clorofila y puede presentarse defoliación.

Plagas y enfermedades. Enfermedades foliares como la roya del cafeto ocasionan altas pérdidas de hojas.

Podas. Esta práctica consiste principalmente, en la eliminación en diferente intensidad de órganos

vegetativos. Una poda severa puede limitar la cantidad de follaje de la planta en un momento determinado.

Fase reproductiva del cafeto

Desarrollo floral

Comienza con la aparición de las primeras flores. El período de iniciación de esta fase puede estar

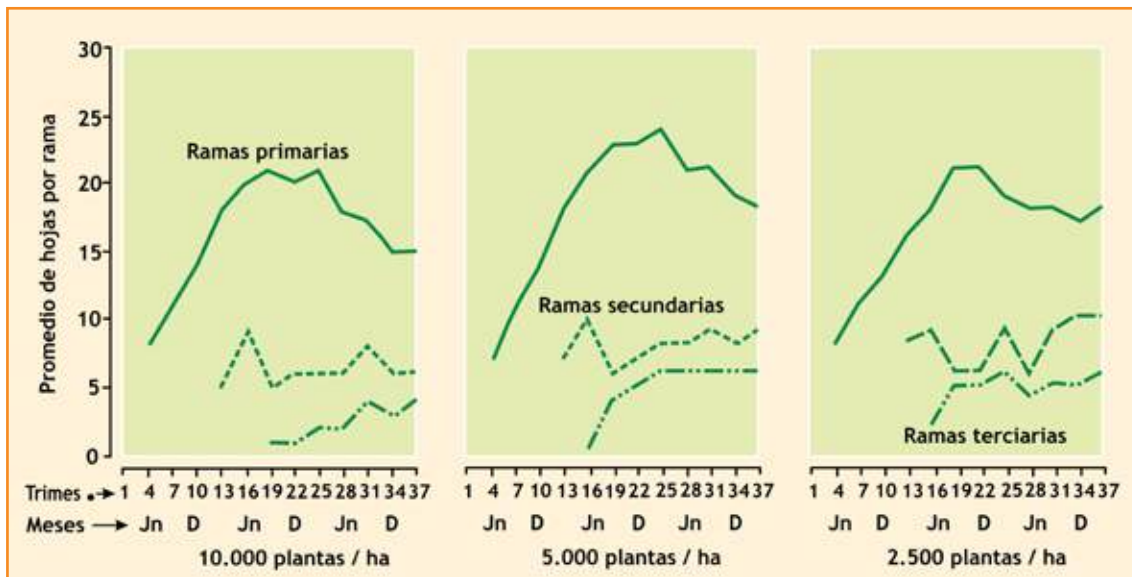


Figura 2.14. Formación de hojas en las ramas primarias, secundarias y terciarias, en diferentes densidades de siembra.

Tabla 2.1. Cantidad de hojas de la planta de café según las condiciones del cultivo (Valencia, 1973).

Densidad	Edad (años)	N° hojas/árbol
10.000	1	440
	2	1.840
	3	3.080
	4	3.800
	5	3.920
5.000	1	440
	2	1.760
	3	4.120
	4	5.800
	5	6.400
2.500	1	440
	2	1.400
	3	3.200
	4	6.000
	5	7.600
Sombra	2	942
Sol	2	1.915

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Es necesario garantizarle a la planta un follaje sano y abundante durante todo su ciclo de vida, debido a que en las hojas se lleva a cabo la fotosíntesis. Las hojas del cafeto tienen una duración promedio de 350 días. No obstante, puede ocurrir una alta defoliación la cual coincide generalmente con el final de las épocas de cosecha. También es importante considerar que la planta de café es muy susceptible a las defoliaciones, especialmente durante la época de crecimiento y llenado de los frutos, que comienza dos meses después de la floración y se extiende hasta un mes antes de la maduración de la cosecha.

En Chinchiná el follaje más importante para la cosecha del segundo semestre es el de los meses de abril a octubre y el más crítico el de los meses de mayo a julio, cuando la mayoría de los frutos están en la fase de crecimiento acelerado y de llenado. Para el sostenimiento de la cosecha del primer semestre es necesaria la presencia de suficiente follaje en los meses de diciembre a febrero.

influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica (Franco, 1940; Barros *et al.*, 1978).

Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y culmina con la maduración.

Desarrollo de inflorescencias y flores del café.

La floración del café es un evento asociado estrechamente con las condiciones climáticas de cada región y generalmente se registra como el momento de la antesis, cuando se abren las flores. Sin embargo, debe considerarse que la floración es un proceso de desarrollo complejo que inicia 4 a 5 meses antes de la apertura floral (Camayo y Arcila, *et al.*, 1996, Camayo *et al.*, 2003).

Las flores del café se forman en las yemas ubicadas en las axilas foliares, en los nudos de las ramas. El proceso puede mirarse desde dos aspectos: a) desarrollo de la inflorescencia en las axilas foliares (nudos en las ramas) y b) desarrollo de las flores en cada inflorescencia.

Cada nudo de una rama tiene dos axilas foliares opuestas. En cada axila se forman de 3 a 4 yemas o inflorescencias y en cada una de ellas, entre 4 y 5 flores. Es decir, en un nudo existen potencialmente entre 24 y 32 botones florales (12 a 16 botones florales por axila).

Cada yema está conformada por un pedúnculo, que contiene varios nudos en los cuales se insertan dos hojas diminutas y opuestas (brácteas) y en cuyas axilas se producen entre 3 y 5 botones florales. Este conjunto constituye la inflorescencia y se le conoce también como glomérulo (Figuras 2.15 y 2.16). La yema que produce un glomérulo se demora aproximadamente 12 semanas para dar origen a los botones florales. Durante el desarrollo de la inflorescencia y de la



Figura 2.15. Inducción e iniciación de la inflorescencia. A) Iniciación de las inflorescencias; B) Diferenciación de las inflorescencias; C) Detalle de una inflorescencia.

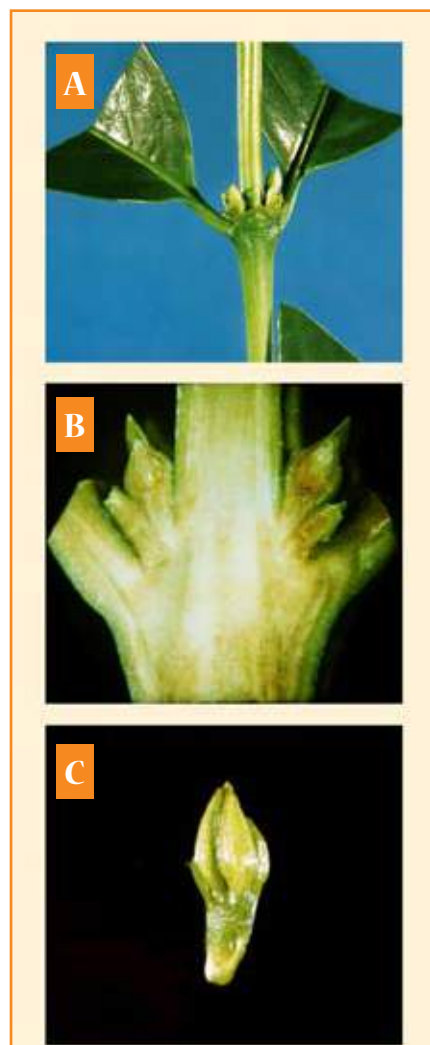


Figura 2.16. A y B) Nudo con las inflorescencias en desarrollo y C) Inflorescencia con botones florales desarrollados (Camayo *et al.*, 1996).

flor ocurren las siguientes etapas (Barros *et al.*, 1978; Camayo *et al.*, 1996; Wormer y Gituanja, 1970):

Inducción floral e iniciación de la inflorescencia (primera etapa), que ocurre a nivel molecular a una tasa muy rápida y no diferenciable externamente (Figura 2.15). Después de la inducción se inicia la inflorescencia y en este estado el nudo está rodeado por estípulas de color verde claro. El desarrollo de la inflorescencia continúa y puede durar de 30 a 35 días aproximadamente.

La segunda etapa es la de desarrollo de los botones florales en las yemas. Termina en el momento en que se observan los botones florales adheridos entre sí y todavía sin abrir emergiendo en una inflorescencia multifloral. Los

botones alcanzan el tamaño de un “comino” (Figura 2.16). Esta etapa tiene una duración en promedio, de 45 días.

En la tercera etapa, los botones florales alcanzan un tamaño de 4 a 6 mm, se separan y aun verdes, cesan su crecimiento entrando en una fase de reposo que puede durar alrededor de 30 días (Figura 2.17). Esta inactividad es una verdadera latencia, inducida por la exposición continua de la yema a estrés hídrico o a factores endógenos.

En una cuarta etapa, las lluvias repentinas, la reducción súbita de la temperatura y la variación de los contenidos de ácido giberélico pueden estimular el crecimiento del botón floral latente, que aumenta su longitud 3 ó 4 veces. Los botones inician la etapa de preantesis, la cual se detecta por la coloración blanquecina de los pétalos, todavía cerrados (Figuras 2.18 A y B). Esta etapa dura de 6 a 10 días.

La última etapa es la de antesis o florescencia (apertura de la flor) propiamente dicha (Figura 2.18 C). Una flor abierta dura en promedio 3 días. En *Coffea arabica*, la flor se autofecunda y cuando la flor abre ya la fecundación está completa en un porcentaje mayor del 90%.

En la Tabla 2.2 se muestra la época de ocurrencia de las diferentes etapas del desarrollo de las flores en las condiciones ambientales de Chinchiná (Caldas).



Figura 2.17. Botones florales en estado de latencia (Camayo y Arcila,1996).

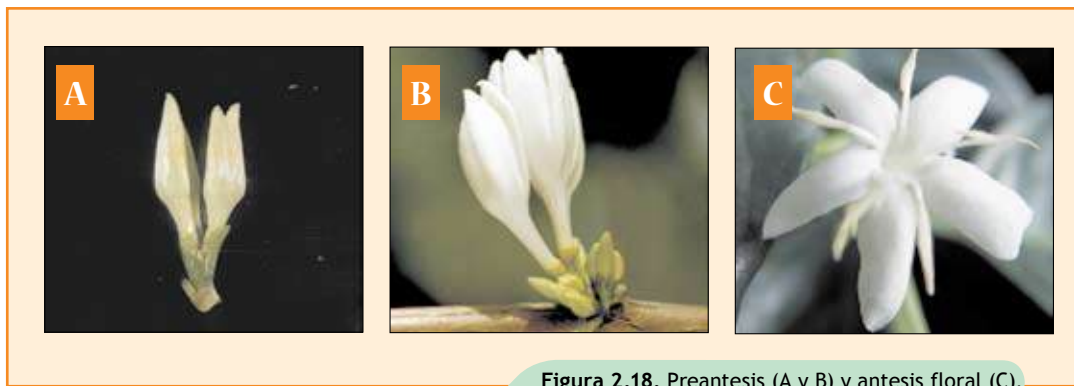


Figura 2.18. Preantesis (A y B) y antesis floral (C).

Tabla 2.2. Épocas de mayor actividad del desarrollo floral del cafeto en Chinchiná (Caldas). Abril de 1994 - marzo de 1995 (Camayo *et al.*, 1997).

ÉPOCAS DE MAYOR ACTIVIDAD EN EL DESARROLLO FLORAL EN CHINCHINÁ - CALDAS (abril /94/marzo/95)												
FASE	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	E	F	M
Inducción (B1)		X	X			X	X	X	X			
Inducción (B2)		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Diferenciación (B3)		X	X	X			X	X	X			
Desarrollo			X	X	X	X	X	X	X	X		
Latencia						X	X	X	X	X	X	
Prenatesis (B4)								X	X	X	X	X
Antesis (B5)								X	X	X	X	X

Morfología de la flor del cafeto

Una flor de café posee los cuatro tipos de estructuras que caracterizan a una flor completa y perfecta: dos estructuras estériles que son el cáliz y la corola, y dos estructuras fértiles que son los carpelos (ovario - estilo - estigma) y los estambres (Figura 2.19) (Arcila, 2004).

La flor se une a la inflorescencia mediante el pedicelo, y por encima de éste se ubica el ovario, el cual es ínfero y biloculado.

Cuando el ovario es fecundado se desarrolla como una drupa globular u oval, que normalmente contiene dos semillas.

El cáliz de la flor de café es rudimentario y tiene forma de copa, está fusionado al ovario y se desarrolla por encima de éste. El cáliz está constituido por cinco hojas diminutas denominadas sépalos.

La corola se desarrolla dentro del cáliz y aparece inicialmente como un tubo de color verdoso de 4 mm de largo, formado por la fusión de los cinco pétalos que la conforman. La apertura floral ocurre cuando el tubo de la corola se divide hacia el extremo en cinco lóbulos blancos, cada uno de aproximadamente 8 mm de longitud, para una longitud total de la flor de 18 mm.

Los estambres, en número de 5, se insertan entre los lóbulos de la corola mediante filamentos cortos. Tienen una longitud de 6 a 8 mm. Cada estambre posee una antera que contiene cuatro sacos polínicos.

Los carpelos presentan en su parte inferior el ovario, el cual encierra los óvulos. Sobre el ovario y por debajo del tubo de la corola se inserta un estilo largo (12-15 mm), el cual termina hacia el extremo en dos estigmas separados y ligeramente inclinados. En conjunto, el estilo y los estigmas tienen una longitud que los hace sobresalir ligeramente por encima del tubo de la corola abierto. El estilo está unido a un punto circular de inserción sobre el ovario, el cual se verá luego como una mancha redonda (ombligo) cuando el fruto se desarrolle.

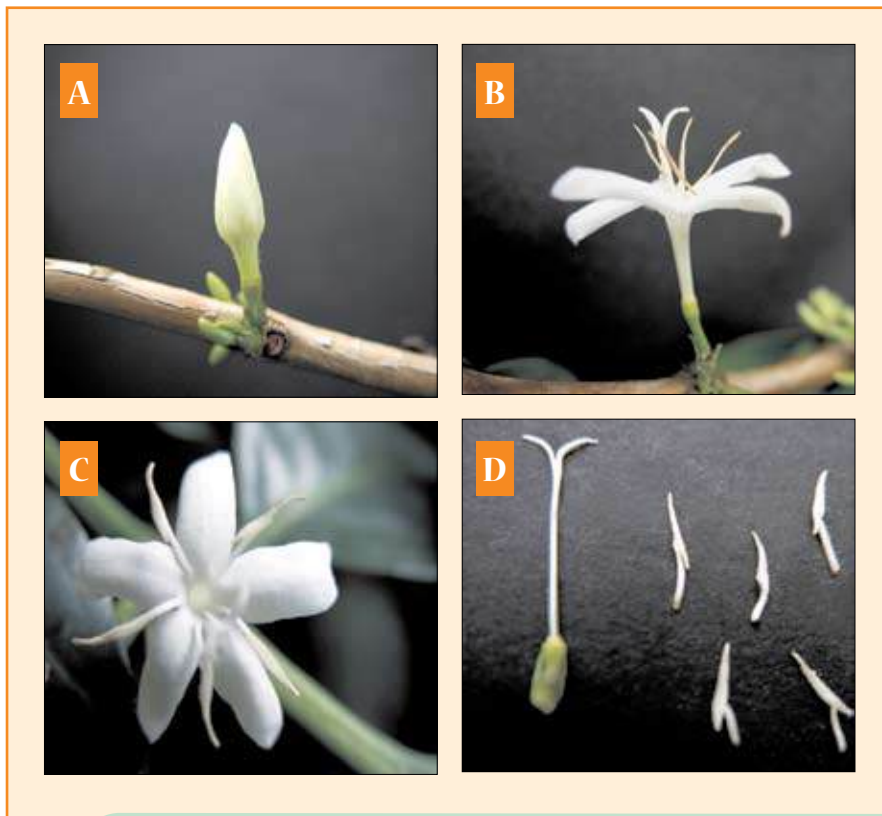


Figura 2.19. Etapas del proceso de floración del cafeto y órganos constitutivos de una flor de café. A) Flor en estado de preantesis; B y C) Flor en estado de anthesis exhibiendo las estructuras reproductivas; D) Estructuras reproductivas. A la izquierda se muestra el pistilo compuesto por el ovario y el estilo que termina en un estigma bifurcado. A la derecha se observan los estambres (Arcila, 2004).

Condiciones favorables para el desarrollo de la flor

Los diferentes autores que han estudiado el proceso de la floración del cafeto sugieren que éste se encuentra constituido por las etapas de inducción, diferenciación, desarrollo, latencia y antesis (Barros *et al.*, 1978; Browning, 1977).

La inducción es favorecida por fotoperíodos cortos. Esto significa que la duración del día no sea mayor a 13,5 horas. En condiciones de la zona cafetera colombiana esta condición de fotoperíodo corto se mantiene permanentemente, debido a que la duración del día no supera las 12,5 horas en cualquier momento del año. Por tanto, se ha sugerido que factores diferentes al fotoperíodo, por ejemplo la temperatura, intervienen en la inducción (Franco, 1940; Mes, 1957; Cannell, 1972).

Los procesos de diferenciación y desarrollo son controlados por la disponibilidad hídrica y energética, las hormonas y los nutrientes (Barros *et al.*, 1978; Castillo y López, 1966).

En la latencia intervienen factores ambientales y hormonales, principalmente (Browning, 1977); mientras que la antesis está condicionada por la ocurrencia de una deficiencia hídrica previa a un período lluvioso (Crisosto *et al.*, 1992).

Para las condiciones de la zona cafetera de Chinchiná (Caldas), la formación de yemas axilares y su diferenciación en estructuras reproductivas se presenta de manera permanente. Por esta razón, a través del año es posible encontrar todas las fases del proceso de floración, aunque en una magnitud variable, dependiendo principalmente de la oferta de agua y energía. Cuando la disponibilidad hídrica y energética es alta, la planta tiende a formar yemas axilares y a diferenciar estructuras florales. Las deficiencias hídricas moderadas o brillo solar por debajo de los promedios normales parecen inducir a cambios hacia los estados intermedios del desarrollo floral, y tienen una mayor relación con la diferenciación y desarrollo de los botones florales (Camayo *et al.*, 2003).

Cuando los botones completan su desarrollo (4 - 6 mm de longitud) requieren de un efecto acondicionador que lo proporciona un período seco de una magnitud moderada, sin el cual no es posible romper la latencia y completar su desarrollo final hasta la antesis (Crisosto *et al.*, 1992; Barros *et al.*, 1978). La ausencia de este período seco repercute sobre los botones florales haciendo que estos permanezcan en latencia o no alcancen su desarrollo hasta la antesis. De acuerdo con los modelos ajustados en Cenicafé, Camayo *et*

al. (2003), se puede sugerir que el estrés hídrico, el brillo solar y la temperatura mínima contribuyen a la maduración fisiológica de los botones florales.

Número de días entre la siembra y la primera floración

Esta variable es la que nos indica cuándo comienza la fase reproductiva de la planta de café. Se mide como el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan presentado alguna flor (Cenicafé, 2001).

El tiempo en que ocurre la primera floración es variable ya que depende de la fecha de siembra y las condiciones ambientales de cada localidad (Figura 2.20). En las condiciones de la zona cafetera central de Colombia, la primera floración ocurre aproximadamente a los 330 días después de la siembra definitiva en el campo. En la región oriental de Caldas (Marquetalia) los valores observados fueron de 229 días, hasta 365 días en Norte de Santander (Convención) y el tiempo más largo observado fue de 498 días en Cesar (Pueblo Bello) (Cenicafé, 2001).

Condiciones desfavorables para el desarrollo de la flor

El desarrollo normal de la flor del cafeto puede ser alterado por factores genéticos, ambientales, patológicos o nutricionales, lo cual da como resultado diferentes tipos de anomalías como: atrofiadas o abortadas, flores estrella, flores rudimentarias y petalodia o flores que abren prematuramente. En otras ocasiones pueden presentarse secamiento de los botones florales, abscisión o caída de flores, pérdida o reducción de la capacidad de floración o inducción permanente de ésta, que conduce a la ocurrencia de floraciones continuas (Arcila, 2004).

Tipos de anomalías florales

Flores estrellas o atrofiadas. (Flores rudimentarias, flores abortadas, flores estrella, apertura floral prematura)

Este desorden afecta a todas las estructuras de la flor. Consiste en la inhibición o interrupción del crecimiento de los órganos sexuales o de toda la unidad floral, y da como resultado un desarrollo parcial o rudimentario de la flor, la cual se abre parcialmente o no crece permaneciendo diminuta. Las flores afectadas tienen alta probabilidad de abortar ya que la dehiscencia de las anteras y la fecundación pueden no ocurrir. Este problema ha sido registrado en varios países (Huxley *et*

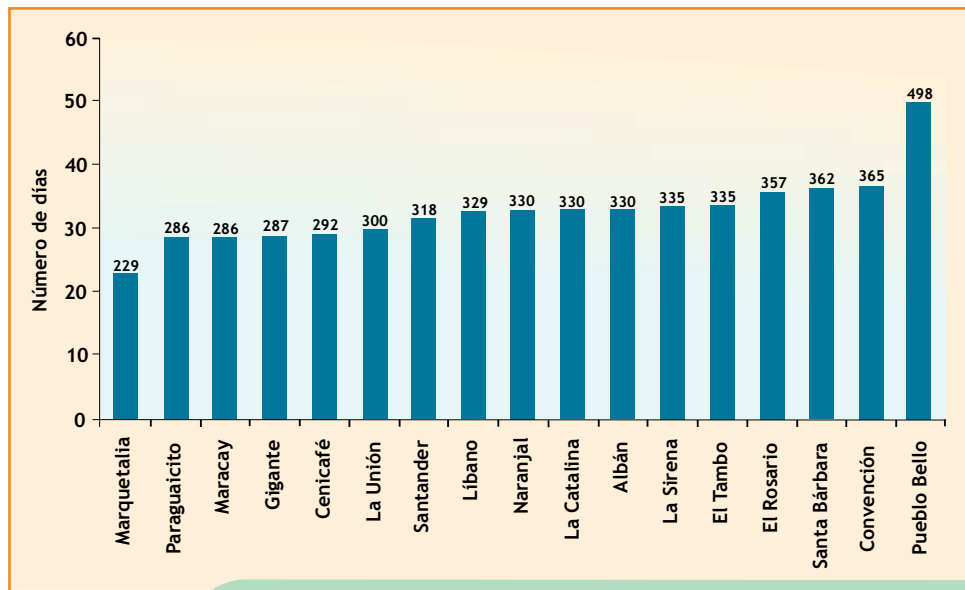


Figura 2.20. Número de días transcurridos entre la siembra y la primera floración de *Coffea arabica*, en diferentes zonas cafeteras de Colombia (Cenicafé, 2001).

Ismail, 1969; Kumar, 1982). Puede llegar a ser de alta importancia económica debido a la reducción de la producción.

Se pueden definir varios grados de atrofia floral (Arcila, 2004):

a. Flores atrofiadas: Retardo del crecimiento de la corola en comparación con las estructuras internas, las cuales quedan expuestas total o parcialmente. Los pétalos son más pequeños de lo normal, mantienen su color verde claro o cambian a blanco y la anthesis es total o parcial (Figura 2.21 A).

b. Flores estrella (flores rudimentarias): Es un caso extremo de atrofia floral en el que todas las partes de la flor son diminutas y de color verde claro, dando apariencia estrellada (Figura 2.21 B). Entre las causas de esta anomalía se destacan las siguientes:

Factores genéticos: Parece existir cierta predisposición genética, ya que generalmente ocurre algún grado de atrofia en las diferentes especies y variedades de café. La incidencia de la “flor estrella” en el germoplasma de la Colección Colombiana de Café (CCC) de Cenicafé, en Chinchiná, se ha observado en mayores proporciones en las variedades Mundo Novo y Catuai (Caturra por Mundo Novo), pero el defecto no ha llegado a tener importancia. En las otras variedades comerciales como Típica, Borbón, Caturra, Colombia y Variedad Castillo®, este defecto ocurre en proporciones no significativas (1% o menos) (Moreno *et al.*, 1999).

Factores ambientales: Entre los factores que causan estas alteraciones se encuentran: el déficit hídrico durante

la iniciación de la floración, la alta radiación solar, los aguaceros esporádicos y de baja intensidad dentro de un período seco prolongado, el exceso de lluvia durante el período de rápida expansión de las yemas, el exceso de nubosidad durante el período de floración, las temperaturas medias por encima del óptimo de café, la fluctuación entre las temperaturas máximas y mínimas y los cambios bruscos de temperatura. Bajo condiciones controladas, se ha observado que el mayor número de flores estrellas se producía cuando el régimen de temperatura era de 30°C en el día y 24°C en la noche, mientras que a 23°C en el día y 17°C en la noche la formación de flores estrellas era mínima (Mes, 1957).

En observaciones realizadas por Moreno *et al.* (1999), en dos localidades ubicadas a 1.230 y 1.400 m de altitud, en una misma vertiente caracterizada por alta precipitación en todos los meses del año y alta radiación solar, encontraron que en la menor altitud la incidencia de flor estrella fluctuó entre 12,9 y 17,8%, mientras que a 1.400 m, ésta fue de 32%.

Esta anomalía puede prevenirse al cultivar el cafeto en zonas de condiciones climáticas más favorables para su desarrollo.

Petalodia. Es una alteración del desarrollo de los estambres de la flor, los cuales se transforman en estructuras parecidas a pétalos. No ocurre dehiscencia de las anteras. En estas flores se observa un número de pétalos superior a cinco y no hay estambres. Este desorden puede ser de naturaleza genética y es de rara ocurrencia. Este problema ha sido reportado en la India y tiende a confundirse con otras atrofiaciones florales como flores estrella y flores rudimentarias. Su importancia

económica es baja ya que sólo se presenta en unos pocos individuos.

Secamiento de flores (flores semisecas). Esta anomalía se presenta en todas las floraciones en yemas con cerca de 4 mm de longitud (“cominos”). Consiste en el secamiento parcial o total de los pétalos y los estambres. El secamiento puede presentarse en una sola yema o en todo el glomérulo (Figuras 2.21 C, D y E). La corola comienza a secarse por la base, los pétalos toman un color canela y en ocasiones se separan del ovario. Lo más común es observar secamiento de toda la yema, la cual se torna negra. El ovario, aunque no se fecunda permanece generalmente verde por algún tiempo. También puede ocurrir secamiento o ennegrecimiento de todo el glomérulo. Su importancia económica puede llegar a ser alta porque involucra la pérdida total de la flor.

El disturbio es favorecido por el exceso de sombra, alta humedad y alta temperatura. Bajo estas condiciones se favorece el incremento hasta niveles patogénicos, de las poblaciones de hongos como los del género *Colletotrichum*, que normalmente son habitantes naturales de las ramas y no son fitoparásitos. Condiciones de alto brillo solar durante ciertas horas del día pueden

causar quemazones incipientes (escaldado o golpe de sol) (Figura 2.21 C), y en estas lesiones se instala el patógeno (Gil, 2001).

Abscisión de flores (caída de flores). En ocasiones ocurre la caída de flores por causas naturales. Aunque este fenómeno ha sido muy poco documentado, puede ser de gran importancia ya que los porcentajes del cuajamiento reportados en café varían entre el 20 y el 80%. Este fenómeno se debe a la separación de la corola del ovario o separación del glomérulo de la axila foliar, sin haber ocurrido secamiento. No se conocen agentes causales.

Daños por insectos. Ocasionalmente se han observado algunas hormigas atacando las estructuras florales, causando desprendimiento del estilo y de la corola (Figura 2.21F).

Deficiencia de flores (bajo número de flores). Trastorno en el cual los nudos habilitados para florecer presentan una baja cantidad de flores (Figura 2.22 A). No se trata de problemas de fertilidad. Esta anomalía está asociada principalmente con determinadas condiciones del cultivo que impiden el desarrollo de suficientes flores o la pérdida de flores ya formadas, por ejemplo, exceso



Figura 2.21. Anormalidades en el desarrollo de la flor del café. A) Atrofia floral; B) Flores estrella; C) Golpe de sol en botones florales; D y E) Secamiento de botones florales; F) Desprendimiento de flores por hormigas (Arcila, 2004).

de sombra, cosecha alta en el año anterior, secamiento de yemas, abortos o cafetos muy jóvenes o muy viejos. Aunque el café es una planta que tolera la sombra, bajo estas condiciones presenta una menor diferenciación de órganos reproductivos (Castillo y López, 1966). La alta intensidad del sombrero y el exceso de humedad pueden favorecer la pérdida de flores por secamiento o pudrición. Condiciones inductivas de floración permanente también pueden ocasionar baja formación de flores. Su importancia económica puede llegar a ser alta. Como medidas preventivas debe evitarse el exceso de sombra y sembrar café en zonas de mejor aptitud agrícola.

Pérdida de la capacidad de floración (aneuploidia, café macho). Este es un problema de fertilidad caracterizado por una escasa o nula formación de flores en toda la planta o por la alta formación de flores rudimentarias. La causa principal de este fenómeno es un defecto en

el número básico de cromosomas. También se le conoce con el nombre de “café macho”. Su incidencia a nivel de cultivos es muy baja.

Esta anomalía se caracteriza por que en los nudos que normalmente están habilitados para florecer no existen flores o la cantidad de éstas, es muy baja. Así mismo, en estas plantas se observa una alta proporción de flores atrofiadas o rudimentarias. Este fenómeno puede ser un reflejo de incompatibilidad entre los individuos parentales.

Como medida preventiva, pueden eliminarse estos materiales desde el almácigo. Las plantas se identifican por que tienen hojas exageradamente alargadas.

Floración continua. Es una anomalía que se caracteriza porque las plantas florecen continuamente durante el año. Está asociada principalmente a



Figura 2.22. Casos de pérdida o disminución de la capacidad de floración. A) Baja formación de flores o floración continua; B) Formación normal de ramas secundarias; C) y D) Conversión de yemas florales en yemas vegetativas (retrogresión) (Arcila, 2004).

condiciones climáticas que favorecen una permanente inducción floral como es el caso de regiones altas, con alta nubosidad o con períodos secos poco definidos.

Aunque es una condición aparentemente favorable para la planta ya que las demandas para la formación de los frutos pueden ser mejor reguladas, también puede ser desfavorable por una mayor predisposición a la pérdida de flores y aumento en el número de recolecciones. En la planta de café, la concentración de la cosecha tiende a desequilibrar la planta conduciendo a problemas como el paloteo.

En Colombia, el cafeto florece en forma concentrada entre los meses de enero a marzo y entre agosto y septiembre. Sin embargo, en algunas regiones ocurren floraciones repartidas a través del año y en poca magnitud. Esta anomalía puede presentarse de manera más acentuada en las regiones altas.

Como medidas preventivas se recomienda ubicar el cultivo en condiciones climáticas favorables, por ejemplo, en zonas donde se presenten déficit hídricos adecuados para la floración.

Retrogresión. Algunas yemas que no se alcanzan a diferenciar en flores, forman exceso de ramas secundarias o terciarias, en muchos casos presentando la forma de abanicos o rosetas (Figuras 2.22 C y D). Esto ocurre cuando se dan condiciones ambientales poco favorables para la floración, por ejemplo exceso de humedad y alta temperatura. Igualmente, condiciones nutricionales inadecuadas como la deficiencia de zinc. La formación normal de ramas secundarias y terciarias se presenta principalmente en unos pocos nudos en la zona de las ramas que ya produjeron y después de los 15 meses de edad de la planta (Figura 2.22 B).

Daños por fitotoxicidad. Es el daño causado a cualquier parte de la flor (corola, estambres, pistilo) por la acción de productos agroquímicos. Las aplicaciones de agroquímicos en café o a cultivos intercalados con café pueden tener algún efecto sobre la floración cuando coinciden con este proceso. En café se ha reportado que las formulaciones a base de aceite pueden tener efectos fitotóxicos. La naturaleza y la intensidad del daño dependen de la composición del aceite o de la naturaleza del producto utilizado.

Este daño por agroquímicos no ha sido bien documentado y se ha medido generalmente como la pérdida de frutos. En café se ha reportado pérdida de flores por aspersiones de BSO hasta del 3%. En otros estudios, no se observaron síntomas de daño en flores por aplicaciones de varios fungicidas.

Como medida de control es recomendable evitar aplicaciones de agroquímicos si hay una floración en proceso.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Cuando las flores alcanzan el estado de “comino” entran en un período de reposo que puede durar varias semanas, pero para que este período termine y se produzca la floración, además de la madurez apropiada de los cominos se requiere de un estrés, proporcionado por períodos de días secos, continuos, de mediana a larga duración y que además, este período seco sea interrumpido por lluvias o cambios bruscos de temperatura. Mientras más fuerte y prolongado sea el estrés mayor y más concentrada será la respuesta del cafeto en floración.

La falta de períodos secos definidos en las épocas habituales de floración ocasiona que los “cominos” permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y que en consecuencia las floraciones se dispersen, que sean poco concentradas o que se presenten anomalías en el desarrollo de la flor como es el caso de las “flores estrella” o el secamiento de los “cominos”.

La flor estrella es una anomalía en el desarrollo de la flor, que se caracteriza porque ésta se abre prematuramente y todas sus partes aparecen diminutas y de color blanquecino, dando apariencia de estrella. La presencia de esta anomalía puede interpretarse como el resultado de condiciones ambientales desfavorables durante las etapas tempranas de la floración. La presencia de yemas poco desarrolladas o en épocas fuera del período normal de floración, así como la ausencia de períodos secos definidos, favorecen el fenómeno de la flor estrella. La ocurrencia de temperaturas altas, por encima de 28°C, durante los estados tempranos del desarrollo de la flor también pueden causar esta anomalía.

En el caso del secamiento de los “cominos” las condiciones microclimáticas a nivel de la planta juegan un papel importante. Por ejemplo, altas temperaturas, disponibilidad de agua y suministro de nitrógeno, inciden directamente en el desarrollo acelerado de las plantas así como en una alta densidad de follaje, proporcionando una baja luminosidad y alta humedad muy acentuadas hacia el interior de la planta. Estas condiciones pueden causar pudriciones incipientes en botones florales en desarrollo y además, propician el incremento de poblaciones de hongos, que normalmente no son patogénicos para el cafeto, los cuales invaden los botones lesionados y causan el secamiento total de la yema. El excesivo brillo solar también puede causar escaldado y secamiento de los botones florales.

Las anomalías descritas generalmente son de carácter temporal y no generalizadas, y se restringen a zonas muy específicas.

Desarrollo del fruto

Desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren en promedio 32 semanas. El desarrollo del fruto dura de 220 a 240 días en promedio, dependiendo de la región (Figura 2.23). En la zona oriental de Caldas (Marquetalia) se observó la menor duración del período de crecimiento con 204 días; la mayor duración se encontró en Cesar (Pueblo Bello) y Nariño (La Unión), con 254 y 266 días, respectivamente (Cenicafé, 2001).

Durante su desarrollo, el fruto pasa a través de diferentes estados (Figura 2.24) (Cenicafé, 2001; Salazar *et al.*, 1994, 1993; Suárez, 1979; Huxley, 1969; León y Fournier, 1962), así:

- Etapa 1: Primeras 7 semanas después de la floración (0 - 50 días). Es una etapa de crecimiento lento, en la cual el fruto tiene el tamaño de un fósforo.
- Etapa 2: Semanas 8 a la 17 después de la floración (50 - 120 días). El fruto crece en forma acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.
- Etapa 3: Semanas 18 a la 25 después de la floración (120-180 días). La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.
- Etapa 4: Semanas 26 a la 32 después de la floración (180 - 224 días). El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.

Etapa 5: Después de la semana 32 (más de 224 días), el fruto se sobremadura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. En esta etapa generalmente el fruto pierde peso.

Factores que afectan el desarrollo del fruto

Diversos factores pueden influir sobre el desarrollo normal de la cosecha, desde la floración hasta la maduración de los frutos de café, y causar distintos niveles de pérdida de la producción esperada del cultivo. Razón por la cual para la estimación de la cosecha es importante considerar estas pérdidas, pues no todas las flores que se desarrollan en la planta pueden formar frutos y no todos los frutos que se forman alcanzan un desarrollo normal o son cosechados.

La broca del café, *Hypothenemus hampei*, ocasiona daños en el fruto y la caída de estos cuando son atacados

en estados tempranos de desarrollo. Cuando la broca ataca frutos de café de dos meses de edad, más del 50% caen de las ramas y muchos de ellos se tornan de un color característico al de la madurez; pero si el ataque ocurre después de los tres meses de edad la caída de frutos es menor del 23,5% (Bustillo, 2002).

El mal rosado ocasionado por el hongo *Corticium salmonicolor*. Esta enfermedad afecta tallos, ramas, hojas y frutos, en los cuales se observa necrosis o muerte de tejidos; los frutos se momifican y caen, sintomatología que genera un aspecto de paloteo en el árbol. El avance de la enfermedad puede afectar la totalidad de la producción de la rama o del árbol (Galvis, 2003).

La mancha de hierro ocasionada por *Cercospora coffeicola*, afecta hojas, ramas y frutos de todas las variedades de café cultivadas. Los frutos son más susceptibles después del cuarto mes de desarrollo, las lesiones producen necrosamiento y como consecuencia, la pulpa se adhiere al pergamino produciendo lo que comúnmente se conoce como café guayaba (Fernández *et al.*, 1982; Leguizamón, 1997).

Colletotrichum sp. ocasiona daños en flores en estado de comino y en frutos en todos sus estados. Este hongo produce secamiento y caída de los frutos, y la flor afectada permanece adherida al glomérulo hasta su necrosis total (Gil, 2003).

Déficit hídrico. El crecimiento reproductivo caracterizado por la formación de flores y frutos es afectado por la disponibilidad hídrica. Las deficiencias hídricas tienden a favorecer la floración pero pueden perjudicar el crecimiento vegetativo de la planta y el desarrollo normal del fruto, afectándolo de diferentes formas de acuerdo a la etapa de desarrollo en la cual se encuentre (Arcila y Jaramillo, 2003).

En la etapa 1 del desarrollo del fruto de café (Figura 2.24) la deficiencia hídrica puede generar el secamiento de frutos tiernos (Valencia y Arcila, 1975).

En la etapa 2 una deficiencia hídrica puede tener diferentes efectos sobre el desarrollo del fruto (Figura 2.24), los cuales se clasifican en cuatro tipos, que describen a continuación:

Grano vacío (flotantes): uno o ambos lóculos del fruto aparecen vacíos, sin ninguna formación de endospermo. Cuando se benefician estos granos producen el defecto “espuma” o “pasilla” (Figura 2.25). En las variedades cultivadas se presenta normalmente menos del 5% de este defecto.

Grano parcialmente formado: uno o ambos lóculos del fruto presentan formación parcial del endosperma, sin

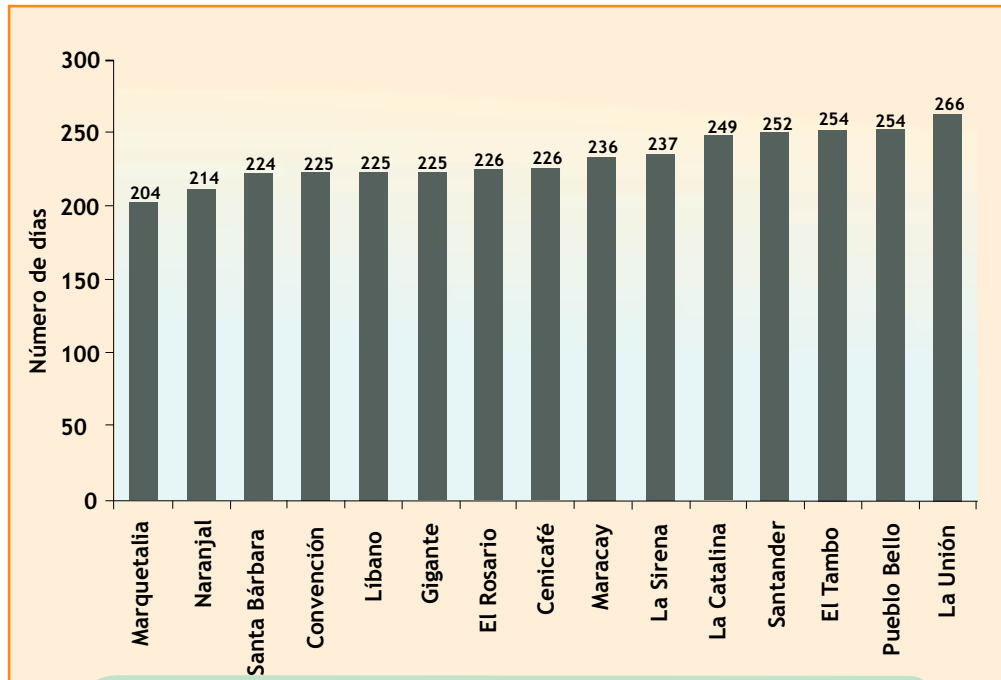


Figura 2.23. Número de días transcurridos entre la floración y la maduración del fruto de café, en diferentes zonas cafeteras de Colombia (Cenicafé, 2001).

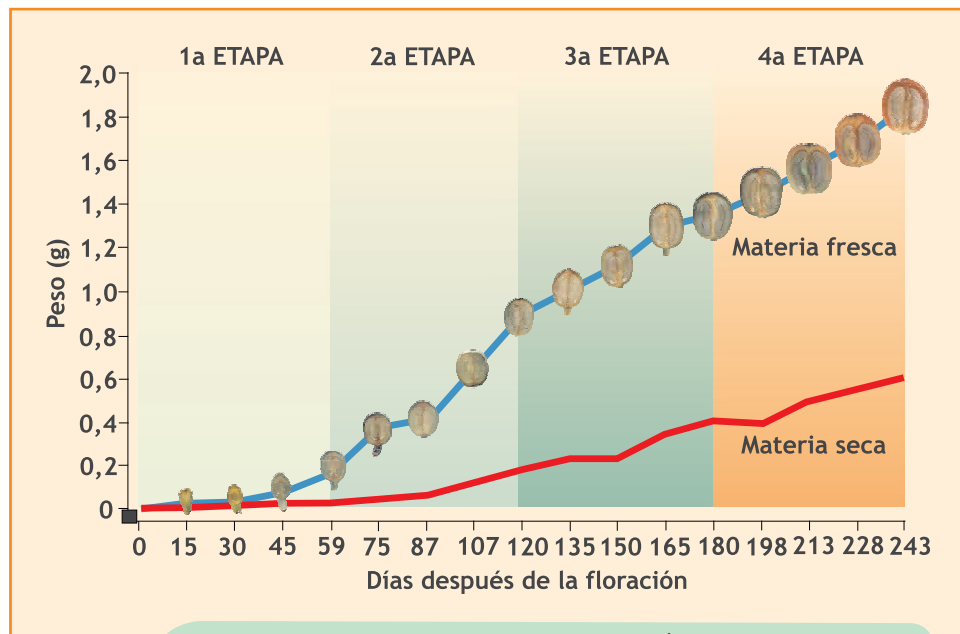


Figura 2.24. Etapas de desarrollo del fruto de café (Arcila y Jaramillo, 2003).

que se llegue al llenado completo (Figura 2.25). Estos granos alcanzan a madurar y producen el defecto “averanado”.

Grano negro: Frutos en un estado de desarrollo muy avanzado con una ligera tonalidad amarillenta y que al partirlos muestran una o ambas almendras desarrolladas y de un color café muy oscuro, casi negro. Estos granos al

beneficiarlos producen el defecto “espuma” o “pasilla” (Figura 2.25) (Valencia, 1973).

Grano pequeño: El fruto se desarrolla pero adquiere un tamaño inferior al normal. Este tipo de grano se hace más perceptible al momento de la trilla.

En la etapa 3 la deficiencia hídrica tiene efectos menos severos debido a que el fruto se encuentra

completamente desarrollado. Sólo en casos extremos se retarda la maduración y se presenta secamiento de la pulpa. Las regiones con mayor susceptibilidad al déficit hídrico son aquellas ubicadas en altitudes bajas, en suelos con poca capacidad de retención de agua o manejo deficiente del cultivo.

Normalmente, se espera una relación de café cereza a café pergamino seco de 5:1 o menor y en las compras



Figura 2.25. Fruto completamente lleno (Izquierda), fruto parcialmente lleno (Centro) y grano negro (derecha) (Arcila y Jaramillo, 2003).

se admite hasta un 5,5% de pasilla y defectos en el café pergamino.

Relación entre floración y fructificación

Una vez efectuada la fecundación, el ovario se transforma en fruto y los óvulos en semilla, este proceso se denomina cuajamiento de frutos, e indica el comienzo del crecimiento del fruto. Una estimación del cuajamiento puede ser el porcentaje de retención de frutos que se mide como la relación entre el número de frutos presentes tres meses después de la floración sobre el número de flores abiertas. En café estos valores varían de acuerdo con las condiciones climáticas presentes durante cada año y según las regiones. La literatura registra valores de retención de frutos desde un 20 a un 90%. En los años mas lluviosos se esperan menores valores de cuajamiento y retención de frutos (Arcila y Jaramillo, 2003).

Distribución de la cosecha

Desde la floración hasta la maduración de los frutos transcurren de 7 a 8 meses, pero debido a que en nuestras condiciones ambientales se favorece el desarrollo sucesivo de las flores sobre los nudos, esto trae como consecuencia que en las ramas se encuentren frutos en

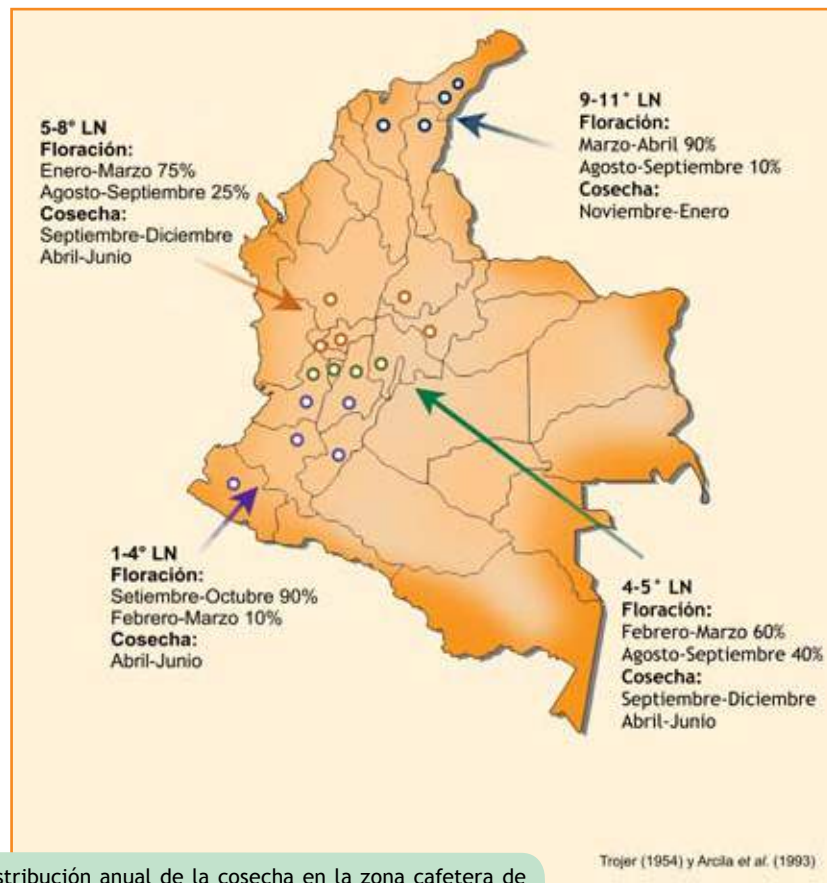
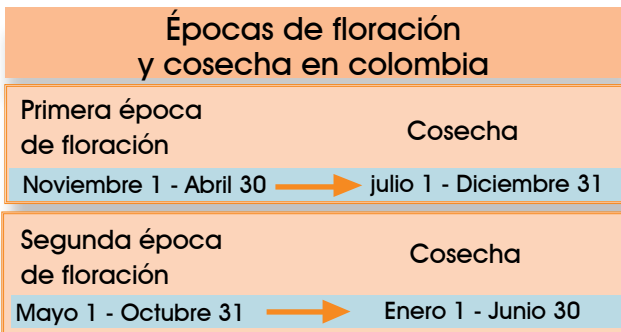


Figura 2.26. Distribución anual de la cosecha en la zona cafetera de Colombia (Cenicafé, 2001).

diferentes estados de desarrollo en forma simultánea. La distribución de la cosecha depende además de los patrones de floración de cada región (Figura 2.26).

En la Tabla 2.3 contiene la información sobre el comportamiento observado de la floración del cafeto en el Ecotopo 206A. A partir de los registros de las fechas de floración y al considerar que la maduración de los frutos ocurrirá a los 8 meses aproximadamente, se puede proyectar la distribución de la cosecha. Es factible que los agricultores lleven estos registros en sus fincas y de esta forma estimen la época probable de recolección y el volumen de café a recolectar y predeterminen el manejo de problemas como la broca y las etapas de renovación, entre otras (Arcila *et al.*, 1993).

En resumen, en Colombia pueden considerarse dos ciclos de floración y cosecha, así:



Frecuentemente se tiene la inquietud acerca de la variación de la distribución de la cosecha según la variedad de café. Este fenómeno está estrechamente ligado con las condiciones ambientales, específicamente, con la distribución de las lluvias. Como puede verse en la Figura 2.27, para un cultivo de la variedad Colombia de la misma edad, sembrado simultáneamente en 17 localidades, la variación de la distribución de la cosecha es muy amplia y el comportamiento es específico para cada localidad.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Durante el desarrollo del fruto existen diferentes factores ambientales que pueden afectarlo. Entre estos factores, la disponibilidad hídrica juega un papel primordial y su efecto varía de acuerdo con la etapa del desarrollo en que se encuentra el fruto, por tanto, si las deficiencias hídricas ocurren entre las semanas 7 y 14 después de la floración, se afectará el tamaño del fruto, y si éste ocurre entre las semanas 15 y 25, se producen granos vanos o defectuosos por insuficiente llenado de la almendra. Los excesos hídricos no tienen un efecto particular sobre el crecimiento y desarrollo de los frutos y más bien su efecto es indirecto al favorecer la presencia de enfermedades que atacan los frutos como el mal rosado o favorecer la pérdida de flores.

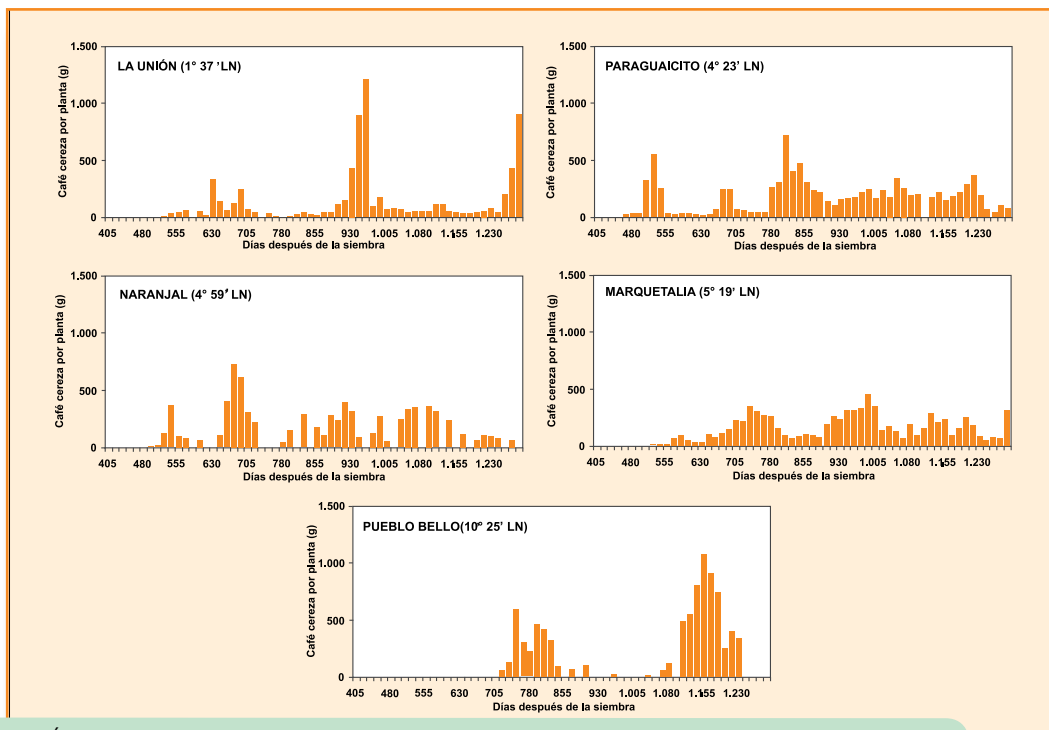


Figura 2.27. Épocas de cosecha de la variedad Colombia en la zona cafetera colombiana y su relación con la disponibilidad de agua. Los porcentajes semestrales de cosecha varían según la región (Cenicafé, 2001).

Tabla 2.3. Floración y distribución de la cosecha para el año 2005 en la región de Chinchiná y Palestina (Caldas). Programa Agronomía. Disciplina de Fitotecnia. Cenicafé.

Fecha floración	Porcentaje de floración observado	Época cosecha	Porcentaje aproximado de cosecha	Semana de cosecha
Mayo 27/04	9	Enero27/05	9	4
Junio 07/04	9	Febrero07/05	9	5
Junio 28/04	6	Febrero 28/05	6	8
Julio18/04	18	Marzo18/05	18	11
Agosto 12/04	6	Abril 12/05	6	14
Agosto 25/04	9	Abril 25/05	9	16
Septiembre 08/04	28	Mayo 08/05	28	18
Octubre 14/04	6	Junio 14/05	6	24
Octubre 30/04	9	Junio 30/05	9	26
Noviembre 11/04	3	Julio 11/05	3	27
Noviembre 30/04	3	Julio 30/05	3	30
Diciembre 07/04	3	Agosto 07/05	3	31
Diciembre 20/04	9	Agosto 20/05	9	33
Enero 5/05	3	Septiembre 5/05	3	35
Enero 17/05	16	Septiembre 17/05	16	37
Enero 27/05	6	Septiembre 27/05	6	39
Febrero 08 /05	9	Octubre 08/05	9	40
Febrero 21/05	16	Octubre 21 /05	16	42
Marzo 10/05	9	Noviembre 10/05	9	45
Marzo 29 /05	6	Noviembre 29/05	6	48
Abril 12/05	6	Diciembre 14 /05	6	50
Abril 30/05	9	Diciembre 30/05	9	52

Maduración del fruto del café (*Coffea arabica* L.)

Composición del fruto

El fruto de café es una drupa en la cual los tejidos externos en la madurez se separan, por una capa mucilaginoso, del endocarpio, delgado, duro y coriáceo, llamado pergamino (Salazar *et al.*, 1994; Huxley, 1969; León y Fournier, 1962).

La pulpa de la cereza madura esta formada por el exocarpio (epidermis), que es la capa externa del fruto y representa el 43,2% del fruto en base húmeda. El color de la epidermis varía desde verde o amarillo hasta rojo o rojo intenso y algunas veces hasta violeta o negro. El color depende de la variedad de café y del grado de madurez del fruto.

Recubierto por la epidermis se encuentra el mesocarpio, el cual está constituido por una capa gruesa de tejido esponjoso de 5 mm de espesor, rico en azúcares y mucílagos, que recubre los dos granos, los cuales se encuentran unidos por sus caras planas. El mucílago representa el 11,8% del fruto en base húmeda.

Los granos están revestidos por una doble membrana: la primera es el endocarpio, amarillo pálido y de consistencia dura y frágil, comúnmente llamado pergamino, representa del 6,1% del fruto en base húmeda; y la segunda, más fina que la anterior y adherida al grano (albumen), llamada película plateada (tegumento seminal), que representa el 0,2% del fruto en base húmeda. El endospermo, también llamado café verde, representa el 38,9 y 55,4% del fruto

en base húmeda y base seca, respectivamente (Puerta *et al.*, 1988).

Madurez fisiológica del fruto

El estado de madurez fisiológica del fruto de café puede definirse como las “alteraciones morfológicas y fisiológicas que ocurren a partir de la fecundación, seguidas por un momento en el cual las semillas están en condiciones de ser cosechadas”. En Brasil, Caixeta y Alvarenga (1981), desarrollaron estudios en los que observaron los cambios físicos y fisiológicos de la semilla cuando ésta alcanza la madurez. Durante este proceso ocurren alteraciones en el contenido de materia seca, la calidad, el tamaño, la germinación y el vigor de las semillas. De acuerdo con estos parámetros el tiempo de madurez fisiológica del café se definió en 220 días después de la fecundación. Por otro lado, observaron que a partir de este punto, ya no hay incremento de la materia seca, lo cual puede explicarse por la interrupción de la translocación de sustancias de la planta al fruto. El máximo porcentaje de germinación (97%) ocurre a los 200 días, pero la semilla de café inicia este proceso a los 160 días después de su fecundación, cuando aun está verde.

El grado de maduración del fruto es uno de los factores más influyentes en la calidad de la cosecha así como en los factores de rendimiento en el beneficio y en la calidad de la taza.

Tradicionalmente, en muchos países el fruto del café se cosecha cuando éste muestra un color que puede ser rojo o amarillo que indica su madurez, según el cultivar (Alizaga *et al.*, 1995; Herrera *et al.*, 1993), pero la coloración roja o verde del exocarpo del café no es

siempre un signo de maduración o de inmadurez del fruto. A lo anterior se suman una serie de factores externos, los cuales influyen marcadamente en el metabolismo y el desarrollo de los cafetales y los frutos, como son: el ritmo de crecimiento de la planta de café en función de las condiciones específicas de clima, nutrición, edad y manejo de la plantación; características que guardan estrecha relación entre el crecimiento vegetativo y el crecimiento de los frutos.

En las condiciones climáticas de la zona cafetera colombiana el café tiene una alta desuniformidad de la maduración, y es así como en una misma rama se observan frutos en diferentes estados de desarrollo y en varios grados de madurez, razón por la cual es necesario realizar entre 10 y 15 recolecciones por año.

La cosecha de los frutos de café se hace habitualmente con el criterio empírico del color de la cereza, la cual al madurar muestra una mezcla de tonalidades verdes, amarillas y rojas, según el cultivar o variedad, y como resultado se obtiene un producto cosechado que incluye frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos (Roa *et al.*, 1999). Cada uno de estos tipos de frutos posee unas características físicas y químicas específicas, que determinan la cantidad y calidad del producto obtenido durante los procesos de beneficio, trilla, almacenamiento y preparación de la bebida.

Al cosechar cerezas de café en un estado de madurez temprano (tonalidades verdes y amarillas), éstas pueden carecer de condiciones apropiadas para el consumo y

además, realizar una cosecha prematura implicará pérdidas en peso y en rendimiento, debido a que los frutos son de menor tamaño que los maduros (Freire y Miguel, 1985). De otra parte, los frutos recolectados tardíamente pueden estar sobremaduros o secos, y presentan un comportamiento elástico de la pulpa que perjudica las condiciones para un óptimo beneficio, al igual que disminuyen sus cualidades organolépticas, con una mayor predisposición a sabores de tipo fermento, a las alteraciones fisiológicas y al ataque de insectos o de patógenos (Salazar *et al.*, 1994).

En general, se ha demostrado que los frutos que tienen una coloración verde de la pulpa, demeritan la calidad del café en todos los procesos postcosecha hasta la bebida, produciendo bajos rendimientos, sabores y aromas rancios y características muy amargas. De otra parte, la recolección de frutos secos proporciona una bebida dura, debido a que son frutos senescentes y con alto porcentaje de daños por insectos, mientras que los frutos denominados maduros, aquellos que exteriormente presentan una coloración rojiza uniforme, proporcionan la mejor calidad de bebida (Puerta, 1988, 2000).

Para establecer un criterio objetivo de maduración, es necesario describir las características químicas y físicas, que indiquen en forma directa los cambios entre los diferentes estados de maduración del fruto, así mismo estas características deben relacionarse con el comportamiento en las diferentes etapas del proceso de beneficio, secado, trilla y calidad de la taza. Con base en esta información será posible definir estándares

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Una forma más práctica de mirar la distribución de la floración y la cosecha sería considerar que las floraciones entre el 1° de mayo y el 31 de octubre corresponden a la cosecha del primer semestre (enero 1° - junio 30) y las floraciones entre el 1° de noviembre y el 30 de abril corresponden a la cosecha del segundo semestre del año (julio 1° - diciembre 31) (Figura 2.28). Esta consideración se basa en un tiempo entre floración y maduración de 32 semanas (224 días).

En la región sur del país (1 a 3° Latitud Norte) un 90% de la cosecha se recolecta entre abril y junio. En la región central menos húmeda (3 a 4° Latitud Norte), la maduración ocurre en un 40% entre abril - junio y en un 60% entre septiembre y diciembre; en la región central más húmeda (4 a 7° Latitud Norte) entre un 75 - 85% de la cosecha madura en septiembre - diciembre y un 15 - 25% entre abril y junio. En la zona Norte de Colombia (9 a 11° Latitud Norte), la cosecha madura en un 90% en el periodo de noviembre a enero. En las zonas altas, por encima de 1.700 m, la tendencia es a distribuir la cosecha en ambos semestres. Estos patrones de cosecha pueden ser alterados además por los fenómenos climáticos asociados a los eventos cálidos y fríos del Pacífico.

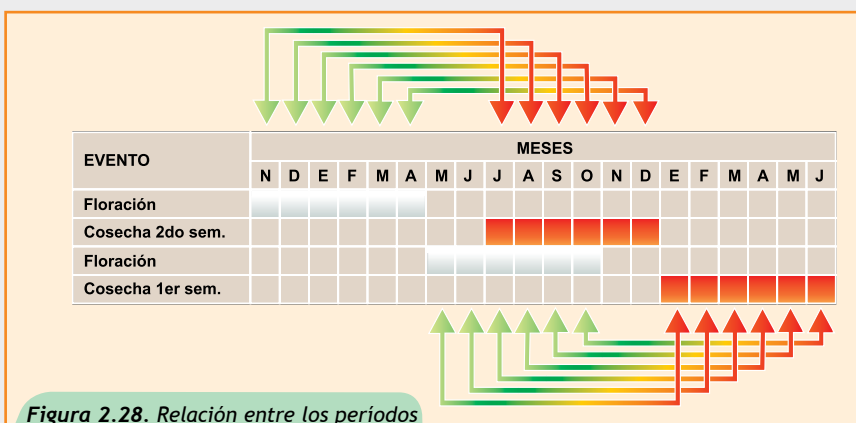


Figura 2.28. Relación entre los períodos de floración y cosecha en Colombia

de recolección para el agricultor y todas las personas relacionadas con los procesos de cosecha y postcosecha del café.

Determinación de los estados de maduración del fruto

En Cenicafé, Marín *et al.* (2003), realizaron una investigación que tuvo como objetivo caracterizar el proceso de maduración del fruto del café, en términos de color, aspectos físicos y químicos, rendimiento y calidad, teniendo en cuenta los días transcurridos desde la floración (ddf). Los estados considerados fueron el verde inmaduro (182 ddf), hasta el rojo maduro (217 ddf) y el estado seco (231 ddf). Los resultados de este estudio muestran lo siguiente:

Características físicas y químicas. Las variables físicas que mejor determinan el proceso de maduración del café a través del tiempo son: la fuerza de remoción, la firmeza polar y la firmeza ecuatorial (Figura 2.29). Estas variables disminuyen a medida que el fruto madura, presentando el cambio más notable entre los 217 y los 224 días después de la floración. Las diferencias entre el estado pintón y los estados maduro y sobremaduro estuvieron alrededor de 2,90 y 6,93 Newton (N) para la fuerza de remoción, entre 11,46 y 14,85 N para la firmeza polar, y entre 10,95 y 16,39 N para la firmeza ecuatorial. La variable química que mejor describe la maduración del café son los sólidos solubles, expresados en grados brix (°brix), los cuales se incrementan a través del tiempo, encontrando el máximo valor en los frutos sobremaduros (23,83 °brix).

Características del café beneficiado según estados de maduración del fruto. El café beneficiado entre los 182 y los 203 días después de la floración (ddf), presenta los mayores porcentajes de características no deseables en la masa de café húmedo (frutos sin despulpar, almendra pelada, defectos y pulpa). Cuando los frutos se encuentran alrededor de los 210 y 224 días después de la floración (ddf), muestran las mejores condiciones para el beneficio, con un mayor contenido de café pergamino y menor proporción de defectos, esto se debe a la presencia de mucílago, el cual actúa como lubricante, disminuyendo la fuerza requerida para el despulpado así como los daños en la almendra.

Características del café pergamino seco. Una característica importante en la calificación del café pergamino es el factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (c.c./c.p.s.). Entre los estados de maduración observados, solo los frutos maduros y sobremaduros presentaron buenas conversiones, entre 5,04 y 5,25:1 (kilogramos de café cereza necesarios para obtener un kilogramo de café pergamino seco).

En general, a medida que transcurre el proceso de maduración, el café pergamino muestra un mayor porcentaje de granos con pergamino y menor porcentaje de almendras peladas, defectos e impurezas. Estas características se encuentran entre los estados pintón y sobremaduro con porcentajes de café pergamino entre 76,99 y 94,59%.

En general, la caracterización del pergamino obtenido de frutos con diferente desarrollo es una herramienta útil para detectar el origen de los defectos que se observan

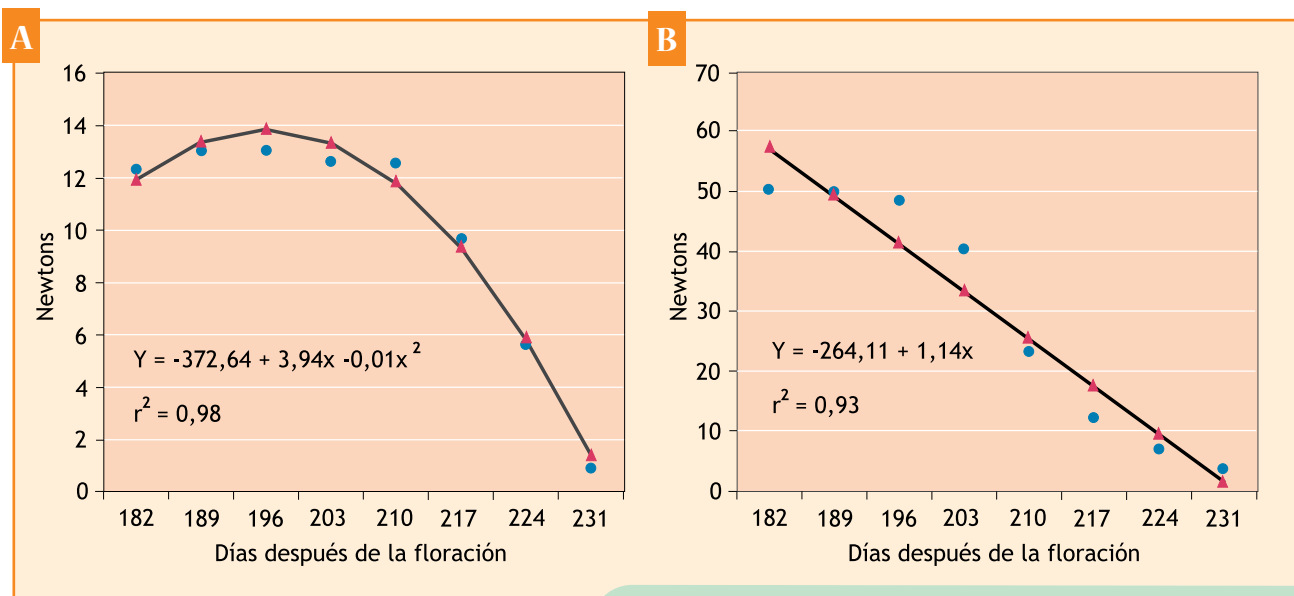


Figura 2.29. Comportamiento de la fuerza de tracción (A) y la firmeza ecuatorial (B), de acuerdo con los días transcurridos después de la floración (Marín *et al.*, 2003).

en la etapa de comercialización y actuar correctivamente para disminuirlos, y de esta forma contribuir al mejoramiento de los ingresos del caficultor.

Características de la almendra. La sanidad, el tamaño, el peso y la apariencia, son características básicas en la clasificación de la almendra para determinar su disposición final en el mercado. El rendimiento en trilla es de importancia, debido a que con este criterio se determina el rendimiento real del café, basados en la calidad del grano mediante la relación de la pérdida de peso de 250 gramos de café pergamino seco durante el proceso de trilla. El rango permitido de rendimiento en trilla debe ser menor o igual a 100 kg de café pergamino seco, para obtener un saco de 70 kg de café almendra o excelso, con una merma de impurezas y cisco de 18,2 kg y 4 kg de subproductos y pasilla (Federación Nacional de Cafeteros, 2000). Este valor de trilla y porcentaje de merma, se obtuvo en los frutos pintones (210 ddf) y maduros (217 ddf), con rendimientos de 100,25 y 92,5 kg de café pergamino seco.

En este estudio se observó un alto porcentaje de daño de almendra por broca, lo que afecta la determinación del rendimiento, pero cuando a este valor se le aísla el defecto de broca y se ajusta el factor de trilla, los rendimientos pueden llegar a 93,11 kg para pintón, 90,14 kg para maduro y 89,99 kg para sobremaduro. En general, el defecto por ataque de insectos es una variable que se puede manejar en el campo, y de esta manera mejorar el rendimiento en trilla.

Los frutos verdes (verde 1, verde 2, verde 3, verde amarillo) y secos, presentaron los mayores valores de rendimiento en trilla, desde 120,17 hasta 178,83 kg, lo que hace evidente que no son estados económicamente viables, debido a que se necesitan entre 27,37 y 86,03 kg más de café pergamino seco para obtener un saco de almendra. De igual forma, se hace necesario realizar una selección minuciosa de las almendras, por el alto porcentaje de defectos presentado en cada uno de estos estados.

Calidad de la bebida. Según la escala de calificación propuesta por Puerta (2000), la interpretación de la calidad sensorial, muestra tazas con defectos marcados en los estados verde 1, verde 2, verde 3, verde amarillo y seco. La bebida obtenida de los frutos entre los 182 y los 203 días después de la floración, presentó como defecto común el reposo, debido a la alta proporción de almendras con daños físicos ocasionados en el beneficio.

La taza proveniente de frutos secos, presenta defectos marcados de metal y reposo, originados tanto en el beneficio, debido a que estos frutos sufren un proceso de

trilla, como al alto porcentaje de almendras perforadas por insectos, lo cual demerita la calidad de la bebida. Solamente las tazas obtenidas con café en los estados de pintón, maduro y sobremaduro, presentaron buena calidad de la bebida.

Escala de maduración (Marín *et al.*, 2003). En la caracterización de la maduración del fruto del café se determinaron 8 estados de maduración (Tabla 2.4), encontrando 4 tipos de cerezas con tonalidades verdes, las cuales se diferencian por poseer un pobre beneficio, bajos rendimientos (conversión cc/cps y trilla) y baja calidad de la bebida. Estos frutos se observan entre los 182 y 203 días después de la floración (ddf).

A partir de los 210 ddf aproximadamente, se encuentran frutos en estado pintón. Estas cerezas poseen aceptables condiciones de beneficio y características de café pergamino y de trilla. La calidad de café obtenida de este tipo de frutos es de buena calidad.

Entre los 217 y 224 ddf, se encuentran los frutos maduros y sobremaduros, los cuales muestran condiciones óptimas de beneficio, café pergamino y trilla para cerezas maduras; mientras que el rendimiento en trilla en los frutos sobremaduros se ve afectado por la alta incidencia de broca. Estos dos estados presentan buena calidad de la bebida.





Los frutos secos se observan a los 231 ddf. Durante el beneficio de estos frutos se encuentran defectos como almendra pelada y abrasiones en los granos, y los rendimientos son bajos, debido a la presencia de defectos. La calidad de la bebida de estos frutos es deficiente.

En las Tablas 2.4 y 2.5, se presenta la caracterización de color, química, física, de rendimientos y calidad de la bebida, del fruto del café en diferentes estados de maduración a través del tiempo.

Acelerantes de la maduración en café

El Ethephon (ácido 2-cloroetil fosfónico) ha sido utilizado en varios países para acelerar la maduración de los frutos de café. En investigaciones realizadas en Cenicafe (Arcila, 1975; Upegui y Valencia, 1972), se ha encontrado que aunque es posible anticipar la maduración de los frutos hasta 4 semanas, con aplicaciones de este producto, también se afecta la calidad física del grano (defecto inmaduro) y la calidad de la bebida debido a la disminución de la acidez. Este resultado se explica por la desuniformidad en el desarrollo de los frutos, en las condiciones de la zona cafetera colombiana.

Tabla 2.4. Caracterización de los estados de maduración del fruto de café (*Coffea arabica*) desde los 182 hasta los 231 días después de la floración (Marín et al., 2003).

Estado	Edad y color del fruto	Variables físicas promedio para el fruto		Variables de peso y humedad promedio para el fruto			Variables químicas (Promedio)	
 VERDE 1	182 días después de la floración (ddf). Color verde oscuro. Pantone (Process Color Guide)* C(35) M(0) Y(100) K(40)	Diámetro característico(cm)	11,54 +/-0,14	Peso fresco (g)	1,33 +/-0,03	Acidez titulable	9,4	+/-0,70
		Fuerza de tracción (N)	12,31 +/-0,54	Peso seco (g)	0,45 +/-0,03	Sólidos solubles totales	2,69	+/-0,27
		Firmeza ecuatorial (N)	50,33 +/-0,79	Relación peso fresco/seco	2,98 +/-0,16	pH	5,17	+/-0,06
		Firmeza polar (N)	49,48 +/-0,74	Humedad (%)	66,43 +/-4,72	Clorofilas totales (µg/g)	16,02	+/-1,52
 VERDE 2	189 ddf. Color verde oscuro. Tamaño mayor al estado verde 1 Pantone C(35) M(0) Y(100) K(20)	Diámetro característico(cm)	13,21 +/-0,11	Peso fresco (g)	1,33 +/-0,07	Acidez titulable	6,0	+/-0,30
		Fuerza de tracción (N)	13,07 +/-0,43	Peso seco (g)	0,45 +/-0,03	Sólidos solubles totales	3,22	+/-0,20
		Firmeza ecuatorial (N)	49,89 +/-2,64	Relación peso fresco/seco	2,98 +/-0,20	pH	5,18	+/-0,02
		Firmeza polar (N)	48,18 +/-0,52	Humedad (%)	66,36 +/-2,31	Clorofilas totales (µg/g)	12,99	+/-0,85
 VERDE 3	196 ddf. Coloración verde oscura brillante. Pantone C(40) M(20) Y(100) K(15)	Diámetro característico(cm)	13,92 +/-0,14	Peso fresco (g)	1,74 +/-0,07	Acidez titulable	5,7	+/-0,27
		Fuerza de tracción (N)	13,08 +/-0,42	Peso seco (g)	0,53 +/-0,04	Sólidos solubles totales	7,12	+/-0,59
		Firmeza ecuatorial (N)	48,56 +/-0,65	Relación peso fresco/seco	3,24 +/-0,11	pH	5,22	+/-0,01
		Firmeza polar (N)	48,16 +/-0,51	Humedad (%)	69,40 +/-1,01	Clorofilas totales (µg/g)	16,74	+/-1,27
 VERDE AMARILLO	203 ddf. Cerezas con color amarillento. Pantone C(20) M(0) Y(100) K(40)	Diámetro característico(cm)	13,85 +/-0,14	Peso fresco (g)	1,62 +/-0,09	Acidez titulable	5,1	+/-0,42
		Fuerza de tracción (N)	12,62 +/-0,49	Peso seco (g)	0,50 +/-0,03	Sólidos solubles totales	8,63	+/-0,42
		Firmeza ecuatorial (N)	40,36 +/-1,17	Relación peso fresco/seco	3,26 +/-0,04	pH	5,20	+/-0,05
		Firmeza polar (N)	41,13 +/-1,23	Humedad (%)	69,35 +/-0,40	Clorofilas totales (µg/g)	7,96	+/-0,85

Continúa...

...Continuación















Estado	Edad y color del fruto	Variables físicas promedio para el fruto			Variables de peso y humedad promedio para el fruto			Variables químicas (Promedio)		
		Dímetro característico(cm)	13,38	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,75	+/-0,07	Acidez titulable	6,7	+/-0,87
 <p>PINTÓN</p>	210 ddf. Coloreado predominante. Pantone C(20) M(0) Y(100) K(40) C(10) M(75) Y(80) K(0)	Fuerza de tracción (N)	12,56	+/-0,40	Peso seco (g)	0,52	+/-0,12	Sólidos solubles totales	12,03	+/-0,27
		Firmeza ecuatorial (N)	23,32	+/-0,45	Relación peso fresco/seco	3,47	+/-0,69	pH	5,04	+/-0,11
		Firmeza polar (N)	23,63	+/-0,69	Humedad (%)	70,59	+/-3,74	Carotenoides (µg/g)	3,91	+/-0,07
								Antocianinas (µg/g)	1,52	+/-0,04-
 <p>MADURO</p>	217 ddf. Rojo brillante a rojo opaco. Pantone C(10) M(100) Y(90) K(10) C(10) M(80) Y(70) K(15)	Dímetro característico(cm)	14,22	+/-0,11	Peso fresco (g)	1,99	+/-0,06	Acidez titulable	11,4	+/-0,60
		Fuerza de tracción (N)	9,66	+/-0,26	Peso seco (g)	0,60	+/-0,02	Sólidos solubles totales	17,53	+/-2,34
		Firmeza ecuatorial (N)	12,37	+/-0,45	Relación peso fresco/seco	3,30	+/-0,08	pH	4,95	+/-0,07
		Firmeza polar (N)	12,17	+/-0,45	Humedad (%)	69,70	+/-0,76	Carotenoides (µg/g)	2,22	+/-1,11
 <p>SOBREMADURO</p>	224 ddf. Morado brillante a morado oscuro opaco. Pantone C(10) M(100) Y(50) K(30) C(0) M(35) Y(0) K(100)	Dímetro característico(cm)	14,09	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,88	+/-0,06	Acidez titulable	21,5	+/-1,14
		Fuerza de tracción (N)	5,63	+/-0,30	Peso seco (g)	0,63	+/-0,03	Sólidos solubles totales	23,83	+/-0,92
		Firmeza ecuatorial (N)	6,93	+/-0,35	Relación peso fresco/seco	3,00	+/-0,14	pH	4,76	+/-0,08
		Firmeza polar (N)	8,78	+/-0,42	Humedad (%)	66,59	+/-1,53	Carotenoides (µg/g)	3,12	+/-0,16
 <p>SECO</p>	231 ddf. Color café oscuro, cereza arrugada a seca. Pantone C(0) M(0) Y(35) K(100) C(0) M(0) Y(25) K(80)	Dímetro característico(cm)	10,57	+/-0,11	Peso fresco (g)	0,66	+/-0,13	Acidez titulable	38,9	+/-4,13
		Fuerza de tracción (N)	0,89	+/-0,13	Peso seco (g)	0,45	+/-0,05	Sólidos solubles totales	20,05	+/-2,94
		Firmeza ecuatorial (N)	3,49	+/-0,58	Relación peso fresco/seco	1,45	+/-0,14	pH	4,56	+/-0,08
		Firmeza polar (N)	5,05	+/-0,77	Humedad (%)	29,90	+/-6,61	Carotenoides (µg/g)		
						Antocianinas (µg/g)				

Tabla 2.5. Escala de maduración del café variedad Colombia, para el beneficio, rendimiento y calidad de la bebida.

Estado	Características del beneficio (promedio)				Características del café pergamino (promedio).				Características de la almendra (promedio).				Granulometría (promedio)		Calidad de bebida* (promedio)						
	Pergamino	Almendra pelada	Defectos	Broca	Relación cc/cps	Pergamino seco	Almendra pelada	Defectos	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	
 VERDE 1	17,78%	+/-1,44	43%	173,4	43%	+/-12,29	175,8	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	3,92 +/-0,65	
	0,80 %	+/-21,53	40,00%	9,33%	Pergamino seco	+/-12,29	11,47	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	4,17 +/-0,56	
	17,30%	+/-15,35	31,97%	45,32%	Almendra pelada	+/-3,98	29,23%	Almendra sana	Almendra sana	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	2,92 +/-0,25	
	0,77%	+/-3,3	17,27%	55,03%	Defectos	+/-9,49	17,40%	Broca	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	2,92 +/-0,25	
 VERDE 2	30,56%	+/-6,62	11,47	175,8	Relación cc/cps	+/-10,27	9,98%	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	3,00 +/-0	
	44,91%	+/-8,98	41,90%	9,98%	Pergamino seco	+/-10,27	41,90%	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	3,00 +/-0	
	12,33%	+/-6,13	29,23%	44,95%	Almendra pelada	+/-8,57	29,23%	Almendra sana	Almendra sana	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	2,50 +/-0,63	
	1,26%	+/-1,43	17,40%	55,05%	Defectos	+/-2,82	17,40%	Broca	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	2,33 +/-0,63	
 VERDE 3	3,51%	+/-1,77	0,70%	98,41%	Broca	+/-0,89	0,70%	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	2,33 +/-0,63	
	7,98%	+/-3,90	7,20%	1,59%	Guayaba	+/-3,86	7,20%	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	2,33 +/-0,63	
			2,80%		Impurezas	+/-0,25	2,80%	Impurezas	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	3,00 +/-0,63
			25,34	178,7	Relación cc/cps	+/-11,98	25,34	Merma	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	3,00 +/-0,42
 VERDE 4	28,49%	+/-9,53	49,17%	42,33%	Almendra pelada	+/-13,48	49,17%	Almendra sana	Almendra sana	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	3,00 +/-0,55	
	0,91%	+/-1,2	20,33%	57,67%	Defectos	+/-6,34	20,33%	Almendra con defectos	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	3,00 +/-0,55
	5,34 %	+/-5,95	0,43%	99,09%	Broca	+/-1,28	0,43%	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	3,00 +/-0,55
	5,86%	+/-0,93	4,60%	0,91%	Guayaba	+/-1,74	4,60%	Guayaba	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	3,00 +/-0,55
 VERDE 5	43,51%	+/-11,88	9,87	120,1	Relación cc/cps	+/-12,31	9,87	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	3,00 +/-0,83	
	27,66%	+/-3,95	48,86%	8,94%	Pergamino seco	+/-12,31	48,86%	Merma	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	3,00 +/-0,51
	16,03%	+/-7,34	27,85%	64,48%	Almendra pelada	+/-9,98	27,85%	Almendra sana	Almendra sana	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	2,92 +/-0,61
	1,93%	+/-1,19	15,68%	35,52%	Defectos	+/-4,20	15,68%	Almendra con defectos	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	2,92 +/-0,55
 VERDE 6	4,92%	+/-4,89	0,48%	99,74%	Broca	+/-0,45	0,48%	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	2,92 +/-0,59	
	6,11%	+/-1,92	4,49%	0,26%	Guayaba	+/-1,67	4,49%	Guayaba	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	2,92 +/-0,59
			2,73%	0,26%	Impurezas	+/-1,33	2,73%	Impurezas	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	2,92 +/-0,59
			6,27	100,2	Relación cc/cps	+/-6,90	6,27	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	6,58 +/-0,99
 PINTÓN	74,55%	+/-8,65	76,99%	16,28%	Pergamino seco	+/-6,90	76,99%	Rendimiento en trilla	Merma	Almendra sana	Almendra con defectos	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	7,00 +/-0,54	
	7,62%	+/-4,22	8,47%	83,78%	Almendra pelada	+/-4,40	8,47%	Almendra sana	Almendra sana	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	6,50 +/-1,06
	6,83%	+/-5,60	8,95%	16,22%	Defectos	+/-1,84	8,95%	Almendra con defectos	Almendra con defectos	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	7,00 +/-0,69
	2,58 %	+/-2,84	1,91%	99,50%	Broca	+/-1,68	1,91%	Almendra sobre Malta 14	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	7,00 +/-0,87
	+/-2,06	2,14%	0,87%	Guayaba	+/-1,38	2,14%	Guayaba	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	7,00 +/-0,87	
		1,65%		Impurezas	+/-0,41	1,65%	Impurezas	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Almendra sobre Malta 12	Malta 12	Malta 14	Malta 15	Malta 16	Intensidad del aroma	Aroma de la bebida	Acidez	Amargo	Cuerpo	7,00 +/-0,87	

Continúa...

...Continuación

Estado	Características del beneficio (promedio)		Características del café pergamino (promedio)		Características de la almendra		Granulometría (promedio)	Calidad de bebida* (promedio)	
 MADURO	Pergamino	90,94%	+/-5,08	Relación cc/cps	5,04	Rendimiento en trilla	Malla 12	Intensidad del aroma	6,92
	Almendra pelada	0,22%	+/-0,36	Pergamino seco	94,59%	Merma	Malla 14	Aroma de la bebida	6,83
	Defectos	1,15%	+/-0,56	Almendra pelada	1,21%	Almendra sana	Malla 15	Acidez	7,25
	Broca	7,67%	+/-4,19	Defectos	1,16%	Almendra con defectos	Malla 16	Amargo	7,42
	Pulpa	0,27%	+/-0,39	Broca	2,82%	Almendra sobre Malla 14	Malla 17	Cuerpo	7,17
	Café sin despulpar	0,00%	+/-0-	Guayaba	0,28%	Almendra sobre Malla 12		Impresión global	7,17
 SOBREMADURO	Pergamino	84,35%	+/-5,39	Impurezas	0,30%	Rendimiento en trilla	Malla 12	Intensidad del aroma	6,75
	Almendra pelada	0,73%	+/-0,36	Relación cc/cps	5,25	Merma	Malla 14	Aroma de la bebida	7,00
	Defectos	0,75%	+/-0,40	Pergamino seco	88,64%	Almendra sana	Malla 15	Acidez	7,00
	Broca	13,81%	+/-5,32	Almendra pelada	1,25%	Almendra con defectos	Malla 16	Amargo	7,00
	Pulpa	0,65%	+/-0,39	Defectos	1,86%	Almendra sobre Malla 14	Malla 17	Cuerpo	6,92
	Café sin despulpar	0,08%	+/-0,21	Guayaba	1,45%	Almendra sobre Malla 12		Impresión global	6,92
 SECO	Pergamino	6,27%	+/-2,98	Impurezas	0,61%	Rendimiento en trilla	Malla 12	Intensidad del aroma	5,83
	Almendra pelada	56,06%	+/-8,53	Relación cc/cps	68,41	Merma	Malla 14	Aroma de la bebida	5,33
	Defectos	3,91%	+/-0,49	Pergamino seco	4,76%	Almendra sana	Malla 15	Acidez	2,92
	Broca	30,80%	+/-9,38	Almendra pelada	47,30%	Almendra con defectos	Malla 16	Amargo	2,83
	Pulpa	2,12%	+/-0,69	Defectos	9,45%	Almendra sobre Malla 14	Malla 17	Cuerpo	2,83
	Café sin despulpar	1,44%	+/-2,07	Guayaba	35,97%	Almendra sobre Malla 12		Impresión global	2,83

Fase de senescencia del cafeto

Como se anotó, el cafeto es una planta perenne y se considera que a plena exposición solar alcanza su crecimiento y productividad máxima entre los 6 y 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora

paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad.

El ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la luminosidad, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades, o del estrés ambiental, entre otros.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Cuando los brotes han completado su máximo desarrollo, la planta tiene un aspecto vigoroso con una tonalidad verde oscuro intenso y las hojas tienen en promedio un área de 30 cm². Mientras que cuando las hojas envejecen las tonalidades cambian de verde intenso a amarillo con manchas rojas y se caen especialmente en la época de cosecha. Un estrés hídrico prolongado acelera el envejecimiento de las hojas y como respuesta de la planta al final de éste, se observa un amarillamiento acelerado y la pérdida de gran cantidad de hojas; no obstante, la planta se recupera rápidamente al rehidratarse.

A medida que la planta envejece, el follaje se torna de un color verde pálido y ocurre una defoliación en las ramas de la parte baja de la planta. Después de tres o cuatro cosechas la zona de producción del árbol se mueve hacia la parte media y superior en el tallo principal y hacia la parte exterior de las ramas; así mismo, las hojas son de menor tamaño que el normal y se observa una fuerte defoliación en la parte inferior y al interior de la planta. También, se produce la muerte de algunas ramas en la base de la planta. Este proceso es más acentuado en cafetos descopados.

Cuando la zona de producción se limita a unas pocas ramas en la parte apical del tallo y a unos pocos nudos hacia el ápice de las ramas, y se observa una defoliación severa, es indicio de que el cafeto ha alcanzado un alto grado de senescencia y baja productividad, por lo cual es necesario renovar la plantación.

El envejecimiento de la planta puede acelerarse cuando se presentan situaciones especiales de desequilibrio entre el desarrollo de la parte aérea y la zona radical, o cuando la cosecha es alta y la planta no tiene suficientes nutrimentos orgánicos y minerales para sustentarla. Un excesivo desarrollo foliar debido al exceso de fertilizante nitrogenado, a la eliminación inoportuna de los brotes ortotrópicos (chupones) o a densidades de siembra por encima de las recomendadas, causan insuficiente penetración de luz al interior de la planta y reducen su período de vida útil.

Un caso especial de envejecimiento prematuro del cafeto es el denominado “paloteo” y ocurre cuando la planta se siembra en sitios con limitaciones de suelo o clima, por ejemplo en suelos pesados que limitan el desarrollo radical o como es el caso de las zonas propensas a sequías prolongadas, o zonas muy calientes y excesivamente húmedas. El paloteo también puede presentarse debido a la mala nutrición del cafeto, al control tardío de arvenses o al ataque grave de enfermedades que causan defoliación severa.

Escala para la descripción de las fases fenológicas durante el crecimiento y desarrollo de la planta de café (*Coffea* sp.)

El conocimiento de la fenología de los cultivos es importante para la planeación de las épocas oportunas para la realización de ciertas prácticas culturales como la aplicación de fertilizantes y, el control de plagas, enfermedades y arvenses, entre otras.

Existen varias descripciones de las etapas de crecimiento del árbol de café (Arcila *et al.*, 1993; Arcila,

1990; Camargo, 1985; Cannell, 1985; Fournier y Herrera, 1983; De Reffye *et al.*, 1989; Snoeck, 1991; Trojer, 1968; Zimbabwe Coffee Growers Association, 1987), pero como es el caso para la mayoría de las plantas cultivadas, no existe un criterio unificado para describir su fenología. La mayoría de estas descripciones se refieren a un estado particular del crecimiento y no se ha realizado ningún esfuerzo para establecer una descripción uniforme del crecimiento del cafeto, para su uso generalizado.

Desde la propuesta de Zadocks *et al.* (1974) de un código decimal para la descripción de las etapas de crecimiento de cereales, ha habido un interés creciente por extender estos principios generales para la descripción a otros cultivos incluyendo: monocotiledóneas, dicotiledóneas, gramíneas y especies perennes), (Bleiholder *et al.*, 1991; Lancashire *et al.*, 1991).

Con base en la descripción de Zadocks, en los últimos años, Bleiholder *et al.* (1991), Lancashire *et al.* (1991) y Hack *et al.* (1992), propusieron un código decimal uniforme para la descripción de los estados de desarrollo de los cultivos, conocido como la “escala BBCH”. Una escala más avanzada, la “escala BBCH ampliada” fue propuesta por Hack *et al.* (1992) y Hess *et al.* (1997). De acuerdo con esta escala universal, con base en criterios fenológicos y mediante un conjunto de códigos numéricos consistentes, es posible establecer una única codificación uniforme para describir los estados de crecimiento del mayor número de especies de plantas.

En la “escala BBCH ampliada”, de Arcila *et al.* (2006), se identifican los estados principales del crecimiento y desarrollo del café y sus correspondientes estados secundarios, mediante un código decimal compuesto por dos dígitos, de 0 a 9. Los estados principales se identifican mediante el primer dígito y los secundarios mediante el segundo.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de la “escala BBCH ampliada” y su código decimal para la descripción de las etapas del crecimiento y desarrollo de la planta de café.

Estados principales del crecimiento

La escala BBCH ampliada (Bleiholder *et al.*, 1991; Lancashire *et al.*, 1991) incluye 10 estados principales, los cuales se codifican de 0 a 9 y se inician con la germinación de la semilla o el desarrollo de brotes en las estacas o los tocones de las zocas (Estado 0). El crecimiento vegetativo se caracteriza por tres macroestados correspondientes al desarrollo foliar en el almácigo y en las ramas de plantas en el campo (Estado 1), la formación de ramas (Estado 2), y su elongación (Estado 3). El desarrollo de órganos vegetativos cosechables (Estado 4 de la escala general) no se consideró por no ser característico del desarrollo de la planta de café. El crecimiento reproductivo representado por el desarrollo de la inflorescencia y de la flor se considera en el Estado 5 y la floración en el Estado 6. El desarrollo del fruto (Estado 7) y su maduración (Estado 8), completan el ciclo reproductivo. Los procesos de senescencia o envejecimiento de la planta se incluyen en el Estado 9 y completan la escala.

Estados secundarios del crecimiento

Las etapas secundarias de crecimiento se enumeran también de 0 a 9 y corresponden a valores ordinales o porcentajes de desarrollo. Por ejemplo, para el desarrollo de la hoja (Estado 1), al 5° par de hojas verdaderas se le asigna un valor de 5 y su código de identificación en la escala será de 15; para la elongación de la rama (Estado 3), cuando ésta presenta 20 nudos se le asigna

un valor de 2 y su código de identificación en la escala será 32; de esta misma manera, cuando un 10% de las flores están abiertas, se le asigna un valor de 1 dentro del Estado principal 6 (floración) y se definirá como 61 en la escala.

Para la maduración de los frutos, el cambio de color fue el criterio considerado y así, el estado 88 corresponde a los frutos completamente rojos o amarillos y listos para ser recolectados. El código de estado 89 significa que los frutos están sobremaduros o en proceso de deterioro.

“Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas de la planta de café *Coffea sp.* (Arcila *et al.*, 2001)

Estado principal de crecimiento 0 :

Germinación, propagación vegetativa

00 Semilla seca (11 - 12% de humedad), de color amarillento si el pergamino está presente o verde - azulado si se ha removido el pergamino y la película plateada (trillado). Estaca (ortotrópica, mononodal, 60 mm de largo, dos hojas recortadas a la mitad). Tallos de la zoca con dos nudos abultados y aún sin brote visible.

01 Se inicia la imbibición de la semilla, la almendra aparece hinchada, color blanquecino, la radícula no es visible. Estaca plantada en el medio de enraizamiento. No hay brotes ni formación de callos.

03 Se completa la imbibición de la semilla, la almendra aparece blanca y con un ligero abultamiento en el extremo donde se ubica el embrión. Comienza la formación de callo en las estacas. Yemas redondas de color verde, visibles en los tallos de las zocas.

05 La radícula brota de la semilla y aparece curvada. Brotes visibles en las estacas. Comienza la formación de brotes en los tallos de las zocas.

06 Elongación de la radícula, formación de raicillas y raíces laterales en la semilla y las estacas.

07 El hipocótilo sobresale del suelo y se observan los cotiledones todavía encerrados en el pergamino. Las estacas han formado brotes y tienen raíces ramificadas.

09 *Emergencia:* Las semillas han surgido desde el suelo y se ven los hipocótilos con los cotiledones emergiendo a través del pergamino. Las estacas muestran raíces de 6 a 7 cm de largo y brotes con 1 ó 2 nudos. Los tocones tienen retoños con los primeros pares de hojas.

Estado principal de crecimiento 1:

Desarrollo de la hoja, en el tallo de la planta de almácigo o en las ramas del árbol

10 Cotiledones completamente abiertos. Primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice del tallo o el primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice de la rama.

11 Primer par de hojas abierto pero aún no alcanzan su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.

12 2 pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.

13 3 pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. El tercer par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro.

14 4 pares de hojas abiertas. El cuarto par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro y ha alcanzado su tamaño final.

Los estados continúan hasta ...

19 9 ó más pares de hojas abiertas visibles.

En este caso se diferenció entre el desarrollo de la hoja en las plantas de almácigo y el desarrollo de la hoja en las ramas del árbol, por esta razón, en las plantas jóvenes se cuenta cada par de hojas mientras que para el árbol se considera el conjunto de hojas nuevas.

Estado principal de crecimiento 2:

Formación de ramas (plantas en el campo)

20 Primer par de ramas primarias visibles.

21 0 pares de ramas primarias visibles.

22 20 pares de ramas primarias visibles.

23 30 pares de ramas primarias visibles.

Los estados continúan hasta ...

29 90 ó más pares de ramas primarias visibles.

Estado principal de crecimiento 3:

Elongación de las ramas

31 10 nudos presentes en la (s) rama(s).

32 20 nudos presentes en la(s) rama(s). Los estados continúan hasta ...

39 90 ó más nudos presentes en la(s) rama(s).

Estado principal de crecimiento 5 :

Desarrollo de la inflorescencia

51 Las yemas de las inflorescencias se observan como hinchamientos en las axilas foliares.

53 Las yemas de las inflorescencias se hacen visibles por encima de las estípulas y están cubiertas por un mucílago de color castaño; no se observan botones florales.

57 Flores visibles, con sus corolas pegadas entre sí, emergen en inflorescencias multiflorales (3 a 4 flores por inflorescencia).

58 Flores visibles, separadas entre sí, todavía cerradas; pétalos 4 a 6 mm de longitud y de color verde (estado de latencia).

59 Flores con pétalos alargados (6 a 10 mm de longitud), todavía cerrados y blancos.

En este caso se manejan dos aspectos: 1) Desarrollo de la inflorescencia en las axilas foliares (nudos en las ramas), y 2) Desarrollo de la flor en cada inflorescencia.

Estado principal de crecimiento 6:

Floración

60 Primeras flores abiertas.

61 10% de las flores están abiertas.

63 30% de las flores están abiertas.

65 50% de las flores están abiertas.

67 70% de las flores están abiertas.

69 90% de las flores están abiertas.

Estado principal de crecimiento 7:

Desarrollo del fruto y de la semilla

70 Frutos visibles como pequeñas cerezas amarillentas.

71 Cuajamiento del fruto: Iniciación del crecimiento de la cereza. Los frutos han alcanzado el 10% de su tamaño final (cabeza de alfiler).

73 Frutos de color verde claro y su contenido es líquido y cristalino. Los frutos han alcanzado el 30% de su tamaño final (fase de crecimiento rápido).

75 Frutos de color verde claro y su contenido es líquido y cristalino. Los frutos han alcanzado el 50% de su tamaño final.

77 Frutos de color verde oscuro y su contenido es sólido y blanco. Los frutos han alcanzado el 70% de su tamaño final.

79 Frutos de color verde oliva y su contenido es sólido y blanco. Los frutos han alcanzado el 90% de su tamaño final (madurez fisiológica).

Estado principal de crecimiento 8 :

Maduración del fruto y de la semilla

81 Se inicia el cambio de color del fruto de verde oliva a rojo o amarillo.

85 Incremento en la intensidad del color rojo o amarillo del fruto (específico de la variedad); fruto todavía no apto para recolectar.

88 Fruto está completamente maduro y listo para cosecha.

89 Sobremaduro; comienzan a ennegrecerse o secarse los frutos. Estos permanecen en el árbol y se inicia la abscisión.

Estado principal de crecimiento 9:

Senescencia

90 Los brotes han alcanzado su desarrollo completo; la planta tiene un color verde intenso; las hojas son del tamaño normal para el cultivar y la cosecha se ubica en la parte baja de la planta.

93 Las hojas más viejas cambian de color verde oscuro a un color amarillo con manchas rojas y hay defoliación principalmente en la época de cosecha.

94 El follaje se torna a un color verde oliva. Se observa defoliación en la parte basal del tallo y de las ramas inferiores.

97 La zona de producción se ha trasladado hacia la parte más superior del tallo y hacia los extremos apicales de las ramas. Las hojas son de menor tamaño que para el normal del cultivar; se observa defoliación fuerte en la parte basal y al interior de la planta, algunas ramas de la base de la planta aparecen muertas.

98 La zona de producción se limita a unas pocas ramas de la parte superior de la planta y a algunos nudos de la parte apical de éstas. La planta está altamente defoliada. Se ha alcanzado un alto grado de envejecimiento. El 90% o más de la cosecha se ha completado.

99 Tratamientos de postcosecha o almacenamiento.

Factores que determinan la productividad del cafetal

Jaime arcila Pulgarín.



La productividad agrícola

Producción vegetal y niveles de productividad

El potencial de producción de materia seca está determinado por la genética de la planta o variedad y por su interacción con el ambiente (suelo y clima), así como por las prácticas de cultivo.

La producción es la parte de la planta utilizable y se mide como la cantidad de grano o de materia seca. Cuando esta producción se relaciona con los recursos utilizados para su obtención se utiliza el concepto de productividad.

Existen diferentes niveles de productividad agrícola, de acuerdo a la cantidad de factores limitativos que se encuentren en el proceso (Figura 3.1). Cuando las condiciones son ideales, se obtiene la máxima producción posible o producción potencial, que correspondería a la producción obtenida con el mejor nivel de tecnología y material biológico disponible, bajo un manejo ideal y en un ambiente físico óptimo para la interacción de los factores determinantes de la producción. Sin embargo, en la práctica existe una

serie de factores limitativos como por ejemplo, la disponibilidad de agua y de nutrientes, que impiden alcanzar la producción potencial y sólo permiten la obtención de una producción alcanzable de acuerdo a la proporción de elementos disponibles para el cultivo.

Así mismo, existen otros factores que actúan como reductores, entre ellos se encuentran las arvenses, las plagas y las enfermedades, entre otros, que en situaciones específicas sólo permiten alcanzar una producción actual determinada por la eficacia de las medidas de protección que aplique el agricultor.

El concepto del factor limitante o Ley del mínimo Justus Von Liebig (1862) definió que la producción de la planta se reduce cuando el nivel óptimo de uno de los factores que incide en su crecimiento se encuentra en menor cantidad, con respecto a la cantidad adecuada para ese factor. No obstante, también puede ocurrir un desbalance en el crecimiento o la producción de la planta debido al incremento de un factor no limitante.

De acuerdo con la Tabla 3.1, existen más de 50 factores que afectan el crecimiento del cultivo y el potencial de producción. Aunque el productor no puede controlar el efecto de los factores climáticos, la mayoría de aquellos asociados al suelo y al cultivo pueden y deben

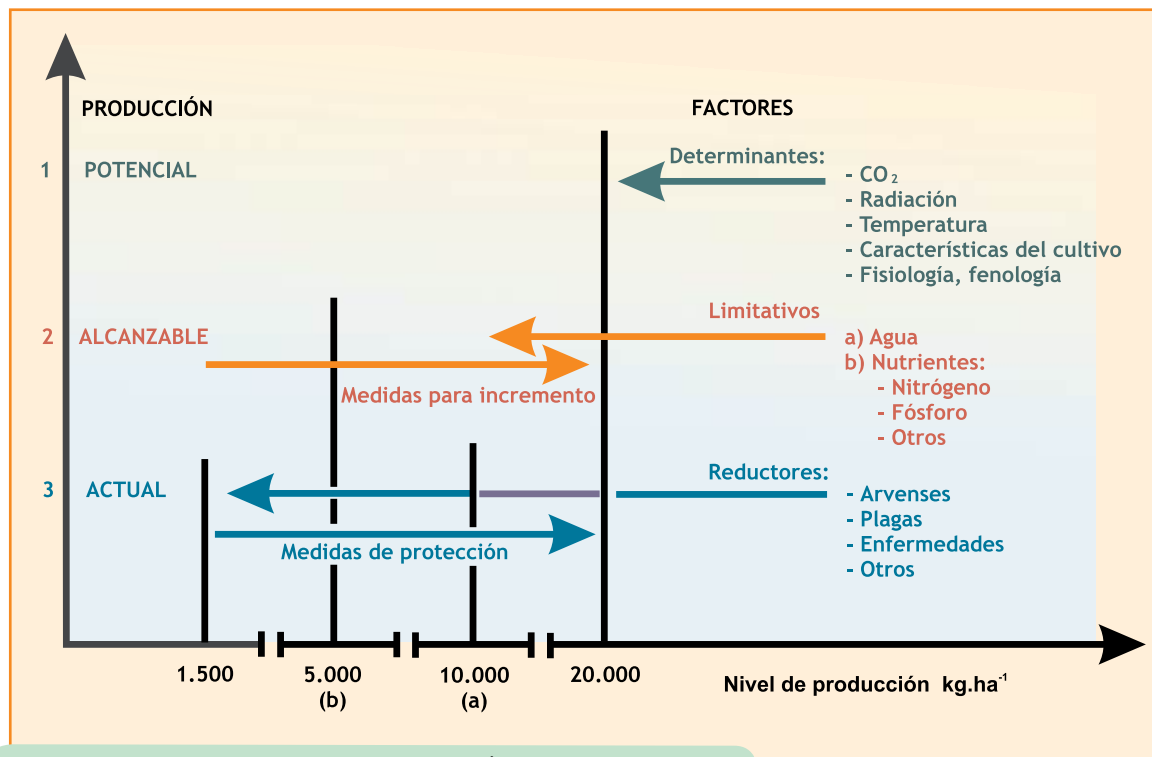


Figura 3.1. Factores que inciden en la producción vegetal y niveles de productividad alcanzados de acuerdo con las prácticas de cultivo.

Tabla 3.1. Factores que afectan el potencial de producción de un cultivo (Havlin *et al.*,1999).

Factores climáticos y geográficos	Factores del suelo	Factores del cultivo
Precipitación (cantidad y distribución) Temperatura del aire Humedad relativa Luz (cantidad, intensidad y duración) Viento (velocidad, distribución) Concentración de CO ₂ Altitud Latitud	Contenido de materia orgánica Textura Estructura Capacidad de intercambio catiónico (CIC) Saturación de bases Pendiente y topografía Temperatura del suelo Factores de manejo del suelo (arado, drenaje, otros) Profundidad efectiva Fertilidad del suelo	Especie y variedad Calidad de la semilla Fecha de siembra Densidad de siembra y su geometría Evapotranspiración Disponibilidad hídrica Nutrición Plagas y enfermedades Eficiencia de cosecha

ser manejados para alcanzar máximas productividades. Dos de los factores que más influyen sobre la producción potencial de las plantas son: 1) la cantidad de agua disponible durante el ciclo de desarrollo y 2) la duración de dicho ciclo.

Para altas producciones, los factores controlables y no controlables deben operar en armonía, ya que muchos se relacionan entre sí; por ejemplo, la interacción de aquellos que influyen en la producción potencial puede incrementar o disminuir el crecimiento de la planta o la producción.

El desafío de un productor o asesor técnico es identificar en forma precisa todos los factores limitantes y eliminar o minimizar la influencia de aquellos que pueden manejarse.

En general, todos los agricultores exitosos usan el principio de la Ley del Mínimo, consciente o inconscientemente. Por ejemplo, un productor puede haber sembrado la variedad correcta en el momento

oportuno, con la densidad apropiada y haber aplicado la cantidad de fertilizante necesaria, y aún así no alcanzar la máxima producción potencial, porque el agua disponible para la planta era el factor más limitante.

Factores determinantes de la productividad del cafetal

La productividad del cafetal definida como kilogramos de café pergamino seco (kg cps) obtenidos por unidad de recurso utilizado en su producción, depende de la cantidad de efectos positivos que produzcan en la planta diferentes factores ambientales y las prácticas de manejo.

Como se observa en la Figura 3.2, la productividad del cafetal comienza a determinarse por la calidad del sitio donde se siembre el cafetal (condiciones de suelo y clima), y de acuerdo al grado de adaptación,



Figura 3.2. Factores y prácticas determinantes de la productividad del cafetal.

potencialidad y estabilidad productiva de la variedad utilizada (variedades de porte alto o porte bajo).

Así mismo, la densidad de siembra (número de plantas/ha) y la edad de la plantación (renovación oportuna) son factores que inciden directamente en la productividad (Duque y Bustamante, 2002) (Figura 3.2).

La eficiencia del proceso productivo se verá favorecida también por la oportunidad y pertinencia de las prácticas de administración relacionadas con el control de arvenses, plagas y enfermedades, y el suministro de los nutrimentos esenciales necesarios. Finalmente, las buenas prácticas de cosecha y beneficio complementan el proceso y la obtención de la calidad óptima del producto para el consumidor.

La interacción de este conjunto de factores y opciones tecnológicas constituye lo que denominamos sistema de producción. Por consiguiente, existe una amplia gama de sistemas de producción de café: intensivo, extensivo, de subsistencia, campesino, empresarial, a plena exposición solar, sistemas agroforestales y orgánicos, entre otros. El conjunto de prácticas que se establecen en los cafetales con la finalidad de mantener a través del tiempo una producción estable y por un tiempo indefinido, se constituyen en la administración del cafetal.

Factores climáticos que intervienen en la productividad del cafetal

Cada región posee características climáticas que conducen a un comportamiento específico de la planta y determinan su productividad de acuerdo a la oferta (Jaramillo, 2005).

De los factores ambientales, la disponibilidad de energía y agua juegan un papel importante en la producción, a través de su implicación en los procesos físicos y bioquímicos necesarios para el crecimiento y el desarrollo de la planta (Ritchie, 1991) (Figura 3.3).

Disponibilidad de energía. La energía solar es importante para la vida vegetal por sus efectos térmicos y por su papel en el proceso fotosintético, en el cual parte es usada en la síntesis de compuestos de alta energía y compuestos carbonados. Además, por sus efectos morfogénicos, ya que la cantidad, la intensidad y la distribución espectral de la radiación de onda corta juega un papel importante en la regulación del crecimiento y el desarrollo, y también, porque la radiación de longitud de onda muy corta y altamente energética puede tener efectos nocivos sobre la estructura del material genético, causando mutaciones (Taiz y Zeiger, 2002; Jones, 1989).

Radiación solar. Al límite superior de la atmósfera terrestre llega una cantidad aproximadamente constante de energía con un valor cercano a 1.370 Wm^{-2} ($1,96 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), denominado constante solar; sin embargo, la cantidad de radiación recibida en la superficie de la tierra es apenas $\frac{1}{4}$ de ese valor (aproximadamente 342 Wm^{-2}) debido a la filtración que sufre en su paso a través de la atmósfera, la cual absorbe y dispersa mucha parte de esa radiación (Jaramillo, 2005).

En una localidad y una época del año determinada, la cantidad de radiación que llega a la superficie sufre modificaciones de acuerdo con la nubosidad, la latitud, la altitud y la orientación de las laderas; de ahí que aproximadamente sólo el 45% de ésta (154 Wm^{-2}) llega hasta los 1.800 m y según la nubosidad, entre el 24 y el 50% alcanza el nivel del mar (Corley, 1983; Jones, 1989).

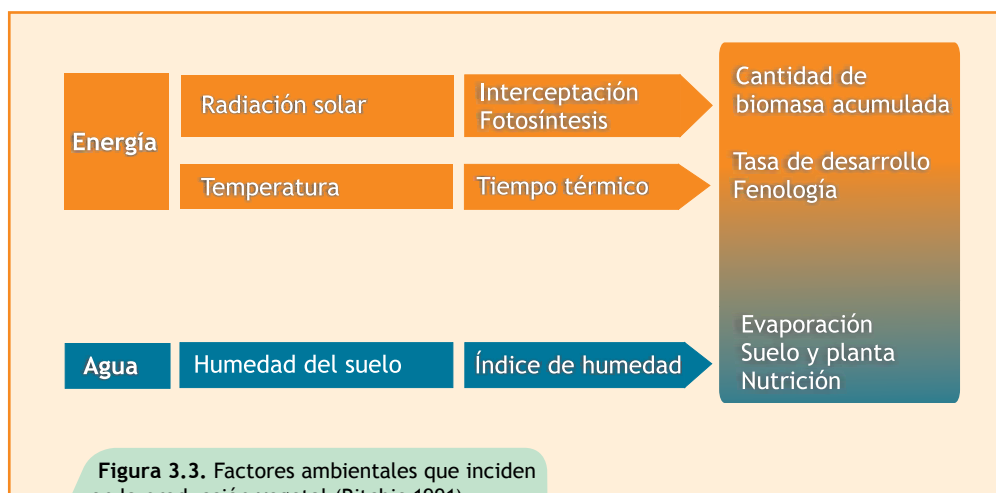


Figura 3.3. Factores ambientales que inciden en la producción vegetal (Ritchie, 1991).

Colombia se encuentra cerca de la línea ecuatorial y por tanto, recibe abundante radiación solar durante todo el año. Los valores máximos que llegan al tope de la atmósfera se presentan en marzo y septiembre, y están próximos a 432 Wm⁻². Los mínimos se observan entre diciembre y enero, y están próximos a 384 Wm⁻². Por efectos del relieve hay regiones más expuestas a los rayos del sol que otras. En regiones de montaña, por restricción del horizonte, el número efectivo de horas de brillo solar diario puede disminuir en dos o más horas (por ejemplo regiones cafeteras situadas en valles profundos) (Jaramillo, 2005).

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de la radiación observada para varias localidades de la zona cafetera colombiana, los cuales oscilan entre 170 y 220 Wm⁻², atenuándose el 50% o más, con respecto a la radiación posible (Jaramillo, 2005). Esta energía disponible constituye el primer elemento importante para la realización del potencial de producción del café en la zona cafetera colombiana.

Temperatura. Las características térmicas de varias localidades de la zona cafetera (Tabla 3.2), son afectadas

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS: El café es una planta que en su ambiente original se encontró en el sotobosque, por lo que es una planta que se adapta a la sombra. Sin embargo, en los periodos lluviosos o en las regiones de alta precipitación, la radiación es baja y puede ser limitativa para la productividad del café, por sus efectos en la planta como una mayor elongación de tallos y ramas o menor diferenciación de nudos, menor número de flores o menor actividad fotosintética.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. En temperaturas altas la planta no puede acumular suficiente materia seca por: aumento de la resistencia interna al flujo de CO₂, cierre de estomas, excesivo consumo de energía en el proceso respiratorio o baja eficiencia en el uso del agua. Además, pueden ocurrir anomalías florales, como flores estrella o secamiento de yemas, lesiones en la base del tallo o lesiones en los cloroplastos. El ciclo de desarrollo de la planta es más corto y la duración del cultivo es menor. En temperaturas bajas, el proceso de acumulación de materia seca disminuye, y por consiguiente, el crecimiento es muy lento.

Tabla 3.2. Características de la disponibilidad de energía radiante y térmica en sitios representativos de la zona cafetera colombiana (Adaptado de Jaramillo, 2005).

Depto	Estación	Latitud N	Longitud W	Altitud m	Brillo solar horas/año	Brillo solar horas/día	Radiación Astronómica Incidente Wm ⁻²	Radiación observada Wm ⁻²	RFA Wm ⁻²	Temperatura (°C) temperatura			
										Min	Med	Max	Amplitud Térmica
Nariño	Ospina Pérez	1° 15´	77° 29´	1.603	1.694	5,0	286,4	197,5	96,8	15,0	18,9	24,6	9,6
Cauca	La Florida	2° 29´	76° 34´	1.851	1.769	4,9	283,0	195,2	95,6	12,9	17,5	24,3	11,4
Huila	J. Villamil	2° 20´	75° 31´	1.420	1.314	3,6	249,7	172,2	84,4	16,1	19,4	23,8	7,7
Quindío	La Bella	4° 30´	75° 40´	1.449	1.415	3,6	249,3	171,9	84,2	15,1	19,6	26,4	11,3
Caldas	Cenicafé	5° 00´	75° 36´	1.310	1.829	5,3	292,2	201,5	98,7	16,5	20,8	27,4	10,9
Tolima	Libano	4° 55´	75° 03´	1.514	1.796	4,9	282,0	194,5	95,3	15	19	23,4	8,5
Antioquia	E. Jaramillo	5° 58´	75° 42´	1.495	2.051	5,9	307,1	211,8	103,8	15,9	19,7	23,4	8,5
N. Santander	Blonay	7° 34´	72° 37´	1.235	1.365	4,4	268,3	185,0	90,7	15,4	19,7	26	10,6
Cesar	Pueblo Bello	10° 25´	73° 34´	1.000	2.147	6,7	324,5	223,8	109,7	15,4	20,7	27,1	11,7

por la altitud y la latitud; por tanto, al aumentar la altitud la temperatura desciende, mientras que al aumentar la latitud ésta disminuye (Jaramillo, 2005).

En diferentes investigaciones se ha encontrado que la temperatura óptima para el crecimiento del café está entre 19 y 21°C, con un límite inferior de 13°C y uno superior de 32°C. Por fuera de estos límites el crecimiento es casi nulo y la productividad muy baja (López *et al.*, 1972). En general, la temperatura media es muy uniforme a través del año pero existen grandes diferencias entre la temperatura máxima y mínima diarias. En promedio, la oscilación térmica en la zona cafetera es de 9 a 10°C.

Disponibilidad de agua. En las zonas cafeteras colombianas más importantes por su producción, la precipitación alcanza valores entre 2.000 y 2.500 mm. En general ocurren en éstas, dos períodos secos y dos lluviosos en el año y los volúmenes anuales de evaporación son inferiores a 1.200 mm. No obstante, existen zonas con limitaciones de agua por una inadecuada distribución de lluvias o por la alta evaporación. Igualmente, hay limitaciones para el cultivo por exceso de lluvia, especialmente en aquellas zonas con suelos que tienen alta capacidad de retención de agua (Tabla 3.3) (Jaramillo, 1982, 2005). La disponibilidad de agua es también influenciada por

la latitud y la altitud. La región Sur (1° latitud Norte) presenta un período marcadamente seco entre junio y septiembre y una estación lluviosa entre octubre y junio. En la región central (3 a 6° latitud Norte) hay dos períodos lluviosos, de marzo a junio y septiembre a diciembre, y dos períodos menos lluviosos entre enero-febrero y julio-agosto. La región Norte (10° latitud Norte) presenta una estación seca pronunciada de diciembre a marzo y una lluviosa de mayo a noviembre. Entre los 1.300 y 1.500 m de altitud ocurren las máximas precipitaciones. Por encima de 1.500 m la precipitación tiende a disminuir y por debajo de los 1.300 m, la precipitación tiende a aumentar (Jaramillo, 2005).

Esta distribución de lluvias es en alto grado responsable de los volúmenes y la relación porcentual de las floraciones semestrales y de los patrones de distribución de la cosecha (Trojer, 1968).

Las características de los factores considerados son adecuadas para cafetales establecidos a plena exposición solar. El cultivo por fuera de estas condiciones puede ser ineficiente desde el punto de vista del proceso fotosintético y necesitará de arreglos especiales como el establecimiento de sombrío, que permitirán volúmenes de producción aceptables aunque bajos, o en otros casos, el riego, que lo harán más costoso.

Tabla 3.3 . Características de la disponibilidad de agua en sitios representativos de la zona cafetera colombiana (Jaramillo, 2005).

Depto	Estación	Precipitación (mm)													Balance hídrico			
		E	F	M	A	My	J	Jl	A	S	O	N	D	Total año	EP	ER	Exceso	Déficit
Nariño	Ospina Pérez	108	103	125	174	149	87	46	51	82	184	189	142	1.440	1.203	1.114	326	89
Cauca	La Florida	130	157	151	198	154	131	85	80	111	219	251	256	1.923	1.179	1.169	754	10
Huila	J. Villamil	69	93	120	155	141	118	90	68	76	150	133	106	1.319	1.251	1.197	122	54
Quindío	La Bella	134	164	187	268	206	112	64	85	135	294	315	221	2.185	1.248	1.221	964	27
Caldas	Naranjal	151	158	202	312	317	223	187	207	206	305	269	174	2.711	1.294	1.294	1.417	0
Tolima	Libano	104	145	204	279	262	151	115	128	204	310	260	161	2.323	1.248	1.248	1.075	0
Antioquia	El Rosario	86	96	143	273	328	239	190	231	275	326	242	142	2.571	1.237	1.233	1.338	4
N. Santander	Blonay	54	61	74	185	170	97	74	89	140	239	229	105	1.517	1.316	1.228	466	88
Cesar	Pueblo Bello	22	32	51	147	274	220	147	241	277	345	224	53	2.033	1.388	1.172	897	216

EP= Evaporación potencial; ER= Evaporación real

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. No existe el ambiente ideal para un cultivo (condiciones óptimas). Cada ambiente posee alguna limitación y la buena administración del cafetal consiste en identificar estas limitaciones para determinar su efecto sobre la eficiencia de la planta y la productividad del sistema de producción, y de esta forma establecer las prácticas adecuadas de manejo del cultivo para superarlas.

Según las características hidrológicas dentro de los cafetales, en las regiones con periodos secos muy prolongados no conviene establecer cultivos en altas densidades de siembra, tanto para el café como para el sombrío, debido a que se aumenta la cantidad de agua interceptada por la parte aérea de las plantas, disminuyendo la cantidad que llega a la superficie del suelo. El sombrío siempre se requiere en regiones secas con suelos de baja retención de humedad y bajo contenido de materia orgánica. En las regiones húmedas con brillo solar entre 1.600 y 1.800 horas al año, sin periodos secos marcados, sería más recomendable el empleo de arreglos de siembra rectangulares y distancias de siembra más amplias, en busca de mayor evaporación, por lo que no es necesario el uso del sombrío.

La disponibilidad hídrica es igualmente importante para determinar el momento oportuno para la ejecución de algunas prácticas de cultivo. Por ejemplo, las siembras y la fertilización se recomienda efectuarlas en épocas húmedas, mientras que la renovación por zoca es más conveniente en las épocas secas.

Factores edáficos que inciden en la productividad del cafetal

El crecimiento óptimo del cultivo depende también del crecimiento óptimo de la raíz. Cuando el suelo tiene buenas condiciones físicas y químicas, las raíces son largas, profundas y se expanden en el suelo, lo cual posibilita un amplio suministro de los nutrimentos y el agua requeridos por la planta (Suárez de Castro, 1953).

Características físicas y químicas de los suelos cafeteros colombianos. Los suelos de la zona cafetera colombiana son relativamente jóvenes, es decir, todavía están en proceso de desarrollo y según la naturaleza del material petrográfico del cual se derivan, han sido agrupados dentro de las siguientes clases: metamórficos, ígneos y sedimentarios, y sobre ellos existen diferentes grados y patrones de cubrimiento de cenizas volcánicas. Estos suelos son altamente variables en sus características debido a su distribución en la zona cafetera, por su ubicación sobre distintos tipos de relieve, desde plano o ligeramente ondulado hasta abrupto con valores de pendiente superiores al 75%. En estos suelos también varían las condiciones físicas (desde pedregosos y arenosos hasta francos y arcillosos) y químicas (contenidos bajos a altos de materia orgánica y minerales esenciales) (Tabla 3.4) (Grisales, 1977, Quevedo, 1986, Gómez *et al.*, 1991).

Condiciones físicas. La condición física del suelo tiene un papel importante en el vigor del cultivo y en última instancia, la producción dependerá en gran parte de la calidad de la relación suelo - aire - agua - temperatura. Estos factores físicos combinados con la cantidad y estado de la materia orgánica del suelo, afectan el desarrollo radical de la planta y por ende, la capacidad de absorción de nutrimentos, la colonización

de la raíz por organismos benéficos o perjudiciales, y los procesos fisiológicos de la planta (Havlin *et al.*, 1999).

Un suelo con buena condición física se caracteriza porque posee una humedad adecuada, es suelto, con macroporos bien interconectados que permiten un rápido acceso de las raíces, el aire y el agua. Así mismo, este suelo debe mantener la temperatura adecuada para que ocurra un crecimiento y funcionamiento fisiológico óptimo de las raíces (Havlin *et al.*, 1999).

Textura y estructura. En la Tabla 3.4 se resumen las condiciones físicas generales de las cuatro principales clases de suelos de la zona cafetera anotadas. Las mejores condiciones físicas se presentan en los suelos provenientes de cenizas volcánicas, los cuales poseen en general buena textura (francos) y estructura (granular), buena profundidad efectiva (40-60 cm), buen drenaje interno, buena capacidad de retención de humedad y mayor resistencia a la erosión en comparación con otros suelos de la zona cafetera, debido al predominio de minerales amorfos como la alófana. En los otros suelos pueden presentarse condiciones menos favorables desde el punto de vista de su profundidad, baja o excesiva capacidad de retención de agua y alta susceptibilidad a la erosión.

Condición hídrica. En toda la zona cafetera pueden existir condiciones físicas de suelo y de clima que conducen a niveles críticos de déficit o exceso de humedad. Los déficits hídricos son más frecuentes en aquellas regiones con inadecuada distribución de lluvias y texturas del suelo muy arenosas, suelos pedregosos, cascajosos y poco profundos.

El contenido de agua del suelo, cuando ha cesado todo movimiento descendente de ésta, se denomina capacidad de campo. Esta situación puede darse en

Tabla 3.4. Tendencias generales de las características físicas y químicas de los suelos cafeteros de Colombia (Grisales, 1977).

Suelo según material de origen	Textura	Estructura	Profundidad	Condición hídrica (Retención de Humedad)	Condición química	Aptitud Café
Cenizas volcánicas	Buena (Arenosos Francos Franco- limosos) Arcillosa (Malabar)	Buena Estable	Desde cm hasta varios metros	Buena capacidad de retención de humedad Buen drenaje interno	Baja fertilidad natural	Excelente (clima adecuado) (sol y sombra)
Metamórfico	Regular Inestable Pedregoso (esquistos)	Regular	Variable	Baja retención de humedad	Mediana fertilidad natural	Regular (sombrio necesario)
Igneo ácido	Arenosos	Mala	Baja-media	Mala Baja retención de humedad	Baja fertilidad	Baja
Igneo básico	Pesada Arcillosos	Mala	Baja-media	Regular-mala	Mediana fertilidad	Regular
Sedimentario	Arenosos o arcillosos Pedregosos	Mala	Limitada	Mala Mal drenaje interno	Mala (calcáreos)	Mala (sombrio necesario)

suelos bien drenados, dos o tres días después de una lluvia. Esta capacidad de campo está muy relacionada con la textura, el contenido de materia orgánica, el tipo de minerales presentes y la estructura del suelo. El porcentaje de agua retenida por el suelo bajo una presión de 1/3 de atmósfera (33 kPa) corresponde a la capacidad de campo. Aproximadamente la mitad del agua contenida en el suelo a capacidad de campo se halla tan fuertemente retenida que no puede ser utilizada por la planta. El punto de marchitamiento es el límite inferior de agua disponible para la planta y corresponde al agua retenida por el suelo frente a una presión de 15 atmósferas (1.500 kPa) (Suárez, 2001).

En la Tabla 3.5 se consigna un ejemplo de la condición hídrica en las diferentes clases de suelos de la zona cafetera. Se observa que el cafeto estaría más expuesto a deficiencias hídricas en los suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarios que en los derivados de cenizas volcánicas (Suárez *et al.*, 1984).

Si se considera como referente, 125 mm de deficiencia de agua como un valor que afecta la producción en café (*C. arabica*), esta condición se alcanzaría entre 30 a 40 días de deficiencia hídrica dependiendo de la altitud de la zona, 30 días para regiones bajas y 40 días para regiones altas. Según Jaramillo (2005), se podría hablar para el café de una tolerancia moderada a la deficiencia de agua.

La retención de humedad es alta en suelos derivados de cenizas volcánicas tanto a 33 como a 1.500 kPa, y

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. En las regiones con suelos de buenas propiedades físicas, adecuada retención de humedad y buena disponibilidad y distribución de las lluvias, puede cultivarse el café a plena exposición solar, en altas densidades de siembra, acompañado de un suministro adecuado de los nutrientes esenciales y aplicación de las prácticas culturales recomendadas. Bajo este sistema de cultivo pueden obtenerse entre 4 y 5 cosechas al final de las cuales, debe renovarse el cafetal.

debido a esta condición, las raíces absorbentes se desarrollan muy superficialmente; de acuerdo con esta característica en años muy lluviosos puede afectarse el crecimiento de la planta (Suárez, 1991).

Aireación. Se denomina aireación del suelo al intercambio de oxígeno atmosférico para ser consumido por la respiración de la raíz y los microorganismos, y a la liberación de CO₂. Una aireación restringida causa una reducción del oxígeno y acumulación de CO₂ en el suelo, lo cual puede conducir a reducciones en la capacidad de absorción de agua y de la toma de los nutrientes y retardo o inhibición de los procesos de crecimiento de la raíz. De otra parte, las raíces sometidas a estrés de oxígeno sufren generalmente cambios morfológicos y fisiológicos marcados; son cortas, despobladas de raicillas, se concentran cerca de la superficie del suelo y en condiciones

Tabla 3.5. Características de la retención de humedad y densidad de algunos suelos de la zona cafetera colombiana (Suárez *et al.*, 1984).

Tipo suelo según su material de origen	Horizonte	Retención de humedad (%)			Densidad Mg/m ³		Porosidad total (%)
		Capacidad campo (1/3 atm)	Punto de marchitez (15 atm)	Humedad disponible	Aparente	Real	
Cenizas volcánicas	Orgánico	68,8- 83,2	39,0- 56,0	27,0-38,1	0,54-0,73	2,06-2,30	68,3-75,4
	Inorgánico	95,8-180,0	51,0-112,0	24,1-97,0	0,37-0,79	2,05-2,44	66,1-82,0
Metamórficos ígneos y sedimentarios	Orgánico	17,6-36,5	10,7-24,7	6,9-11,8	0,9-1,4	2,4-2,6	45,0-59,2
	Inorgánico	17,5-31,7	10,7-20,9	6,9-11,8	1,4-1,6	2,6-2,7	39,0-51,3

extremas de estrés, mueren (Brady y Weil, 1999). La falta de oxígeno en el suelo está generalmente asociada con altas humedades o altas temperaturas. Puede causar desecación de la raíz. Una combinación de alta humedad del suelo y altas temperaturas del aire o del suelo causan el colapso de las raíces. La primera condición, aparentemente reduce la cantidad de oxígeno disponible para la raíz, mientras que la segunda aumenta los requerimientos de la planta. Al presentarse las dos condiciones, el resultado es una deficiencia severa de oxígeno para la planta, que causa su deterioro y muerte (Papendick y Elliot, 1983).

Para la mayoría de las plantas parece existir un nivel crítico de concentración de oxígeno en el suelo por debajo del cual se limita el crecimiento y la producción. Normalmente, el contenido de oxígeno en el suelo es un poco inferior al 20%, en las capas más superficiales en un suelo con una estructura estable y abundancia de macroporos. Este contenido puede reducirse a 5% o valores cercanos a cero en los horizontes más profundos de un suelo con drenaje pobre, si es consumido rápidamente por las raíces en crecimiento activo o por microbios. Cuando todos los poros del suelo se llenan de agua, los microorganismos extraen la mayor parte del oxígeno en el agua para su metabolismo. Una vez se ha agotado todo el oxígeno, se dice que el ambiente del suelo es anaeróbico (Brady y Weil,1999).

Densidad aparente. La densidad aparente típica de un suelo mineral de textura media está alrededor de 1,25 Mg.m³ (megagramos por metro cúbico), y varía dependiendo de la textura y las prácticas de uso y manejo del suelo. Cuando se incrementa el grado de compactación del suelo, se reduce el volumen de poros, aumenta su peso por unidad de volumen y en consecuencia aumenta la densidad aparente. La compresión del suelo afecta las condiciones de retención de humedad, limita el crecimiento de raíces y la absorción normal de nutrimentos

y del agua, impide la actividad microbiana, reduce la infiltración e induce a cambios en la estructura y el comportamiento funcional del suelo (Brady y Weil,1999). Las capas compactas se resisten a la penetración de las raíces debido a la mayor tenacidad del suelo, al reducido suministro de oxígeno y a la acumulación de dióxido de carbono. El desarrollo radical y la penetración del agua se ven limitados de manera significativa cuando la densidad aparente oscila entre 1,5 y 1,6 Mg.m³. El crecimiento de las raíces suele detenerse en los horizontes con densidades aparentes entre 1,7 y 1,9 Mg.m³ (Brady y Weil,1999). Según Salamanca *et al.* (2004), en las unidades Chinchiná, Fresno y Timbío, derivadas de cenizas volcánicas, la densidad aparente presenta valores entre 0,5 y 1,0 Mg.m³, con poca variación a lo largo del perfil, mientras que en la unidad Montenegro la densidad aparente es mayor y aumenta con la profundidad.

Temperatura. La temperatura del suelo es un factor tan importante como el agua para el crecimiento normal de la planta. El rango de temperatura en el cual crecen las plantas cultivadas puede estar entre 10 y 40°C. La temperatura óptima para el crecimiento cambia con la especie, la variedad, la edad de la planta, el estado de desarrollo y el tiempo de exposición (Brady y Weil,1999).

La temperatura afecta directamente funciones y procesos de la planta como: la fotosíntesis, la respiración, la permeabilidad de las membranas, la absorción de agua y nutrimentos, la transpiración, la actividad enzimática y la coagulación de las proteínas. Esta influencia se refleja en el crecimiento de la planta (Taiz y Zeiger, 1999).

Bajas temperaturas del suelo pueden afectar adversamente el crecimiento de la planta, por su efecto en la absorción del agua. Si la temperatura es alta y hay un exceso de transpiración, la planta puede sufrir

daños por deshidratación de los tejidos. La cantidad de agua en el suelo también está influenciada por la temperatura, ya que en períodos calurosos ocurre una rápida evaporación del agua superficial del suelo (Taiz y Zeiger, 1999).

Dentro de los pocos estudios sobre el régimen térmico de los suelos de la zona cafetera colombiana, se encuentra el realizado por Jaramillo y Gómez (1974), quienes estudiaron la variación de la temperatura en los primeros 50 cm de un suelo de origen volcánico. Observaron que en la superficie, la temperatura fluctúa entre 15 y 35°C y que al interior del perfil a los 50 cm, se alcanza un equilibrio cercano a los 24°C.

En otro estudio, Orozco y Jaramillo (1978), registraron en condiciones de invernadero que el déficit de humedad incrementó sensiblemente la temperatura del suelo a 2 cm de profundidad y también incrementó la temperatura de las hojas del café.

Franco (1958), estudió la influencia de la temperatura del suelo en el crecimiento de plantas jóvenes de café y encontró que los mejores resultados se alcanzaron con temperaturas de 26°C en el día y 20°C en la noche, y que variaciones de 5°C en cualquier dirección retardan el crecimiento. Las temperaturas entre 33 y 38°C redujeron la absorción de todos los elementos minerales.

Condiciones químicas. Entre los componentes químicos del suelo de importancia para el crecimiento del cafeto se encuentran la materia orgánica, el pH y los macro y micronutrientes.

La materia orgánica es considerada como un indicador de la productividad del suelo. Entre las funciones que desempeña se pueden señalar las siguientes: es fuente de nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, boro y zinc, entre otros), incrementa la capacidad de intercambio de cationes, suministra energía para la actividad de los microorganismos, permite una adecuada agregación de las partículas del suelo mejorando así su estructura, capacidad de retención de agua y aireación. Debe anotarse que gran parte de estas funciones dependen de la descomposición de la materia orgánica (Suárez, 2001).

El pH del suelo es una característica de importancia como indicador de la condición de acidez o alcalinidad del suelo. En Colombia, el cafeto crece en suelos con valores de pH generalmente entre 5,0 y 6,0. La acidez del suelo afecta el desarrollo de la planta por su influencia en la disponibilidad de ciertos elementos esenciales o tóxicos para la planta. En muchos suelos se presenta un pH inferior a 5,0, el cual puede conducir a problemas de toxicidad de aluminio o de manganeso y deficiencias de calcio, magnesio, potasio, azufre, boro, cobre o zinc. En algunos suelos de origen sedimentario se presenta un pH muy alto (básico) debido principalmente a los

altos contenidos de calcio, y en estos casos es frecuente observar deficiencias de micronutrientes como manganeso, hierro, zinc, boro o cobre (Grisales, 1977; Aponte, 1984; Quevedo, 1986; Valencia, 1999; González y Sadeghian, 2003).

En general, los suelos de la zona cafetera son considerados de fertilidad natural media a baja (Tabla 3.6). Poseen contenidos medios a altos de materia orgánica, tendencia a la acidez, bajos contenidos de fósforo y responden bien a la fertilización nitrogenada, al potasio y al magnesio. Entre los micronutrientes, las deficiencias más frecuentemente observadas son las de hierro y boro, aunque su manifestación es temporal, la primera está asociada con períodos lluviosos y la segunda con períodos secos. La deficiencia de zinc ocurre esporádicamente o en lugares muy específicos.

Elementos minerales esenciales para el crecimiento del cafeto. Se han reconocido dieciséis elementos como esenciales para el crecimiento de las plantas. Tres de ellos, carbono, hidrógeno y oxígeno, son suministrados por el agua y el aire (dióxido de carbono). Los trece restantes se consideran nutrientes vegetales y pueden agruparse en seis macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) que la planta requiere en grandes cantidades y siete micronutrientes (boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc) que la planta toma en muy pequeñas cantidades. Cuando alguno de estos elementos se encuentra en la planta en cantidades inferiores a los niveles mínimos requeridos para el crecimiento normal, la planta exhibe varios síntomas externos e internos, los cuales aparecen en cualquiera de sus órganos incluyendo hojas, tallos, raíces, flores, frutos y semillas (Havlin *et al.*, 1999).

Los diferentes tipos de síntomas que se presentan cuando ocurre la deficiencia de un elemento dependen de las funciones de ese elemento particular en la planta, las cuales son inhibidas o interferidas cuando este elemento es limitativo.

En la Tabla 3.6 se muestran los rangos de los principales componentes minerales del suelo y los contenidos minerales foliares considerados más adecuados para el normal crecimiento y producción del cafeto en la zona cafetera colombiana (Valencia *et al.*, 1989; Valencia, 1986; Valencia y Arcila, 1977). Cuando la planta se encuentra fuera de estas condiciones es muy probable que presente una sintomatología relacionada con la deficiencia o el exceso de algún elemento.

Solamente una pequeña parte de cada nutriente presente en el suelo se encuentra disponible para la planta. El resto se halla tan firmemente ligado a la fracción mineral y a la materia orgánica, que es inaccesible mientras no sea afectado por los procesos de descomposición. Estos ocurren lentamente, durante períodos largos y los nutrientes son liberados de modo gradual.

Tabla 3.6. Rangos de contenidos minerales del suelo y foliares más adecuados para el desarrollo del cafeto en Colombia (Valencia *et al.*, 1989; Valencia y Arcila,1977).

Rango adecuado					
Contenido del suelo	Límite inferior	Límite superior	Contenido Foliar	Límite inferior	Límite superior
Materia orgánica (%)	11,4	12,6	Nitrógeno (%)	2,3	2,8
Fósforo (mg.kg ⁻¹)	6	14	Fósforo (%)	0,1	0,18
Potasio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0,3	0,4	Potasio (%)	1,5	2
Calcio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	1,8	2,4	Calcio (%)	0,5	2
Magnesio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0,6	0,8	Magnesio (%)	0,3	0,4
Aluminio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0	60			
Saturación aluminio (%)	0	60			
pH	5	5,5			
Boro (mg.kg ⁻¹)	0,2		Boro (mg.kg ⁻¹)	40	60
Zinc (mg.kg ⁻¹)	1		Zinc (mg.kg ⁻¹)	9	
Manganeso (mg.kg ⁻¹)	50		Manganeso (mg.kg ⁻¹)	150	220
Hierro (mg.kg ⁻¹)	100		Hierro (mg.kg ⁻¹)	90	140
Cobre (mg.kg ⁻¹)	1		Cobre (mg.kg ⁻¹)	10	

Los suelos también pueden contener cantidades excesivas de ciertos elementos esenciales o no, los cuales al encontrarse en concentraciones altas pueden ser perjudiciales para la planta. De los elementos esenciales, aquellos que la planta requiere en mayores cantidades como el nitrógeno y el potasio, son generalmente menos tóxicos cuando se encuentran en exceso, que aquellos elementos que se requieren en cantidades trazas como el manganeso, el zinc y el boro. Dentro de esta última categoría, algunos elementos como el manganeso y el magnesio tienen un rango de seguridad más amplio que los otros. Además, los elementos no sólo difieren en su rango de toxicidad sino que las plantas también difieren en su grado de susceptibilidad a la toxicidad, de acuerdo al

nivel del elemento. La concentración a la cual un elemento no esencial es tóxico también varía entre los elementos.

El daño resultante por el exceso de un elemento puede variar desde ligero hasta muy severo y generalmente, es el resultado del daño directo a la célula por el elemento o puede deberse a una interferencia de la absorción o la función de otro elemento, lo cual conduce a la manifestación de síntomas de deficiencia del elemento con el cual interfiere. Por ejemplo, un exceso de potasio induce deficiencias de magnesio y calcio, mientras que una toxicidad por cobre, manganeso o zinc produce un daño directo y a la vez, puede inducir una deficiencia de hierro en la planta (Havlin *et al.*,1999).

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Cuando la planta de café está sometida a una alta deficiencia hídrica (por ejemplo, 30 - 40 días continuos sin lluvia), detiene su crecimiento, el follaje se torna de color verde pálido o ligeramente amarillo, el tamaño de las hojas es menor que lo normal, la planta pierde follaje y si la sequía se prolonga, se marchita y muere. Cuando la sequía es interrumpida por la lluvia, la planta reacciona mostrando una senescencia acelerada y la caída de hojas y frutos.

Para que el desarrollo del fruto del cafeto sea normal se requiere disponibilidad de agua en el suelo durante los ocho meses comprendidos entre la floración y la cosecha, con un período crítico entre las semanas 8 y 16, en el cual se define el tamaño del fruto.

En los suelos de la zona cafetera y de las fincas, también ocurren condiciones físicas desfavorables como alto contenido de arcillas y alta retención de humedad, que causan mal drenaje o encharcamiento. El exceso de humedad por drenaje pobre o encharcamiento puede causar rápidamente problemas más serios en la planta que la falta de humedad. El drenaje pobre deteriora y pudre la raíz, y produce plantas de aspecto poco vigoroso, que se marchitan con frecuencia y de follaje verde pálido o verde amarillento. En árboles perennes, los daños se observan lentamente y sólo después de que la zona de raíces ha permanecido inundada por varios días.

Como resultado de la excesiva humedad del suelo, las raíces absorbentes se deterioran debido a la escasez de oxígeno, ocurriendo estrés, asfixia y muerte de muchas células de la raíz. Las condiciones húmedas favorecen el crecimiento de organismos anaeróbicos, que durante sus procesos vitales forman sustancias como nitritos, tóxicas para la planta. De otra parte, las células radicales dañadas directamente por la falta de oxígeno, pierden su permeabilidad selectiva y permiten así la entrada o acumulación en su interior de sustancias tóxicas.

Factores genéticos (especies y variedades) y su incidencia en la productividad del cafetal

Especies y variedades cultivadas en Colombia

Los sistemas de producción de café en Colombia se han desarrollado solamente con variedades de la especie *Coffea arabica* L. Desde los comienzos de la caficultura colombiana con sentido comercial, hacia 1810 y hasta finales de los años 1950, predominó el cultivo de variedades de porte alto como la variedad Típica, en cultivos extensivos, con bajas densidades de siembra y con sombra (Castillo, 1968, 1990). Posteriormente, entre los años 1970 y 1990 el cultivo evolucionó hacia sistemas intensivos a plena exposición solar, con variedades de porte bajo (Mestre y Salazar, 1990).

La década de los años 90, se caracterizó por un incremento del cultivo de variedades de porte bajo con resistencia a la roya del cafeto, como la variedad Colombia (Castillo y Moreno, 1988).

Recientemente se ha liberado la variedad Tabi de porte alto y también resistente a la roya del cafeto (Moreno, 2002). A partir del año 2005 se liberaron la Variedad Castillo® y las Variedades Castillo® regionales, para su cultivo en regiones específicas (Alvarado *et al.*, 2005).

Variedad Típica. Variedad de porte alto. Representa el tipo de especie *C. arabica* descrito por Linneo. Fue la primera variedad que se cultivó extensivamente en América, con una amplia adaptación a diferentes tipos de suelos y climas. Fue la única variedad cultivada extensamente en Colombia hasta 1960 (Castillo, 1960).

En Cenicafé, se inició un proceso de selección entre 1941 y 1960, en el cual se obtuvieron una serie de progenies muy vigorosas y de excelente calidad, tanto en apariencia del grano como en la calidad de la bebida. Por más de 20 años, se recomendó a los agricultores esta semilla seleccionada. Sin embargo, el estudio de las progenies de árboles seleccionados y la comparación de la variedad Típica con otros cultivares, demostró su marcada uniformidad genética y su inferior capacidad productiva cuando se empleaba en cultivos intensivos. Así, pudo comprobarse que la enorme variación entre árboles de un mismo cafetal, se debía a factores ambientales principalmente a variaciones accidentales en el desarrollo de las ramas productivas y a la influencia del sombrío en la distribución de la luz solar y no ofrecía ninguna posibilidad para obtener selecciones altamente productivas. De igual manera, se concluyó

que las grandes variaciones observadas entre plantas, en lo referente a distribución anual de la producción, tampoco estaban gobernadas por la constitución genética de los árboles y no se transmitían a su descendencia (Castillo y Quiceno, 1968; Castillo, 1990).

Variedad Borbón (rojo y amarillo). Fue descubierta en 1715 en la Isla de Borbón (hoy Reunión) de donde viene su nombre. En Brasil se cultiva el tipo con grano amarillo y en Colombia el rojo. En Colombia se sembró desde 1928, pero no fue adoptada ampliamente por los caficultores, debido a que al cultivarse bajo sombra intensiva no se le dio un manejo adecuado para expresar su potencial. En pruebas regionales realizadas en la década del 50, se encontró que la variedad Borbón era más productiva que la variedad Típica, con un rendimiento en general entre 20 y 30% mayor, y en algunos ambientes esta diferencia fue hasta del 50%. En Colombia, se obtuvieron dos selecciones de especial interés: Borbón RM, resistente a la lliga macana y la selección Amarillo Chinchiná, con características intermedias entre Típica y Borbón, y semillas de mayor tamaño que Típica (Triana, 1955; Castillo, 1960; Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1979).

Variedad Caturra. Es un mutante derivado de la variedad Borbón que se descubrió en Brasil entre 1915 y 1918. Se caracteriza por tener entrenudos muy cortos tanto en el tallo como en las ramas, por lo cual alcanza un desarrollo menor que el de las variedades Borbón y Típica.

Como consecuencia de la introducción al país, en 1952, de variedades de porte bajo como la variedad Caturra, y soportados en sus altas producciones y tamaño de la planta reducido, en las décadas del 60 y 70 ocurrió un importante proceso de transformación tecnológico de la caficultura colombiana con la adopción del cultivo intensivo y a plena exposición solar, con base en la siembra de esta variedad (Castillo, 1990, 1967).

Con la aparición de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en 1983, la cual afecta tanto a la variedad Caturra como a las variedades tradicionales como Típica y Borbón, y gracias al desarrollo de la variedad Colombia, se continuó con el cultivo intensivo pero ahora con variedades resistentes a esta enfermedad.

Variedad Colombia. Cultivar compuesto de numerosas progenies de porte bajo seleccionadas en la transferencia de resistencia del Híbrido de Timor a la variedad Caturra. Esta mezcla reúne gran diversidad genética con relación a la resistencia a la roya, y al mismo tiempo, alcanza alta productividad y excelente calidad del producto (Castillo y Moreno, 1988).

Variedad Castillo®. Las investigaciones de la última década han permitido la selección de nuevas progenies de porte bajo con resistencia a la roya y con mejores

características de tamaño de grano y productividad. La mezcla de estas progenies es lo que hoy se denomina como Variedad Castillo®, la cual se liberó en el año 2005 (Alvarado *et al.*, 2005).

En investigaciones recientes se encontró un mejor comportamiento de la producción de algunas de estas progenies componentes de la Variedad Castillo®, en ambientes contrastantes, por lo que se conformaron mezclas específicas para algunas regiones (Alvarado, 2005), las cuales se denominaron:

Variedad Castillo® El Rosario: Para divulgación en el departamento de Antioquia y en ciertas zonas de los departamentos de Caldas y Risaralda.

Variedad Castillo® Naranjal: Para divulgación en ciertas zonas de los departamentos de Risaralda, Valle del Cauca, Quindío y Caldas.

Variedad Castillo® Paraguaicito: Para divulgación en los departamentos del Quindío y Valle del Cauca.

Variedad Castillo® La Trinidad: Para divulgación en el departamento del Tolima.

Variedad Castillo® Pueblo Bello: Para divulgación en los departamentos de Cesar, La Guajira, Magdalena y Norte de Santander.

Variedad Castillo® Santa Bárbara: Para divulgación en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

Variedad Castillo® El Tambo: Para divulgación en los departamentos de Cauca y Nariño.

Variedad Tabi. Debido a que en el país todavía se tiene cerca del 30% del área en la que se cultiva la variedad Típica, desde el año 1970 Cenicafé inició un programa para desarrollar variedades de porte alto con resistencia a la roya. Como resultado de este programa se produjo la variedad Tabi, la cual se liberó en el año 2002.

La variedad Tabi está compuesta por la mezcla de varias progenies provenientes de los cruzamientos entre el Híbrido de Timor y las variedades Típica y Borbón, con muy buenas características de producción y calidad de grano (Moreno, 2002).

Variedad Maragogipe. Se descubrió en el municipio de Maragogipe, estado de Bahía, Brasil, en 1870. Su altura lo mismo que sus ramas y hojas son mayores que en las variedades Típica y Borbón. En Colombia se tienen unas pocas hectáreas cultivadas en Antioquia desde 1930 (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1979).

En la Tabla 3.7 se registra un resumen de las principales características de las variedades de café cultivadas en Colombia.

En general, estas variedades han mostrado un alto grado de adaptación y potencialidad y estabilidad productiva en las condiciones prevalecientes en la zona cafetera colombiana, y la productividad que se obtenga dependerá fundamentalmente del sistema de cultivo aplicado (Figura 3.4) (Gómez *et al.*, 1990).

Tabla 3.7. Características morfológicas, agronómicas y del grano de las variedades de café cultivadas en Colombia (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004; Alvarado *et al.*, 2005).

Característica	Típica	Borbón	Maragogipe	Tabi	Caturra	Colombia	Castillo®	Castillo® Regional
Resistencia a roya	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si
Porte	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Color brote apical	Bronce	Verde	Bronce	Bronce y verde	Verde	Bronce y verde	Bronce y verde	Bronce y verde
Altura 24 meses (cm)	226	237	Mayor que Típica y Borbón	243	137*	165*	154	153
Diámetro copa (cm) 24 meses-30* meses	180	177	Mayor que Típica y Borbón	200	112*	133*	172	172
Densidad siembra sol	2.500	2.500	2.500	2.500	Hasta 10,000	Hasta 10,000	Hasta 10,000	Hasta 10,000
Densidad siembra Sombra (25-50%)	1.500	1.500	1.500	1.500	Hasta 4.000	Hasta 4.000	Hasta 4.000	Hasta 4.000
Producción kg cps/planta sol	0,9	1,2	0,7	1,0	0,5	0,5	0,5	0,6-0,7
Producción kg cps/planta Sombra (25-50%)	0,6	0,8	0,5	0,7	0,35	0,35	0,35	0,4-0,5
% grano supremo	70	46	90-100	85	62,7	52,8	83,0	85
% vanos	4	4	4	3,7	5	5	4,4	5
% caracol	8	7,6	7,0	8,0	8,7	11,2	7,0	7,0

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Las variedades empleadas no determinan la productividad per se, por lo cual es necesario considerar los diversos elementos fisiológicos que intervienen en la producción de la planta y el cultivo. Así mismo, deben evaluarse los factores externos como el clima y el suelo, y la interacción de estos con el material genético empleado en cada una de las zonas cafeteras de Colombia.

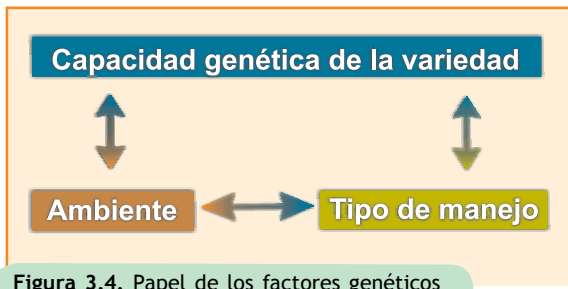


Figura 3.4. Papel de los factores genéticos en la productividad de los cultivos.

Producción potencial de *Coffea arabica* en Colombia

Producción de materia seca

De acuerdo con la disponibilidad energética de la zona cafetera colombiana de 170-220 wm^2 y si se considera que entre el 90 y el 95% de la materia seca consta de compuestos carbónicos derivados de la fotosíntesis, se ha calculado un potencial de producción de materia seca total de 120 a 190 toneladas por hectárea y por año, según el método de Loomis y Williams (1963). Sin embargo, en la práctica, en la zona cafetera central con *C. arabica* L. variedad Caturra, de 5 años de edad y bajo condiciones de máxima interceptación lumínica (10.000 plantas/ha al sol) se han obtenido producciones de materia seca de 15 a 30 toneladas por hectárea y por año (Tabla 3.8) (Arcila, 1990). Mediciones más recientes en variedad Colombia, en tres localidades con diferente disponibilidad hídrica, permitieron observar valores de 7 a 8 kg de materia seca

por planta, que para densidades de 5.000 plantas por hectárea representa un potencial de 35 a 40 t/ha (Riaño *et al.*, 2004). Estos valores son equivalentes entre un 8 y un 30% del potencial calculado. Lo anterior estaría indicando una alta ineficiencia de la planta de café en la utilización de la energía disponible, por factores intrínsecos de la planta o por influencia del ambiente.

Determinantes de la producción de materia seca

La producción de biomasa y materia seca son el resultado de: 1) la disponibilidad y capacidad de uso de la radiación solar por el cafeto; 2) la superficie disponible para la captación de luz para los procesos de fotosíntesis y biosíntesis; 3) la tasa y eficiencia fotosintética; y 4) el balance resultante en la distribución de asimilados (Cannell, 1972, 1985).

1. Uso de la radiación solar por el cafeto

Balance de radiación. El flujo de radiación para una plantación de *C. arabica* L. variedad Caturra sembrada a una distancia de un metro entre surcos y uno entre plantas (Figura 3.5), muestra que de la radiación global incidente sobre la planta, aproximadamente el 15% es reflejada, el 75% es absorbida por el follaje y un 10% se absorbe por el suelo. De la radiación que llega al follaje aproximadamente el 90-95% es absorbida por la planta y cerca del 50% es radiación fotosintéticamente activa (RFA). De la radiación absorbida por el follaje, las hojas más externas interceptan cerca del 90%, quedando aproximadamente 5% para el resto (Jaramillo y Santos, 1980). Las tasas de disminución de energía o coeficientes de extinción, dentro del follaje, varían a razón de 0,4 - 0,5 por cada unidad de índice de área foliar que se acumule (Castillo *et al.*, 1996). En otros cultivos perennes tropicales la eficiencia de conversión de la RFA en materia seca es de 1,6 a 3,0%.

Balance de energía. El balance de energía se refiere al uso de la energía en procesos como calentamiento del aire y del suelo, evapotranspiración y fotosíntesis. En una

Tabla 3.8. Producción de materia seca de dos variedades de café en Chinchiná, Colombia 1985, sembradas a 1 x 1m entre plantas y entre surcos (Arcila,1990).

VARIEDAD	Materia seca (g/planta) según edad del cafeto (años)		
	3	4	5
Caturra	1.514,6	2.372,1	2.952,4
Colombia	1.475,3	2.424,4	31.111,6

plantación de *C. arabica* L. variedad Caturra, sembrada a 1 x 1 m, a plena exposición solar, de la radiación neta que llega al follaje, un 60% aproximadamente es usada en el proceso de evapotranspiración, un 36% se consume en calentamiento del aire y un 2% se utiliza en el calentamiento del suelo (Figura 3.6) (Jaramillo y Escobar, 1983).

2. Superficie disponible para la captación de luz, la fotosíntesis y la biosíntesis

Desarrollo foliar. El hábito perenne del cafeto y las condiciones ambientales de disponibilidad de agua y energía de nuestra zona cafetera permiten un continuo desarrollo del follaje. La cantidad de follaje es además,

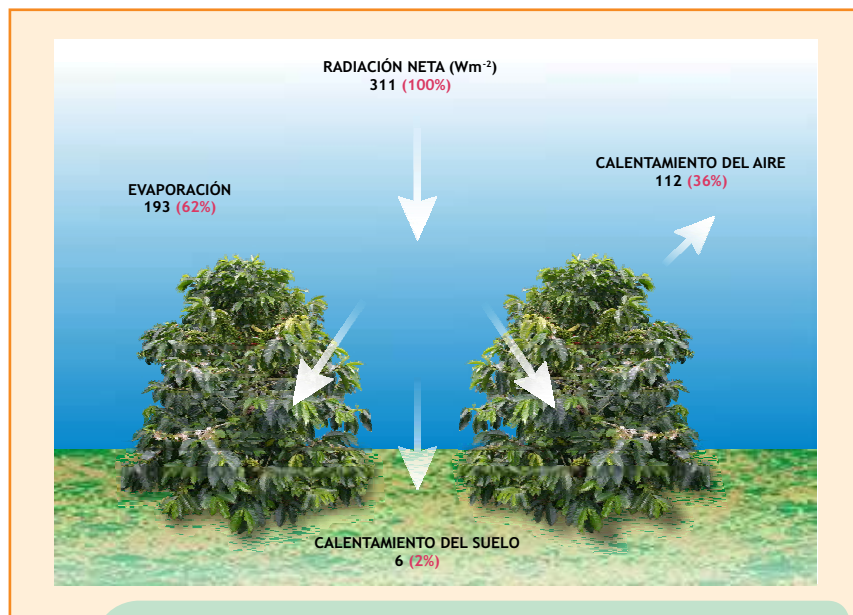


Figura 3.5. Balance de radiación solar en *C. arabica* L. variedad Caturra, a 1m x 1m (Jaramillo y Santos, 1980).

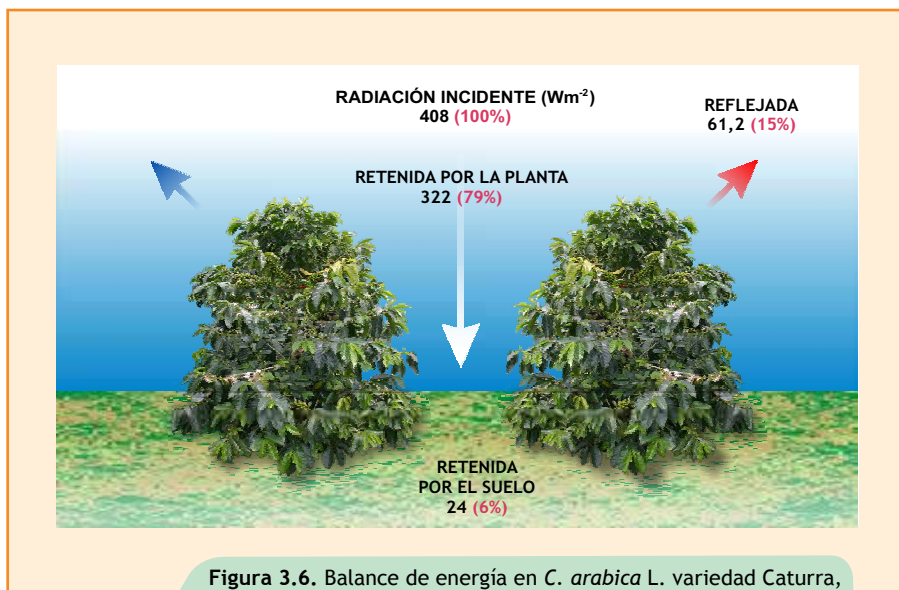


Figura 3.6. Balance de energía en *C. arabica* L. variedad Caturra, a 1m x 1m (Jaramillo y Escobar, 1983).

altamente influenciada por la variedad, la distancia de siembra, la fertilización y la edad del cultivo (Gómez, 1977; Jaramillo y Valencia, 1980; Jaramillo y Guzmán, 1984).

El desarrollo foliar de las variedades Caturra y Colombia, en varias distancias de siembra y para varios años, muestra que a distancias de siembra más amplias, por ejemplo 2.500 plantas.ha⁻¹, el desarrollo foliar es mayor alcanzando valores cercanos a los 20 m² de superficie foliar. A distancias de siembra más cortas, por ejemplo 10.000 plantas.ha⁻¹, los máximos valores de área foliar están alrededor de 10 m² en plantas de 4 años de edad (Figura 3.7) (Valencia, 1973; Arcila y Chávez, 1995).

En Colombia el mayor desarrollo foliar ocurre inmediatamente después de las floraciones y antes del comienzo de la fase de crecimiento acelerado de los frutos (Arcila, 1983).

Con relación a la luz, Castillo (1966), observó en plantas de almácigo, que el área foliar se reduce en la medida en que se aumenta el sombrío (a partir del 40%). Al aumentar la intensidad de luz se aumenta el número de hojas. La luz influye además sobre las características morfológicas de la hoja, por ejemplo, la longitud disminuye al aumentar la intensidad y las hojas son más delgadas. Con respecto al balance de materia seca de la planta bajo condiciones de alta densidad, las hojas

representan entre el 19 y el 30% de la materia seca total (Arcila, 1990). Cannell (1985), en Kenya, obtuvo valores de 40-45%, es decir, el cafeto presenta una fronda relativamente grande y por consiguiente, un buen potencial de captación de radiación solar.

Índice de área foliar. La producción de materia seca es directamente proporcional a la captación de energía radiante y por tal motivo, para la obtención de cosechas abundantes y de buena calidad es esencial un alto grado de cobertura efectiva del terreno, el cual se determina con el índice de área foliar (IAF) (Watson, 1947).

En *C. arabica*, Valencia (1973), para variedad Caturra y Arcila y Chávez (1995), para la variedad Colombia, encontraron valores máximos de índice de área foliar (IAF) de 8 y 7, respectivamente (Figuras 3.8A y 3.8B). En plantas de la variedad Caturra con un IAF de 8, se obtienen las máximas producciones. Este valor se consigue a los 3 años con una densidad de 10.000 plantas/ha y a los 4 años con 5.000 plantas/ha. Para mantener el índice de área foliar óptimo será necesario un manejo cuidadoso de la distancia de siembra, las podas, la fertilización, el control de los agentes que atacan el cultivo y la duración del mismo. Los estudios realizados en Colombia indican que para obtener estos índices en variedades de porte bajo y al sol se requieren densidades de siembra entre 5.000 y 10.000 tallos por hectárea (Figura 3.7) (Castillo, 1996).

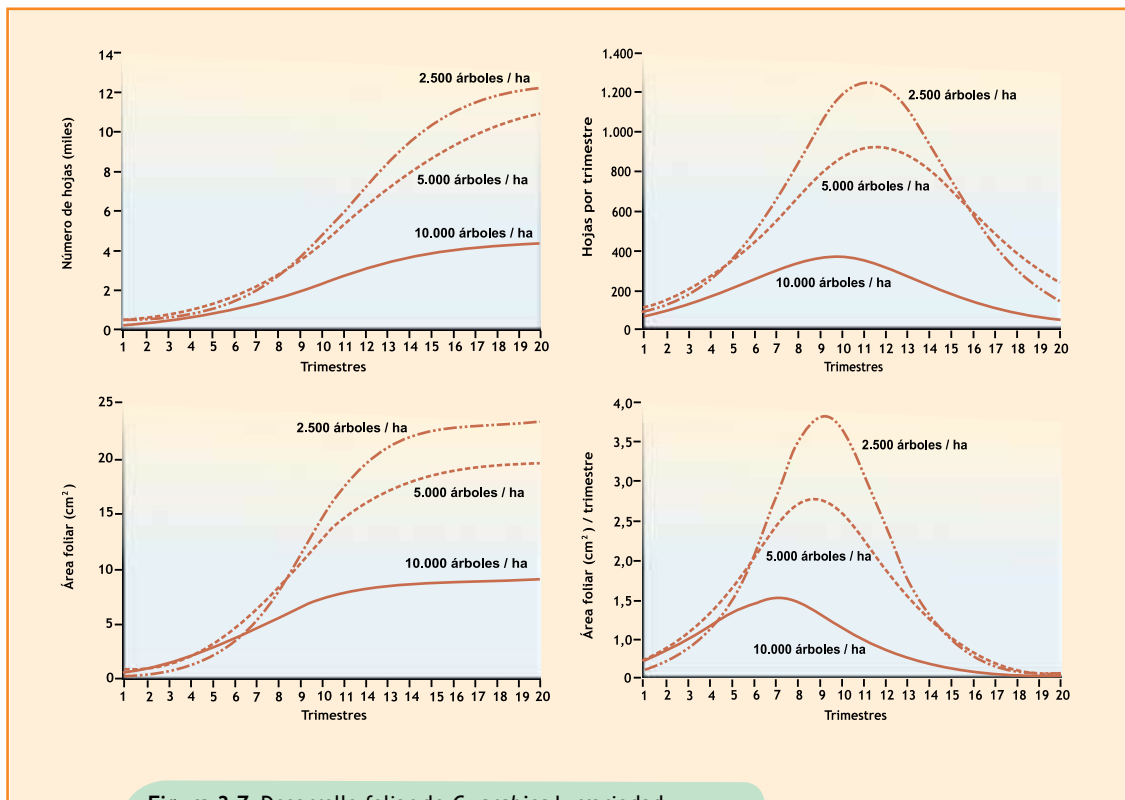


Figura 3.7. Desarrollo foliar de *C. arabica* L. variedad Colombia, en tres densidades de siembra (Arcila y Chávez, 1995).

Para una máxima captación de luz sería deseable una distribución uniforme del follaje sobre el terreno, lo cual se logra empleando igual distancia entre plantas y entre surcos (Figura 3.8) (Castillo,1996). En investigaciones de Cenicafé, Uribe y Mestre (1988), no encontraron diferencias en producción entre la distribución de las plantas en forma rectangular o en cuadro y para varias densidades de siembra. La distribución uniforme en el terreno es favorable para la captación de luz y la regulación de la temperatura dentro del cultivo, y también para el control de arvenses en forma temprana; sin embargo, puede ser desfavorable para la evaporación del agua en zonas muy húmedas y para la movilización dentro del cultivo cuando se efectúan algunas labores.

Arquitectura de la planta. A pesar de no existir un estudio detallado de la arquitectura de las plantas

de *C. arabica* y su relación con la producción, pueden considerarse con referencia a la disposición de las ramas, básicamente dos tipos de arquitectura, que podrían ser de interés desde el punto de vista de producción de materia seca: 1) Tipo planófila, con ramificación predominantemente plagiotrópica, ejemplo variedad Caturra (Figura 3.9A); y 2) Tipo erectófila con ramificación predominantemente ortotrópica, ejemplo la variedad Erecta (Figura 3.9B) (Arcila, 1990; Orozco, 1977).

En el tipo planófila las ramas se insertan en un ángulo aproximado de 80-90° con relación al tallo y la mayoría de las hojas se insertan en el rango de ángulos de 0-30°. En el tipo erectófila las ramas se insertan en un ángulo de 30-40° y las hojas están dispuestas horizontalmente. Sin embargo, con el peso de los frutos y la edad de la planta, las ramas se doblan y pueden presentarse dos

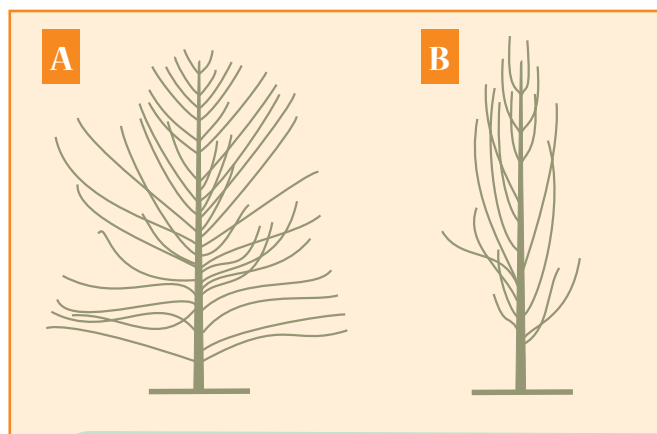
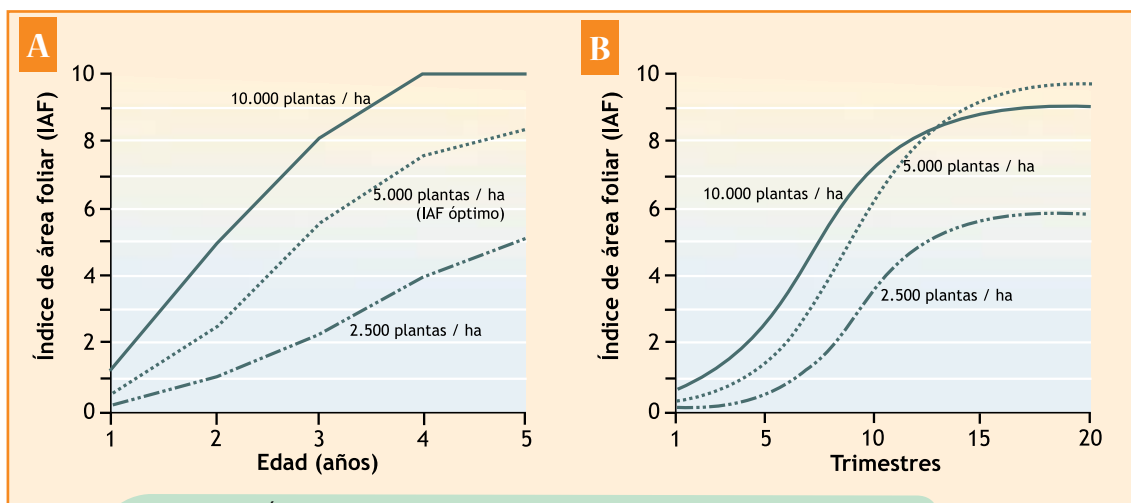


Figura 3.9. Arquitectura de plantas de *C. arabica* L. A). Tipo planófila (variedad Caturra); B). Tipo erectófila (variedad erecta) (4, 40, 42).

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Los hábitos de crecimiento y la producción del cafeto en Colombia, así como su arquitectura, inducen una conformación especial de la planta que afecta su comportamiento, por lo cual podría hablarse de “regiones fisiológicas” en la planta, así: zonas de crecimiento vegetativo activo, zonas de crecimiento reproductivo tanto de flores como de frutos y zonas de senescencia (Figura 3.11). Entre estas zonas, las condiciones de luz y temperatura son diferentes y éstas deben considerarse cuando se tienen algunos problemas de plagas y enfermedades. Varios estudios han demostrado que las hojas viejas del cafeto tienen una menor actividad fotosintética que las hojas jóvenes. Esta situación es más crítica en la parte baja de la planta en donde las ramas tienden a desaparecer con el tiempo, debido principalmente a condiciones de baja iluminación, más acentuadas en cultivos densos. Las anteriores consideraciones deben tenerse en cuenta como factores que afectan la producción de materia seca.

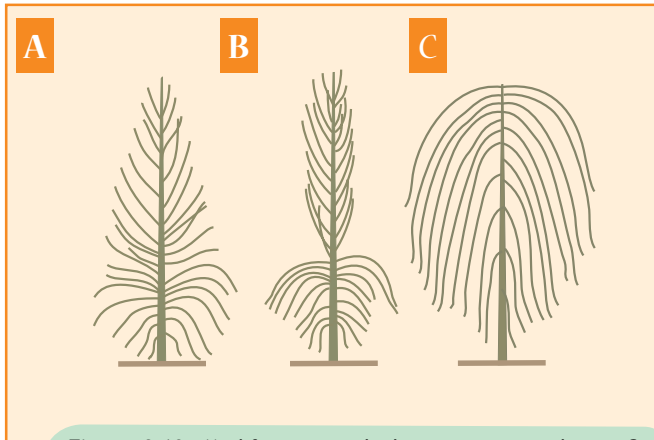


Figura 3.10. Modificaciones de la arquitectura de en *C. arabica* L. A y B) : Modificaciones con la edad; C) Modificación por poda de la planta.

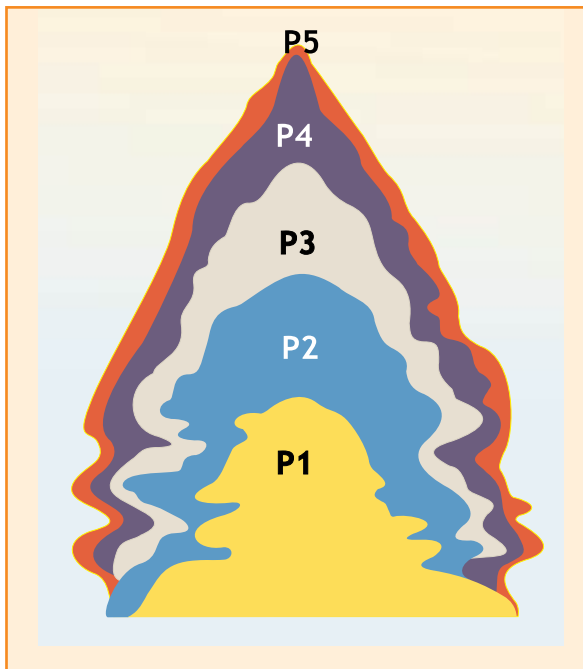


Figura 3.11. Regiones fisiológicas de una planta de café de 3 años de edad. P1=Zona de senescencia; P2= Zona de crecimiento activo de frutos; P3= Zona de crecimiento de flores; P4= Zona de crecimiento activo de hojas; P5= Zona meristemática (Arcila,1990).

tipos de arquitectura: la original, en la parte superior de la planta y la modificada predominantemente plagiotrópica en la parte inferior de la planta. Mediante prácticas de manejo como la poda, por ejemplo el descope, también cambia la arquitectura (Figura 3.10). Las plantas de arquitectura planófila son aparentemente más productivas que las de tipo erectófila. Dados los altos índices de área foliar (IAF) del café en densidades altas, el ángulo de inserción de las ramas, la forma y el tamaño de la hoja, podrían modificarse para optimizar la captación de luz (Castillo, 1996).

3. Tasa y eficiencia fotosintética y distribución de asimilados

Tasa fotosintética. Según Cannell (1985), hay cuatro características de la tasa fotosintética del café que reflejan su condición de planta adaptada a la sombra:

1) En las hojas a plena exposición solar, las tasas máximas de fijación de CO_2 son bajas alcanzando valores de $7 \mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 20°C , mientras que las hojas a la sombra pueden alcanzar valores de fijación de CO_2 hasta de $14 \mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

2) Las hojas a plena exposición solar se saturan con un máximo de $250 - 300 \text{ Wm}^{-2}$, en comparación con las hojas a la sombra que se saturan con 150 Wm^{-2} . Se considera que en el trópico hay disponibles a medio día, en un día soleado, alrededor de 500 Wm^{-2} .

3) La tasa de fotosíntesis neta disminuye en forma acentuada al aumentar la temperatura de la hoja por encima de 25°C , debido probablemente al cierre de estomas por deshidratación de la hoja. Así, en un día soleado, la tasa de fotosíntesis neta de las hojas más externas de un café a plena exposición solar será baja, porque la temperatura de la hoja puede alcanzar valores de $35-40^\circ\text{C}$.

4) La exposición continua a alta radiación solar puede causar daños al aparato fotosintético, aún en hojas adaptadas a la plena exposición solar.

Eficiencia fotosintética. De acuerdo a la radiación solar incidente en la zona cafetera colombiana, se tendría una eficiencia fotosintética teórica de 4,6% (Arcila, 1990). Según Friend (1984), las hojas de café al sol tienen una eficiencia cuántica de fotosíntesis de 0,034 y las hojas a la sombra una eficiencia de 0,055. Las tasas de respiración como evolución de CO_2 se estimaron en $0,1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para plantas con 5% de luz y en 0,3 para plantas con 100% de luz. En Brasil, Sondhal (1976), estimó la fotorespiración en $2 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, como un 37% de la fotosíntesis neta y 2,8 veces la respiración oscura ($0,7 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$).

Con base en las consideraciones anteriores no es contradictorio que en el trópico se obtengan mayores producciones en cafetos a plena exposición solar que a la sombra. En primer lugar, debido a la nubosidad, la radiación incidente disminuye hasta en un 50% en las regiones en que se cultiva café en Colombia. En segundo lugar, muy pocas hojas del árbol adulto están realmente a plena exposición solar, ya que el auto y mutuo sombrío proporcionan bajas intensidades lumínicas y bajas temperaturas foliares, que permiten mayor eficiencia de la fotosíntesis y en el crecimiento. Estas consideraciones también permiten explicar el porqué el

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. El llenado de frutos es un período durante el cual ocurre la mayor competencia de asimilados, lo cual a su vez se refleja en menores tasas de crecimiento de la planta. Estos frutos pueden atraer asimilados de todas las hojas de una rama, excepto las más tiernas, así como de las hojas de las ramas laterales. Cuando la fructificación es abundante y la disponibilidad de productos fotosintéticos insuficiente, se reducen el crecimiento vegetativo y el suministro de asimilados a la raíz, y como consecuencia pueden morir los brotes de las ramas o puede producirse el “paloteo”. Además, se acentúa el fenómeno de fructificación bienal.

En Colombia, los estudios sobre el efecto de la defoliación en plantas en producción indican que durante el período comprendido desde los dos meses después de las floraciones hasta un mes antes de iniciar la cosecha, por ejemplo abril - agosto en Chinchiná, es importante la presencia de una buena cantidad de follaje con alta capacidad fotosintética para satisfacer las demandas de asimilados de la cosecha en formación. En Francia, se estudió el efecto de la defoliación artificial sobre la actividad fotosintética de plantas en estado vegetativo. La pérdida de hojas viejas no tuvo un efecto marcado en la fotosíntesis mientras que la remoción de hojas jóvenes, especialmente las periféricas, tuvo un efecto severo en la fotosíntesis.

café tolera altas densidades de siembra. Sin embargo, puede haber limitaciones de la tasa fotosintética por temperatura, en zonas fuera del rango óptimo. En las hojas más expuestas, las temperaturas pueden alcanzar valores hasta de 38,5°C (Jaramillo y Gómez, 1989).

Repartición de asimilados. En la planta de café el crecimiento del follaje y las ramas ocurre simultáneamente con el desarrollo de la cosecha por tanto, ocurre competencia por recursos. Así el suministro no solo dependerá de la actividad de la fuente sino también de la manera como se distribuyan entre las estructuras (los vertederos) que compitan por ellos.

En Colombia, en las zonas donde la cosecha es más abundante en el segundo semestre (septiembre - diciembre), las mayores floraciones ocurren de enero a marzo, seguidas por un máximo crecimiento foliar en abril y por el llenado de los frutos que comienza en abril y continúa hasta julio. Por competencia entre el inicio del desarrollo foliar y de los frutos, y las últimas floraciones, puede ocurrir pérdida de yemas florales y diferencias en el desarrollo de los frutos.

En la Tabla 3.9 se muestra, para altas densidades (10.000 plantas/ha) cómo la planta de café distribuye

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. El fenómeno de “agotamiento” de los cafetos observado en algunos países cafeteros, puede mirarse básicamente como un desequilibrio en la relación fuente-vertedero, por una alta concentración de la cosecha y limitación del crecimiento de las raíces. En Colombia este fenómeno es de rara ocurrencia, debido a una menor concentración de la cosecha, una continua formación y mayor duración del follaje, a unas condiciones físicas del suelo favorables para un buen desarrollo de raíces y a la disponibilidad de agua casi permanente.

Un aspecto de gran interés en la repartición de asimilados en la planta de café es la ocurrencia de fotosíntesis en los frutos en desarrollo, los cuales pueden representar entre el 2 y el 30% de la superficie fotosintética total en árboles con cosecha abundante.

En Colombia, en algunas zonas con deficiencias hídricas severas es frecuente encontrar el fenómeno de grano negro, el cual además de una deficiencia hídrica en la fase de crecimiento acelerado de los frutos, podría estar asociado también a problemas de limitación de la fuente.

Tabla 3.9. Distribución de la materia seca en cinco variedades de *C. arabica* L. (Arcila, 1990).

Parte de la planta	Porcentaje del peso seco total de la planta				
	Caturra	Colombia	Catuai	Erecta	Caturra x San Bernardo
Raíz	16-19	13-15	14-17	13-17	13-17
Tallo	21-32	28-32	26-32	21-34	16-27
Ramas	18-23	18-24	18-25	21-30	22-39
Hojas	19-29	19-27	19-30	21-30	21-38
Frutos	7-16	4-17	2-12	6-14	3-14
Parte aérea	81-84	85-87	82-88	85-87	83-87

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. La cosecha de un semestre depende de la cantidad de ramas y nudos formados en el semestre anterior. Sin embargo, de estas ramas y nudos solamente es apta para producir aquella fracción que tenga la edad adecuada. Las ramas y nudos menores de 3 meses no están en capacidad para producir, mientras que en los nudos más viejos donde ya se produjo, no se vuelve a obtener producción. Esto significa que el potencial de producción por cafeto en un semestre determinado dependerá del número de nudos formados el semestre anterior, que estén aptos para florecer, y del número de frutos que se generen en cada nudo. Existe un potencial de formación de 30 a 35 frutos en cada nudo, pero en la práctica y por efecto de múltiples factores, solamente se obtienen entre 8 y 10 frutos por nudo.

en la parte área entre el 80 y 85% del peso seco total de la planta y en las raíces aproximadamente el 15%. Las hojas representan entre el 19 y el 30%, y el índice de cosecha varió entre 5 y 15% .

El término índice de cosecha es de difícil aplicación para la planta de café, por su carácter perenne y crecimiento vegetativo y reproductivo continuo.

La presencia de la roya del cafeto en Colombia, ha alterado este equilibrio de la planta, en su relación fuente-vertedero, limitando de una parte la fuente por la pérdida de superficie foliar y la alteración del metabolismo fotosintético, y alterando el vertedero, el cual se incrementa. El resultado es similar al del exceso de fructificación descrito.

Componentes de la producción y la productividad de *Coffea arabica*

Producción por árbol (componentes de la producción)

La capacidad productiva de la planta de café está directamente ligada a la capacidad genética de cada variedad y su grado de expresión, es decir, la cantidad, la calidad y la distribución de la cosecha dependen de la interacción con el ambiente y las prácticas de manejo. El potencial de producción de la planta varía de año en año, y está determinado por la cantidad de ramas formadas sobre el tallo principal, la cantidad de nudos formados en las ramas (Figuras 3.12A y 3.12B), la cantidad de frutos formados en los nudos que alcancen a llegar a la maduración, y por el rendimiento en términos de la conversión de café cereza a café pergamino seco y a café trillado (Salazar *et al.*, 1989; Cannell, 1973). Estas variables son denominadas componentes de producción del cafeto y mediante su integración en una expresión de tipo multiplicativa como la siguiente, puede tenerse una aproximación a un potencial de producción:

$$P(\text{Planta}) = NR \times Nuf \times FNu \times PF \times FC$$

Donde:

P = Producción

NR = Número de ramas con producción

Nuf = Número de nudos con frutos por rama

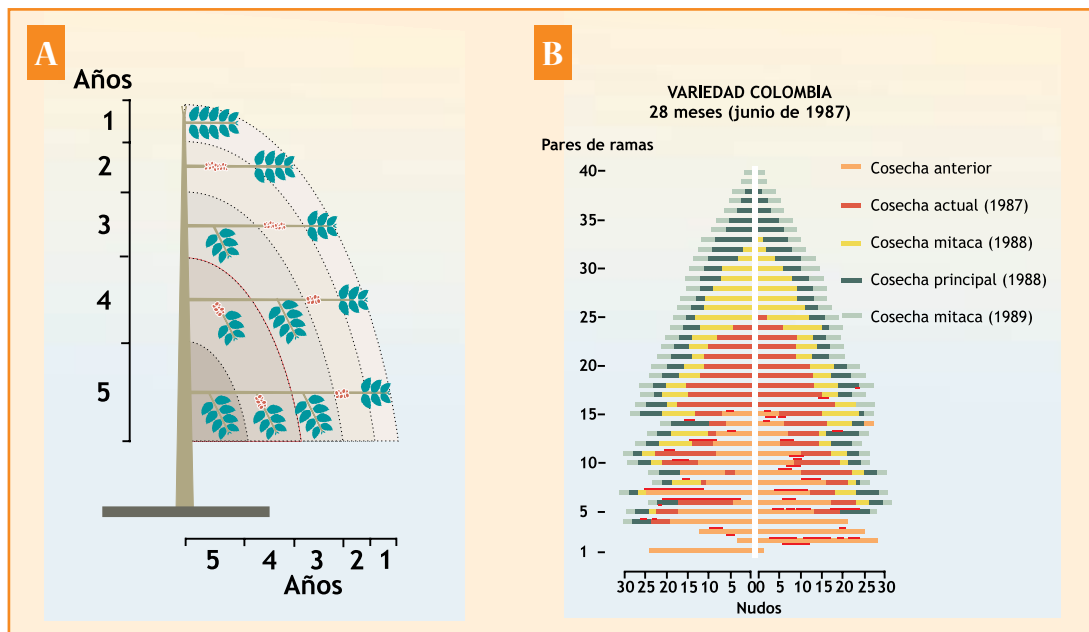


Figura 3.12 A). Representación esquemática del crecimiento del cafeto durante un ciclo de producción de 5 años; B). Periodicidad del crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo del cafeto en una planta de 30 meses (Arcila, 1990).

FNu = Número de frutos por nudo
 PF = Peso por fruto
 FC = Factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (cc/cps)

Efecto del sombrío sobre los componentes de producción de la planta. En una investigación realizada por Castillo y López (1966), se sometieron plantas de café variedad Borbón, a intensidades de sombra de 25, 50, 75 y 100%. Se encontró que el número de nudos por rama, el número de hojas, el número de glomérulos con flores y el número de flores por nudo, disminuía a medida que se aumentaba la cantidad de sombra (Figura 3.13).

Competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Durante el ciclo de vida de la planta de café y especialmente en las regiones ecuatoriales donde no hay una alternancia bien definida de períodos húmedos y secos, como sería el caso de la zona cafetera colombiana, se presenta una superposición de estados vegetativos y reproductivos, por ejemplo:

Llenado de la cosecha del primer semestre con las floraciones para la cosecha del segundo semestre; la cosecha del primer semestre con el crecimiento rápido de los frutos para la cosecha del segundo semestre; las floraciones para la cosecha del primer semestre con el llenado de la cosecha para el segundo semestre; el crecimiento rápido de los frutos para la cosecha del primer semestre con la maduración de los frutos para la cosecha del segundo semestre. Esta superposición de etapas origina la competencia por asimilados entre órganos y entre los estados vegetativos y reproductivos, y podría alterar la época de ocurrencia y escalamiento de los estados y la cantidad y calidad de la cosecha, y explican en parte el fenómeno de la **bienalidad de la producción**.

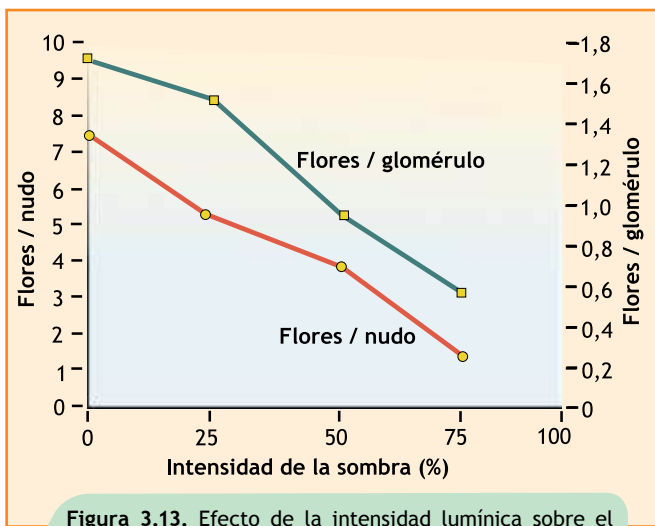


Figura 3.13. Efecto de la intensidad lumínica sobre el desarrollo de nudos y flores en la planta de café. Adaptado de Castillo y López (1966).

Producción por hectárea

El otro elemento determinante de la producción de la finca está relacionado con la producción por unidad de superficie y la cantidad de área sembrada.

La producción de la planta en comunidad (por ejemplo, la producción por hectárea) estará afectada por factores como: densidad (número de sitios sembrados o número de plantas o de tallos), edad, cantidad de radiación incidente, cantidad de sombrío, temperatura, precipitación, fertilización (suelo) y control de arvenses, plagas o enfermedades, entre otros. El modelo básico para estimar la producción por hectárea es el siguiente:

$$\text{Producción/ha} = \text{Número de plantas/ha} \times \text{Producción/Planta}$$

Este modelo se puede volver más complejo en la medida que se le incorporen otras variables asociadas con los factores determinantes de la producción discutidas anteriormente.

Cantidad y calidad de cosecha. Entre todos los componentes del sistema de producción debe darse un equilibrio, para que el resultado final se refleje en una alta productividad y calidad de la cosecha.

Cuando por diversas circunstancias, uno o varios de los componentes no se encuentra en un nivel adecuado, la cantidad y la calidad de la cosecha se verán afectados por el desequilibrio en uno o varios de los componentes del sistema. A continuación se presentan las principales propiedades físicas y factores de conversión asociados al sistema de producción de café.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Para la obtención de una alta producción por unidad de área, el modelo tecnológico que se utilice debe permitir mantener la mayor cantidad de nudos productivos por área, con la mayor cantidad de frutos por nudo y el mayor peso de granos por fruto.

Algunas propiedades físicas y factores de conversión del café

Las constantes físicas del café son las relaciones físicas existentes entre el peso y el volumen, el contenido de humedad y otras características del fruto del café, teniendo en cuenta los diferentes estados en que se puede transformar el producto desde

cereza madura hasta café almendra. Además, son un instrumento útil para evaluar el sistema productivo, facilitan las operaciones comerciales, el diseño de los beneficiaderos, así como el diseño y calibración de los diferentes dispositivos y máquinas empleados en el proceso de beneficio del café. Los factores de conversión son importantes en la economía del café, pues los caficultores basan sus decisiones comerciales en estos.

Las propiedades físicas y los factores de conversión en café que se tienen actualmente como referencia para la producción de café en Colombia, fueron publicados hace más de dos décadas por Uribe (1977). Cuando se formularon estas constantes no se discriminaron las posibles diferencias por factores propios del proceso de producción como la variedad cultivada, el tipo de manejo agronómico, la edad del cultivo, la región geográfica y la altitud, entre otros. Así mismo, también han ocurrido cambios sustanciales en el proceso de beneficio y adicionalmente otros factores como la llegada de la roya (*Hemileia vastatrix*) y la broca (*Hypothenemus hampei*), que afectan el rendimiento del proceso productivo del café. Montilla (2006), realizó una caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café desde fruto maduro hasta grano almendra, en la variedad Colombia. Los frutos se recolectaron en fincas de los municipios de Chinchiná, Manizales, Villamaría y Palestina (Caldas), en tres etapas de la cosecha del segundo semestre del 2005. Se emplearon dos tipos de muestras, una de café maduro seleccionado sin defectos y otra sin seleccionar, y para cada muestra se tomaron submuestras que fueron sometidas a análisis físicos y mediciones. A continuación se hace la comparación de los datos

obtenidos en este experimento con los resultados de Uribe (1977). En las Tablas 3.10 y 3.11 se presentan las variables que no son comunes y en las Tablas 3.12, 3.13 y 3.14 se muestran los valores promedio obtenidos para las variables evaluadas que son comunes en los dos estudios.

De los datos de la Tabla 3.10 se puede inferir que para el café pergamino y el café almendra, la labor de seleccionar la muestra antes de iniciar el beneficio es una práctica importante para disminuir los defectos y mantener la calidad del café. La Tabla 3.12 muestra que los valores para las densidades aparentes del café en todos sus estados fueron mayores que los encontrados por Uribe (1977); mientras que Oliveros y Roa (1985), registran valores de 665 kg.m⁻³, 894 kg.m⁻³, 758 kg.m⁻³, 439 kg.m⁻³ y 776 kg.m⁻³ para el fruto, el café en baba, el café lavado, el café pergamino seco y el café almendra, respectivamente.

Según los datos de Montilla (2006), en los dos tipos de muestras evaluadas, fueron mayores los valores de las relaciones café cereza/café baba, café cereza/café lavado, café cereza/café pergamino, café cereza/café almendra, café baba/café almendra, café lavado/café pergamino, café lavado/café almendra y café pergamino/pulpa fresca (Tabla 3.13); mientras que para las relaciones café cereza/pulpa fresca y café baba/café lavado estos valores fueron menores. Finalmente, para las relaciones café baba/café pergamino y café pergamino/café almendra los datos fueron semejantes en los dos estudios. No obstante, en la práctica las relaciones de conversión de los dos estudios son muy similares y están dentro de los parámetros que se utilizan actualmente

Tabla 3.10. Calidad del café en frutos, café pergamino seco y en almendra, var. Colombia

	Montilla (2006)	
	Café seleccionado	Café sin seleccionar
Calidad de la masa recién cosechada (%)		
Granos verdes	0	9,45
Granos sobremaduros	0	6,13
Granos secos	0	4,48
Granos perforados por broca	0	6,04
Calidad de la masa en pergamino (%)		
Grano guayaba	0,85	2,67
Grano pelado	0,33	0,76
Impurezas	0,39	0,83
Total defectos	1,58	4,27
Calidad de la masa en almendra (%)		
Grano vinagre	0,43	0,83
Grano decolorado veteado	0,41	0,67
Grano mordido o cortado	1,33	1,93
Grano brocado	1,81	3,72
Grano astillado o partido	0,82	0,94
Grano inmaduro	0,23	0,47
Otros defectos	0,36	0,56
Total defectos	5,41	9,12

para la comercialización y calificación de la calidad del café. Es difícil dar una explicación a las diferencias debido a que en el trabajo de Uribe (1977), se trabajó con café var. Caturra en ausencia de la roya y la broca, y no se especificó el tipo de muestra ni las metodologías empleadas para los análisis.

De acuerdo a los datos en la Tabla 3.11, la muestra seleccionada tuvo el valor más alto de café almendra después de trilla; por tanto, se obtiene más café pergamino en buen estado y mayor porcentaje de café supremo (retenido en malla 17).

Tabla 3.11. Análisis granulométrico del café almendra.

	Café seleccionado	Café sin seleccionar
Peso después trilla (g)	194,08	185,39
Café almendra en malla 17 (%)	73,32	67,32
Café almendra en malla 16 (%)	16,96	18,93
Café almendra en malla 15 (%)	6,83	8,76
Café almendra en malla 14 (%)	2,33	3,75
Café almendra en malla 12 (%)	0,50	1,15
Café almendra en malla 0 (%)	0,04	0,05

Tabla 3.12. Propiedades físicas del café var. Colombia.

	Uribe (1977)	Montilla (2006)	
		Café seleccionado	Café sin seleccionar
Densidad aparente (kg m⁻³)			
Fruto	600	621,57	616,50
Pulpa fresca	270	299,74	298,20
Grano de café baba	800	826,71	803,40
Grano de café lavado	650	701,87	693,66
Grano de café escurrido	s.d.	687,17	678,31
Grano de café seco de agua	520	s.d.	s.d.
Grano de café pergamino	380	391,44	385,75
Grano de café almendra	680	709,99	707,31
Peso (g)			
Un fruto	2,00	1,99	1,85
Un grano de café baba	s.d.	0,57	0,55
Un grano de café lavado	s.d.	0,40	0,39
Un grano de café escurrido	s.d.	0,39	0,38
Un grano de café pergamino	0,22	0,21	0,21
Un grano de café almendra	0,18	0,18	0,18
Diámetros (mm)			
Diámetro ecuatorial			
Fruto	s.d.	14,37	13,99
Grano de café baba	s.d.	9,24	9,02
Grano de café lavado	s.d.	8,70	8,63
Grano de café escurrido	s.d.	8,80	8,64
Grano de café pergamino	s.d.	8,55	8,43
Grano de café almendra	s.d.	7,11	7,04
Diámetro polar			
Fruto	s.d.	15,96	15,77
Grano de café baba	s.d.	12,72	12,35
Grano de café lavado	s.d.	12,31	12,22
Grano de café escurrido	s.d.	12,38	12,03
Grano de café pergamino	s.d.	12,01	11,87
Grano de café almendra	s.d.	9,69	9,48

s.d.: sin dato

Tabla 3.13. Relaciones de conversión de las variedades Caturra (Uribe, 1977) y Colombia (Montilla, 2006).

	Uribe (1977)	Montilla (2006)	
		Café seleccionado	Café sin seleccionar
La pulpa representa en el fruto (%)			
En base húmeda	40	44,02	43,58
En base seca	s.d.	20,35	20,40
El grano representa en el fruto (%)			
En base húmeda	60	55,98	56,42
En base seca	s.d.	49,41	48,84
El agua representa en el fruto (%)	s.d.	30,24	30,76
Relación café cereza/café baba	1,67	1,81	1,80
Relación café cereza/café lavado	2,43	2,56	2,46
Relación café cereza/café pergamino	4,5	4,94	4,89
Relación café cereza/café almendra	5,56	6,23	6,23
Relación café cereza/pulpa fresca	2,4	2,30	2,33
Relación café baba/café lavado	1,46	1,41	1,37
Relación café baba/café pergamino	2,71	2,74	2,71
Relación café baba/café almendra	3,39	3,43	3,44
Relación café lavado/café seco de agua	1,26	s.d	s.d.
Relación café lavado/café pergamino	1,85	1,93	1,97
Relación café lavado/café almendra	2,31	2,42	2,51
Relación café pergamino/café almendra	1,25	1,25	1,26
Relación café pergamino/pulpa fresca	0,56	0,46	0,48
Porcentaje de merma en trilla	18,00	17,75	18,40
Rendimiento en trilla	s.d	90,75	95,99

S.d. Sin dato

Con base en los resultados anteriores se han establecido los factores de conversión para realizar las transformaciones entre los estados del grano de café (Tabla 3.14).

De acuerdo con la época de cosecha se observaron algunas variaciones en las propiedades físicas y los factores de conversión. Esto se explica porque las condiciones climáticas y el volumen y la distribución de la cosecha son específicas de cada año. Un café sometido a una selección rigurosa para eliminar la mayor cantidad de defectos, escogiendo sólo cerezas maduras, presenta las mejores características físicas y por tanto, mejores rendimientos y calidad del café. Las relaciones de conversión fueron muy similares entre los tipos de muestra. El porcentaje de merma y el rendimiento estuvieron en los rangos óptimos de calidad en la muestra seleccionada y justifican la labor de seleccionar el café antes del beneficio. Y, se considera que los rendimientos pueden ser aún mejores, ya que se observaron deficiencias en la calidad de la masa que representaron un porcentaje de pasillas de 5,41 y 9,19% para el café seleccionado y sin seleccionar, respectivamente, siendo el límite máximo permitido por

la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia de 5,5%, en las normas de calidad de café.

Sistemas de producción de café

Un sistema de producción se define como el conjunto de factores y opciones tecnológicas que al interactuar entre ellos, permiten obtener la máxima productividad desde el punto de vista biológico, económico y social.

El sinnúmero de características edafológicas, climáticas y socioeconómicas en que se cultiva el café en Colombia da lugar a una amplia gama de sistemas de producción. En Colombia se pueden distinguir los siguientes sistemas de producción de café:

Sistemas de producción de café a libre exposición solar. Se desarrollan bien en las zonas con suelos aptos en cuanto a características físicas y de fertilidad, y una apropiada disponibilidad de energía solar y de agua (regímenes de lluvia suficiente para las necesidades del cafeto y muy buena distribución durante todo el año). En

Tabla 3.14. Factores de conversión para realizar transformaciones entre los estados del grano de café.

Para convertir de	A	Multiplique por		
		Uribe (1977)	Montilla (2006)	
			Café seleccionado	Café sin seleccionar
Cereza	Pergamino	0,22	0,20	0,20
	Baba	0,60	0,55	0,55
	Almendra	0,18	0,16	0,16
	Seco de agua	0,32	s.d	s.d
	Húmedo	0,41	0,39	0,41
	Pulpa fresca	0,40	0,43	0,43
	Pulpa mojada	0,48	s.d	s.d
Pergamino	Cereza	4,50	4,94	4,89
	Almendra	0,80	0,80	0,79
	Baba	2,71	2,74	2,71
	Húmedo	1,85	1,93	1,97
	Seco de agua	1,46	s.d	s.d
	Pulpa fresca	1,77	2,15	2,09
	Pulpa mojada	2,13	s.d	s.d
Baba	Pergamino	0,37	0,36	0,37
	Almendra	0,29	0,29	0,29
	Cereza	1,67	1,81	1,80
	Húmedo	0,95	0,71	0,73
	Seco de agua	0,54	s.d	s.d
Almendra	Pergamino	1,25	1,25	1,26
	Baba	3,39	3,43	3,44
	Cereza	5,56	6,23	6,23
	Húmedo	2,31	2,42	2,51
	Seco de agua	1,82	s.d.	s.d.
Húmedo*	Seco de agua	0,79	s.d.	s.d.
	Pergamino	0,54	0,51	0,50
	Cereza	2,43	2,56	2,46
	Baba	1,46	1,41	1,37
	Almendra	0,43	0,41	0,40
Seco de agua	Pergamino	0,68	s.d.	s.d.
	Cereza	3,09	s.d.	s.d.
	Húmedo	1,26	s.d.	s.d.
	Baba	1,84	s.d.	s.d.
	Almendra	0,54	s.d.	s.d.
Pulpa fresca	Cereza	2,40	2,30	2,33
	Pergamino	0,56	0,46	0,48
	Mojada	1,20	s.d.	s.d.
Pulpa mojada	Cereza	2,08	s.d.	s.d.
	Pergamino	0,47	s.d.	s.d.
	Fresca	0,83	s.d.	s.d.

*café lavado; s.d. Sin datos.

este tipo de sistemas se utilizan densidades de siembra altas, entre 7.500 y 10.000 plantas por hectárea y son altamente productivos (2.500 - 4.000 kg café pergamino seco por hectárea). Cerca del 30% de la caficultura colombiana se encuentra a plena exposición solar.

Sistemas agroforestales con café (café bajo sombra). En estos sistemas se utilizan árboles para proporcionar diferentes niveles de sombrío dependiendo de la especie y el arreglo espacial. Se emplean principalmente en zonas con limitaciones para un adecuado desarrollo del

cultivo, por condiciones climáticas o de suelos, ya sea por la presencia de períodos secos prolongados o de suelos con limitaciones físicas y de fertilidad o erosionados. En estos sistemas la densidad de siembra óptima (2.000 a 3.000 plantas por hectárea) y la productividad (500 - 1.000 kg café pergamino seco por hectárea) son menores que en cafetales a libre exposición. Cerca del 70% de la caficultura colombiana se encuentra bajo algún tipo de sombrío.

Un importante número de caficultores que no poseen los recursos económicos suficientes para sostener adecuadamente sus predios, la mayor parte de ellos con áreas muy pequeñas en café, con predominio de variedades de porte alto, de mucha edad, con un manejo mínimo del cultivo y donde la renovación es prácticamente nula, optan por el sistema de cultivo de café bajo sombra.

En ambos sistemas de producción se puede tener el café a libre crecimiento o con podas y con tallos simples o tallos múltiples.

Sistemas de producción de cafés especiales. Recientemente oportunidades específicas de mercado han estimulado el surgimiento de otros sistemas de producción denominados “cafés especiales”, los cuales requieren el cumplimiento de normas específicas ya sea para la producción o en las características del producto para un mercado particular. Entre estos sistemas se destacan los siguientes:

Cafés de origen (regionales, exóticos, de finca).
Cafés sostenibles o de conservación (orgánicos, amigables con las aves o de sombra y, de precio justo o social).

Establecimiento del cafetal

Jaime arcila Pulgarín.



Administración del cafetal

El conjunto de prácticas que se llevan a cabo en los cafetales con la finalidad de mantener a través del tiempo, una producción estable y por un tiempo indefinido es lo que constituye la administración del cafetal.

La administración adecuada de un cafetal implica fundamentalmente tomar las decisiones correctas, en el momento oportuno. Para este efecto deben establecerse unos objetivos muy claros, evaluar el progreso de las actividades encaminadas al logro de estos objetivos, hacer oportunamente los ajustes necesarios y medir el resultado.

Objetivos de la administración del cafetal

- Obtener una producción promedio lo más cercana a aquella alcanzable en condiciones de cultivo comercial.
- Que esta producción tenga la menor variación entre años.
- Que la operación de recolección sea lo menos costosa posible.
- Que la producción sea continua.

¿Qué comprende la administración del cafetal?

- Planificar el establecimiento del cafetal.
- Establecer una densidad de siembra óptima.
- Utilizar formas económicas de obtener la densidad de siembra óptima.
- Emplear sistemas de renovación que contribuyan a estabilizar la producción de la planta en el tiempo.
- Fijar ciclos de renovación que contribuyan a la estabilización de la producción de la finca.
- Planificar y manejar adecuadamente los sistemas agroforestales.
- Integrar sistemas de cultivos múltiples (intercalamiento).
- Considerar la posibilidad de producir cafés especiales.
- Establecer buenas prácticas de manufactura.
- Adoptar un manejo sostenible de la caficultura.

Planificar el establecimiento del cafetal. Debido a que el café es una planta perenne, su explotación comercial generalmente alcanza hasta 20 años y comprende un ciclo de producción después de la siembra que dura unos seis años, con unos tres ciclos de renovación. La planificación del manejo del cafetal debe contemplar

entonces dos situaciones: siembra nueva o renovación de un cultivo ya establecido. Para cada caso existen una serie de preguntas que deben resolverse dependiendo del sistema de cultivo que se quiera establecer.

Siembra:

- ¿Requiere sombrero o se establece a libre exposición?
- ¿Variedad conveniente? (porte alto, porte bajo)
- ¿Densidad óptima? (una planta por sitio, dos plantas, qué arreglo?)
- ¿Necesita podas? En qué momento?
- ¿Cuándo se va a renovar? (duración del ciclo)
- ¿Qué sistema de renovación? (planta, surcos, lotes)

Cultivo establecido:

- ¿Necesita eliminación y siembra nueva?
- ¿Qué tipo de renovación puede realizarse? (podas de formación, podas de producción)
- ¿Cuándo se va a renovar? (duración del ciclo)
- ¿Qué sistema de renovación? (planta, surcos, lotes)

En el transcurso de este capítulo se espera dar respuesta a estos interrogantes.

Sistemas de propagación (semilla, germinadores, almácigos)

La semilla y su proceso germinativo

Una de las etapas más importantes del cultivo del café es la referente a la semilla, el germinador y el almácigo, pues aunque esta fase tiene una duración de ocho meses, es la base del éxito de una inversión a largo plazo: hasta 20 años o un poco más. Todo comienza con definir, cuál variedad de café va a sembrarse y cómo obtener la semilla.

Obtención de la semilla. En el caso de las variedades tradicionales, como las variedades Caturra, Típica y Borbón, la semilla debe obtenerse de árboles sanos, productivos, de frutos maduros y bien formados (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1979).

Las cerezas deben despulparse manualmente o dependiendo de la cantidad puede utilizarse una despulpadora con el cilindro previamente graduado para no causar daños al pergamino. Los granos de café despulados deben fermentarse y lavarse con agua limpia al otro día; no debe utilizarse el desmucilaginator mecánico pues éste puede ocasionar daños al embrión de la semilla que está ubicado muy superficialmente, y de esta manera puede verse afectada notoriamente la germinación. La semilla lavada debe secarse a la

sombra y con buenas condiciones de aireación. Cuando se efectúa el secado mecánico, durante las primeras 24 horas, debe utilizarse solamente aire del ventilador y luego aplicar calor a una temperatura no mayor de 37°C. Al final del proceso, la semilla debe tener una humedad entre el 11 y el 12%.

En el caso de las variedades mejoradas como la Variedad Castillo®, de amplia adaptación, y las Variedades Castillo® regionales, la semilla se obtiene a través de los Comités de Cafeteros y es producida por Cenicafé, pues como se trata de cultivares en cuya composición entran muchos materiales de procedencia genética diferente, su producción debe ser muy cuidadosa para garantizarle al caficultor una buena calidad de su composición (Alvarado, 2004).

Recientemente se está produciendo la variedad Tabi, una variedad de porte alto con resistencia genética a la roya del cafeto y cuya semilla tiene el mismo tratamiento de la Variedad Castillo®.

Características de la semilla. La semilla de café es una nuez, oblonga, plano convexa, de tamaño variable (10 - 18 mm de largo y 6,5 - 9,5 mm de ancho) y constituida en su mayor parte por un endosperma córneo en uno de cuyos extremos y muy superficialmente se encuentra un embrión de 3,5 a 4,5 mm de largo, de radícula cónica y cotiledones cordiformes. Este endosperma está recubierto por una capa muy fina de células esclerenquimatosas (película plateada) de cerca de 70 micrómetros de espesor y dispuestas en su mayoría en forma paralela a la superficie. La semilla está además encerrada en forma suelta dentro de una envoltura cartilaginosa de color blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor, que corresponde al endocarpio o pergamino del fruto (Dedecca, 1957).

La composición química de la semilla de café muestra que es muy rica en carbohidratos (60%), contenidos intermedios a bajos de lípidos (13%) y proteínas (13%), y contenidos de cafeína entre 1 y 2%. Estas reservas están almacenadas en el endosperma y durante la germinación son hidrolizadas y movilizadas hasta el embrión para ayudar a su crecimiento (Poisson, 1977).

Germinación de la semilla. La madurez fisiológica de la semilla de café se alcanza entre los 200 y los 220 días después de la antesis (Franco y Alvarenga, 1981). Aunque la semilla carece de un período de latencia, debido a que las semillas húmedas (40-45% humedad) o secas (11-13% de humedad) alcanzan un porcentaje de germinación alrededor del 90%, posee características morfológicas especiales que afectan la germinación como son: la presencia del endocarpio (pergamino) y la ubicación casi superficial del embrión dentro de la semilla.

Una semilla con el endocarpio (pergamino) presente, germina entre los 50 y 70 días y la remoción del mismo acelera la germinación en 20 días, aproximadamente (Figura 4.1) (Huxley,1964; Valencia, 1970; Valio,1980; Velasco y Gutiérrez, 1974).

La ubicación superficial del embrión en la semilla lo predispone a daños mecánicos o por condiciones ambientales adversas (ejemplo: frío y calor excesivos), y a su expulsión por efecto del agua cuando la semilla está deteriorada (Quintero, 1968).

Otra característica de la semilla de café es la pérdida rápida de su viabilidad cuando se almacena con un contenido alto (35-40%) o bajo (12-15%) de humedad en una atmósfera no controlada, ya que después de cinco meses en estas condiciones, el poder germinativo es menor del 60% (Figura 4.2) (Valencia, 1970).

Indicadores tempranos de la germinación. Durante la germinación de la semilla de café ocurren cambios específicos en su apariencia física, que son útiles para establecer en forma temprana su viabilidad y vigor. En estudios de germinación de café donde se emplearon semillas a las cuales se les retiró previamente el endocarpio (pergamino), y que se dispusieron en cajas plásticas con toallas de papel húmedo, en oscuridad y en condiciones de laboratorio de 70% de humedad y 25°C de temperatura media, se observaron los siguientes cambios (Figura 4.3) (Arcila, 1985; Arias, 1987):

Estado 1: Durante los primeros 5 días de imbibición, la semilla va cambiando del color verde-azuloso, típico del café almendra a blanco. Al octavo día, 50% o más de las semillas muestran un abultamiento (hinchamiento) en el extremo del embrión, que corresponde a la radícula de la futura planta (Figura 4.3A).

Estado 2: Al cabo de 14 días, en más del 50% de las semillas ha emergido la radícula (brotación) (Figura 4.3B).

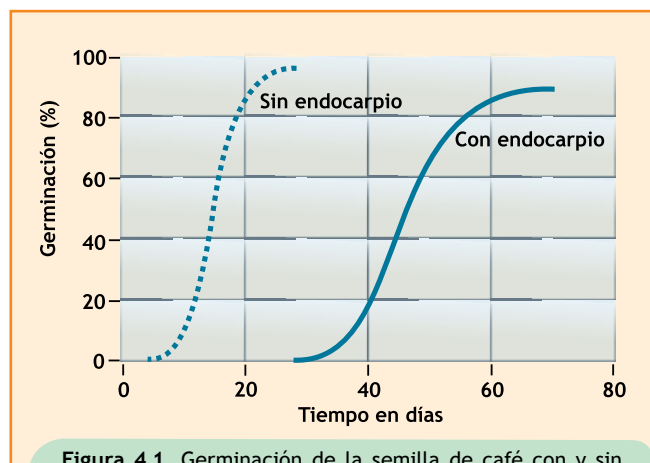


Figura 4.1. Germinación de la semilla de café con y sin endocarpio (Valio, 1980).

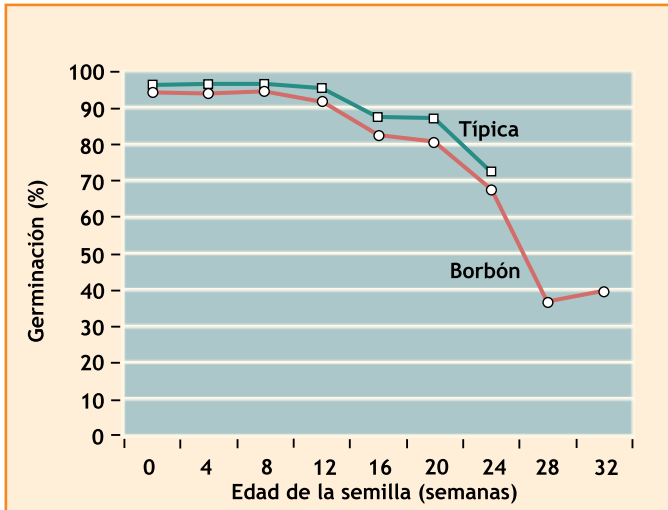


Figura 4.2. Porcentaje de germinación y días de germinación de semillas de café en las variedades Borbón y Típica, según la edad de almacenamiento en condiciones no controladas (Valencia, 1970)

Estado 3: Al término de 18 días, más del 50% de las semillas muestran la radícula con curvatura geotrópica y de un color rosado característico (germinación temprana) (Figura 4.3C).

Estado 4: A los 25 días, la radícula se ha extendido y muestra engrosamiento en su base (germinación tardía) (Figura 4.3D).

Estado 5: A los 30 días, la radícula se ha alargado y tiene ramificaciones laterales (Figura 4.3E).

Para evaluar la viabilidad de la semilla del café, los estados 1, 2 y 3 no son criterios suficientes puesto que involucran una simple respuesta física a la imbibición, mientras que el Estado 4, puede emplearse como un adecuado indicador de la germinación (Figura 4.3D).

Factores que afectan la germinación

En condiciones de campo, la germinación de la semilla de café es afectada por las condiciones de su manejo

durante el proceso de cosecha y postcosecha, así como por los factores ambientales.

Sistema de beneficio. Los resultados de pruebas de germinación de varios años, en las subestaciones experimentales destinadas a la producción de semilla en Cenicafé, muestran que cuando el proceso de beneficio tradicional se hace de acuerdo a las normas establecidas y con los ajustes necesarios para el caso de la semilla, no se afecta la germinación (Sierra *et al.*, 1990; Alvarado, 2004).

En el caso del beneficio utilizando el BECOLSUB, se encontró que la semilla puede sufrir algún daño mecánico (Sierra *et al.*, 1990), que se refleja en la presencia hasta de un 10% de plántulas con raíz bifurcada (Velázquez *et al.*, 2003). En las evaluaciones efectuadas se ha encontrado que este disturbio no afecta el crecimiento de la planta en sus dos primeros años de desarrollo; no obstante, se tienen pendientes los resultados en la fase productiva (Velásquez, 2004).

Secado de la semilla. De acuerdo con la tolerancia a la desecación, las semillas pueden clasificarse como “ortodoxas” o “recalcitrantes”. Las semillas ortodoxas al desprenderse de la planta poseen bajos contenidos de humedad y pueden tolerar mayor desecación sin dañarse, mientras que las semillas recalcitrantes al desprenderse de la planta tienen altos contenidos de humedad, son muy sensibles a la desecación y pierden su viabilidad rápidamente aun con altos contenidos de humedad. La semilla de café se ha clasificado como un tipo intermedio ya que presenta comportamientos de tolerancia a la desecación propios de ambos grupos (Ellis, 1990; Eira *et al.*, 2006).

El secado de la semilla lleva implícito dos situaciones: 1) La temperatura de secado y 2) el contenido final de humedad de la semilla. Aunque se ha sugerido que las semillas de café deben secarse a la sombra, se ha demostrado que es posible secarlas al sol o artificialmente hasta 45°C, siempre y cuando no se rebaje el contenido de humedad del grano del 12-13% (Arcila, 1976). En Brasil, Bacchi (1955, 1956), estableció que el nivel crítico de humedad del grano para germinación está entre el 8 y el 9% (Tabla 4.1).

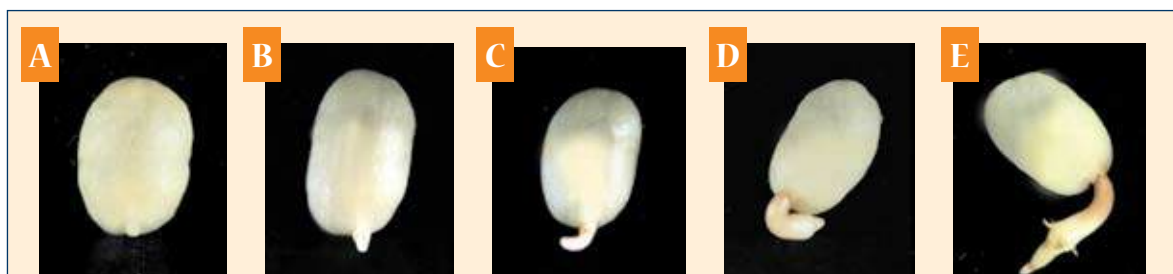


Figura 4.3. Cambios tempranos de la semilla de café durante su germinación. A) Imbibición e hinchamiento; B) Brotación; C) Curvatura geotrópica; D) Engrosamiento de la radícula; E) Elongación de la radícula y formación de raíces laterales (Arcila, 1985).

Tabla 4.1. Influencia de la temperatura de secado en la germinación de semillas de *C. arabica* L. var. Caturra. (Contenido de humedad de la semilla: 12-13%) (Arcila, 1976).

Temperatura de secado (°C)	Porcentaje de germinación
A la sombra (temperatura ambiente)	95
Estufa a:	
25	95
30	94
35	92
40	95
45	95
50	80
55	45
60	4
70	0
80	0

Sierra *et al.* (1990), evaluaron el efecto de temperaturas de 30, 45 y 60°C del aire de secado y encontraron que a 45 y 60°C, la capacidad germinativa de la semilla se redujo gradualmente a medida que evolucionaba el secado. Esta pérdida de capacidad germinativa fue mayor a 60°C. Al analizar la evolución del calentamiento de la semilla durante el secado se observó que la germinación de las muestras empezaba a reducirse cuando éstas habían alcanzado una temperatura de 40°C. Este fenómeno ocurrió independientemente de la humedad de la semilla en ese instante. La germinación de la semilla se redujo más drásticamente cuando éstas tuvieron un porcentaje de humedad por debajo del 10% (b.h.).

Requerimientos de luz. Hay discrepancia sobre el efecto de la luz (cantidad y calidad) en la germinación

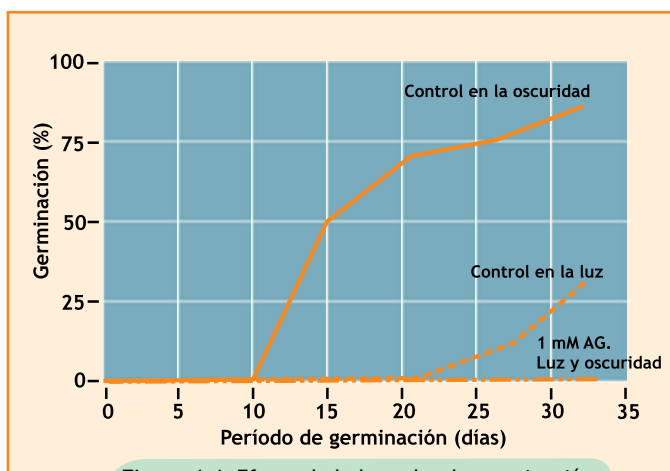


Figura 4.4. Efecto de la luz sobre la germinación de la semilla de café (Takaki y Dietrich, 1979).

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Se recomienda brindar condiciones de penumbra con costales y latas de guadua al germinador y que cuando emerjan los primeros fósforos se retiren los costales y las latas de guadua paulatinamente, hasta que aparezcan las chapolas.

de la semilla del cafeto. Según Huxley (1964), la semilla germina bien en condiciones de luz difusa, pero otros han observado una mayor germinación en condiciones de oscuridad (Figura 4.4) (Valio, 1980). Arcila (1983), observó un efecto inhibitorio de la luz en la morfogénesis de la raíz, que no afecta la emisión de la radícula, ya que en las semillas germinadas en la oscuridad la radícula presentaba mayor desarrollo de raíces absorbentes pero igual porcentaje de germinación que las semillas expuestas a la luz. En otro estudio se encontró que la presencia del endocarpio y la luz retardaron apreciablemente el proceso de germinación.

Temperatura. Según la literatura, la temperatura óptima para que germine la semilla de café es de 28-30°C (Tabla 4.2) (Wellman y Toole, 1960; Huxley, 1964). En Cenicafé se ha observado que las semillas germinan bien a temperatura ambiente (20 - 25°C).

Humedad. Es importante mantener saturación de humedad en el medio para que la semilla se embeba y se inicien los procesos metabólicos característicos de la germinación.

Rehidratación de la semilla. Se ha encontrado que no es necesario remojar las semillas previamente a su siembra en el germinador (Arcila y Botero, 1985).

Medio de germinación. En Cenicafé se evaluaron: la arena lavada de río, tierra cernida + pulpa, borra de café y aserrín de madera, y se encontró que cualquiera de estos materiales puede utilizarse con éxito en los

Tabla 4.2. Efecto de la temperatura en la germinación de la semilla de café.

Wellman y Toole, 1960		Huxley, 1964	
T (°C)	Germinación	T (°C)	Germinación (%)
20	Muy lenta e irregular	24 (arena)	99,5
25	Lenta pero satisfactoria	24	99,3
28-30	Buena y rápida	29	99,0
35	Pobre	34	96,0
40	Pobre	39	Nula
-		44	Nula

germinadores de café (Cenicafé, 1971) sin embargo, la arena de río lavada es un sustrato inerte de más fácil consecución.

Desinfestación del medio de germinación. El volcamiento o mal del talluelo causado por el hongo *Rhizoctonia solani* es la principal enfermedad del café en la etapa de germinador. Para prevenirla se recomienda tratar la arena lavada de río que se utiliza como sustrato, con el fungicida tiabendazol (Mertect) en dosis de 10 ml en 2 litros de agua, para un metro cuadrado de germinador. Este tratamiento debe hacerse antes de sembrar las semillas (Gaitán, 2003). Recientemente, se ha demostrado que la aplicación del hongo *Trichoderma harzianum* (comercialmente Tricho-D, 10 g/L de agua) tiene el mismo efecto (Castro y Rivillas, 2005).

Tamaño y forma de la semilla. Según Castillo y Osorio (1969) y Castillo (1970), para efectos de propagación es conveniente utilizar las semillas de mayor tamaño, puesto que aunque el tamaño no afecta el porcentaje de germinación si puede tener influencia sobre el desarrollo posterior de la planta. La forma de la semilla, por ejemplo grano caracol o triángulo no afecta la germinación.

Número de semillas por metro cuadrado (m²) de germinador. La cantidad de semilla que se necesita depende de la decisión previa respecto a la densidad de siembra que se vaya a utilizar. Se recomienda sembrar como máximo 1 kg de semilla por m² de germinador (Arcila y Botero, 1985).

El número de semillas en un kilogramo depende de su contenido de humedad y de su tamaño promedio. Como norma general se puede asumir que en un kilogramo de semillas con 11,5% de humedad y una granulometría por encima de la malla 14, contiene aproximadamente 4.000 semillas (Alvarado, 2004).

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. El principal objetivo del germinador es obtener en un espacio reducido las plantas necesarias para el almácigo, lo cual facilita su manejo y la selección de los materiales más uniformes y más aptos para el trasplante. No es recomendable la siembra directa de las semillas en las bolsas por las mismas razones.

La cantidad de chapolas aptas para la siembra depende del porcentaje de germinación y del porcentaje de descarte, el cual puede variar entre el 10 y el 15%. Con base en las consideraciones anteriores, podríamos estimar que de un kilogramo de semilla (4.000 semillas) con 90% de germinación se obtienen potencialmente 3.600 chapolas, y que al seleccionar las más aptas para la siembra (10% de descarte), resultarían 3.240 chapolas de buen desarrollo y uniformidad para trasplantar a las bolsas del almácigo.

Factores que afectan el desarrollo del cafeto en la etapa de almácigo

Es importante seleccionar del germinador solamente el material de desarrollo uniforme y óptima calidad.

Tamaño de la semilla. Deben seleccionarse las semillas de mayor tamaño, pues éstas producirán plantas más vigorosas (Tablas 4.3 y 4.4) (Osorio y Castillo, 1969; Castillo, 1970).

Estados de la planta que se obtienen en un germinador. En 1 m² de germinador se obtienen a los 75 días los tipos de materiales que se muestran en la Tabla 4.5 (Arcila y Botero, 1985). Deben descartarse para el trasplante a las bolsas de almácigo las chapolas débiles, cloróticas, con malformaciones radicales y los fósforos atrasados.

Material a trasplantar. Se recomienda trasplantar solamente el material de mejor calidad y desarrollo uniforme. Es conveniente trasplantar solamente chapolas, es decir cuando la plántula presenta las hojas cotiledonares completamente expandidas. Desde la siembra de la semilla hasta el estado de chapola transcurren entre 65 y 75 días.

No es recomendable llevar al almácigo plantas en estado de fósforo, debido a que éstas todavía no han terminado el proceso de digestión del endosperma de la semilla y también porque en este estado de desarrollo no es posible caracterizar la calidad del material que se está trasplantando. Además, se prolonga la estadía del material vegetal en el almácigo.

Importancia de los cotiledones. Los cotiledones constituyen el primer tejido fotosintético de la planta y por tanto, tienen una influencia decisiva en el crecimiento subsiguiente. En Cenicafé se observó que las plantas a las que se les suprimió un cotiledón, tuvieron un crecimiento marcadamente inferior al de las plantas que tenían los dos cotiledones (Osorio y Castillo, 1969).

Tabla 4.3. Crecimiento de chapolas provenientes de 3 tipos de semilla según peso seco (Osorio y Castillo, 1969).

	Peso de la semilla (mg)		
	80	180	210
Peso seco de la chapola (mg)	52	91	99
Área de los cotiledones.cm ²	7	13	15
Longitud del tallo (mm)	41	47	51
Longitud de la raíz (mm)	79	100	104

Tabla 4.4. Valor medio de diversas medidas de crecimiento en plantas de café provenientes de granos grandes y pequeños, a los 185 días desde la siembra en el almácigo (Castillo, 1970).

Medidas	Tipo de granos		Porcentaje de variación Grande = 100% (52% de humedad)
	Grande 250 mg	Pequeño 130 mg	
Altura de la planta en (cm)	49,70	42,00	84,5
Número de ramas	2,35	1,15	48,9
Número de pares de hojas	16,90	11,51	68,1
Peso seco de los tallos (g)	3,01	1,49	49,5
Peso seco de las hojas (g)	5,87	3,25	56,4
Peso seco total (g)	8,82	4,74	53,7

Tabla 4.5. Estados de desarrollo del café que pueden observarse en el germinador los 75 días después de la siembra (Arcila y Botero, 1985).

Material resultante	Porcentaje por Variedad	
	Caturra	Colombia
Chapola normal	41	33
Chapola normal atrasada*	22	21
Chapola débil	2	3
Chapola clorótica	5	6
Fósforo adelantado**	8	13
Fósforo normal***	11	8
Fósforo atrasado****	2	3

- * No muestra expansión cotiledonar completa.
- ** Es aquel que ya muestra algún desarrollo de los cotiledones.
- *** Fósforo que ha emergido completamente del suelo, que tiene un hipocótilo completamente extendido pero no muestra desarrollo cotiledonar.
- **** Fósforo que no ha emergido completamente del suelo.

Altitud. La altitud influye notoriamente en el desarrollo de las plantas de café en el almácigo, tanto al sol como a la sombra. A medida que aumenta la altitud, el crecimiento, el peso seco de la parte aérea, el número de hojas por planta, el peso seco de hojas y el número de cruces es menor (López *et al.*, 1972). Este menor desarrollo a mayores altitudes puede deberse a la menor temperatura (Tablas 4.6 y 4.7) (Arcila, 1974).

No se recomienda establecer almácigos por encima de 1.850 m, porque pueden desarrollarse plántulas enanas, cloróticas y con malformaciones, posiblemente debido a la mayor proporción de luz ultravioleta (Arcila, 1974)

Requerimientos de luz. Los almácigos de café pueden establecerse a plena exposición solar en altitudes entre 1.050 y 1.550 m. Por encima de 1.550 m el crecimiento de las plantas en el almácigo se retarda (López *et al.*, 1972).

Tabla 4.6. Efecto de la altitud sobre el desarrollo y el peso seco de café en almácigo. Promedio de 32 plántulas (López *et al.*, 1972).

Variables		Altitud					Promedio de modalidades
		1.050	1.250	1.550	1.850	2.050	
Altura de la planta (cm)	Sol	21,47	24,28	17,25	14,82	6,62	17,29
	Sombra	31,79	27,28	22,15	15,53	9,20	21,19
Número de hojas	Sol	18,08	23,01	18,38	16,66	14,05	18,04
	Sombra	23,01	21,23	19,80	16,23	13,72	18,80
Peso seco parte aérea (g)	Sol	3,93	4,55	3,34	2,54	1,00	3,07
	Sombra	5,87	4,45	4,14	2,49	1,24	3,64
Peso seco hojas (g)	Sol	2,78	3,24	2,41	1,85	0,71	2,20
	Sombra	4,25	3,20	3,04	1,81	0,95	2,65
Número de cruces	Sol	0,72	1,16	0,60	0,18	0,01	0,53
	Sombra	1,30	0,93	0,88	0,07	0,00	0,64

Tabla 4.7. Efecto de la luz ultravioleta en el desarrollo de plántulas de café en almácigo. Promedio de 10 plántulas (Arcila, 1974).

Variable	Promedios registrados		
	Al sol	Bajo techo de vidrio	Con 50% sombra
Número de cruces	0,00	0,60	0,10
Altura (cm)	10,73	17,28	11,12
Área foliar (cm ²)	162,11	300,87	157,58
Número de hojas	16,20	20,60	13,90
Peso fresco de la parte aérea (g)	6,36	12,12	5,98
Peso fresco de las hojas (g)	5,03	9,27	4,66
Peso fresco de raíces (g)	5,18	7,95	3,63

Temperatura. La temperatura óptima para el crecimiento del café está alrededor de los 21°C, con límites inferior de 10°C y superior de 32°C; por fuera de estos el crecimiento de la planta es nulo (Figura 4.5) (Jaramillo y Guzmán, 1984).

Nutrición. Este es uno de los factores más críticos para el desarrollo de las plantas en el almácigo. De los diferentes estudios sobre nutrición en la fase de almácigo realizados en Cenicafé (Tabla 4.8), se destacan los siguientes resultados:

1. Para la preparación del almácigo la adición de abonos orgánicos al suelo como: pulpa descompuesta (proporción 1:1 ó 2:1 tierra:pulpa), lombricompost y gallinaza (2:1 ó 3:1 tierra:gallinaza o lombricompost), permitirá obtener plantas más vigorosas y sanas, debido a que además del aporte de algunos nutrientes, permiten mayor aireación del suelo, lo cual redundará en menor compactación, buena capacidad de retención de humedad y mayor desarrollo de raíces (Valencia, 1972; Mestre, 1973; Cadena, 1982 y 1983; Salazar y Mestre, 1990 y 1994; Arango y Dávila, 1991; Salazar, 1992).

La adición de materia orgánica también representa menores costos, debido a que los caficultores no necesitan adicionar fertilizantes edáficos ni foliares y además, se reduce el uso de fungicidas en la etapa de almácigo.

2. La aplicación de fertilizantes químicos (simples o compuestos) a la bolsa no es recomendable y más bien puede ser contraproducente (Salazar, 1977; Uribe y Mestre, 1976).

3. No se justifica la aplicación foliar de fertilizantes (Valencia, 1975; Guzmán y Riaño, 1996).

4. Aspersiones frecuentes de urea pueden causar quemazón de los tejidos o intoxicaciones por biuret (Valencia, 1983).

Comparación del desarrollo de las variedades Caturra y Colombia en almácigo. En condiciones similares de

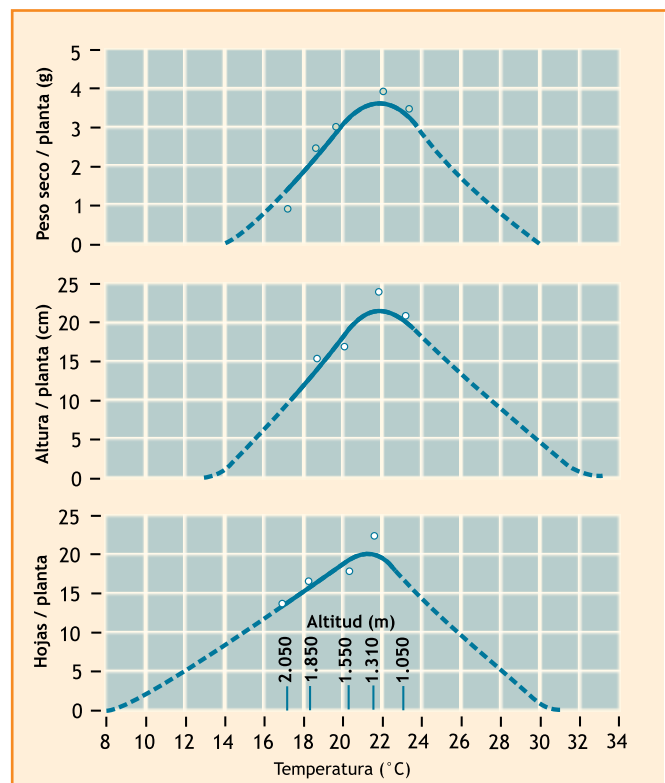


Figura 4.5. Crecimiento de plantas de *Coffea arabica* L. var. Caturra a los 6 meses de edad, a libre exposición solar para diferentes condiciones de temperatura (Jaramillo y Guzmán, 1984).

Tabla 4.8. Influencia de la nutrición sobre el desarrollo de las plantas en el almácigo.

Tratamiento	Altura (cm)	Peso seco (g)	Fuente
Testigo (sin fertilizante)	9,20	5,50	Uribe y Mestre, 1976
2 g 12-12-17-2	8,40	3,70	
4 g 12-12-17-2	10,10	5,80	
6 g 12-12-17-2	9,10	4,60	
Testigo (sin úrea)	14,20	7,70	Salazar, 1977
2 g urea	9,60	4,20	
4 g urea	7,10	2,20	
Testigo (sin superfosfato)	8,80	2,80	Salazar,1977
2 g superfosfato	10,40	5,00	
4 g superfosfato	11,70	6,30	
Testigo (sin sulfato)	9,90	4,60	Salazar,1977
2 g sulfato K	10,30	4,70	
4 g sulfato K	10,70	4,70	
Testigo (sin gallinaza)	13,10	12,50	Uribe y Mestre,1980
Testigo (con pulpa 2:2)	26,00	40,80	
Suelo + gallinaza (3:1)	23,60	34,80	
Suelo + gallinaza (2:2)	18,10	26,00	
Suelo + gallinaza (1:3)	15,70	22,30	
Testigo (sin pulpa)	17,40	16,30	Mestre,1973
Suelo + pulpa (3:1)	20,90	23,60	
Suelo + pulpa (2:2)	24,10	34,30	
Suelo + pulpa (1:3)	25,60	38,60	
Testigo con pulpa	17,6	70,4	Valencia,1975
Testigo sin pulpa	9,5	9,5	
Coljap con pulpa	18,6	80,9	
Coljap sin pulpa	10,5	13,8	
Wuxal con pulpa	17,5	69,3	
Wuxal sin pulpa	9,9	9,9	
Urea con pulpa	17,9	77,9	
Urea sin pulpa	11,2	23,8	
Nutrimins con pulpa	18,7	81,0	
Nutrimins sin pulpa	11,1	18,6	

NOTA: No deben compararse valores entre los diferentes experimentos pues estos corresponden a diferentes épocas.

manejo del almácigo no se observaron diferencias en el desarrollo de la raíz y de la parte aérea de las variedades Caturra y Colombia (Tabla 4.9) (Arcila y Botero, 1985).

Tamaño de la bolsa. Las bolsas de polietileno negro que se utilizan en la construcción de los almácigos tienen una dimensión de 17 cm x 23 cm (diámetro x altura); éstas deben tener perforaciones en la base para el drenaje del agua, con el fin de evitar encharcamientos que ocasionan

amarillamiento y muerte de las plantas. Estas bolsas tienen una capacidad aproximada de 2 kilogramos del sustrato. En el almácigo las bolsas se agrupan en hileras de 10 bolsas de ancho por la longitud permitida por el terreno, dejando un espacio entre hileras de 50 cm, para facilitar el desplazamiento de las personas y la labor de desyerba manual para mantener las bolsas libres de arvenses (Salazar, 1991, 1996; Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004).

Tabla 4.9. Desarrollo en almácigo de las variedades Caturra y Colombia, después de 6 meses del transplante (Arcila y Botero, 1985).

Variedad	Altura epicótilo (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco parte aérea (g)	Longitud de la raíz (cm)	Peso seco de la raíz (g)
Caturra	18,00	355,00	3,20	20,20	0,80
Colombia	18,00	360,00	2,80	17,20	0,70

Transplante a las bolsas. El transplante de las chapolas a las bolsas debe hacerse de tal manera que el hueco donde se va a sembrar la chapola quede bien centrado y lo suficientemente profundo para que al introducir la raíz no quede torcida. Si la raíz es muy larga puede recortarse un poco con la uña (no más de 1/3 de la longitud) para que no quede doblada y evitar de esta manera que se produzca el defecto “cola de marrano”, que ocasiona un mal desarrollo y mal anclaje de las plantas en el campo. Las chapolas deben quedar bien apretadas dentro de la bolsa, es decir, las raíces deben tener buen contacto con el suelo, lo que se logra introduciendo el palo ahoyador por un lado después de introducir la raíz, para finalmente presionar la chapola hacia el centro de la bolsa (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004).

Poda de raíz. En Cenicafé, Salazar (1979), evaluó el efecto en el desarrollo de plantas de almácigo de sembrar la semilla directamente en la bolsa, o transplantar plántulas en estado de fósforos y chapolas, con y sin poda de una porción de la raíz pivotante. En el estudio no se encontraron diferencias significativas en altura y peso seco de la parte aérea y las raíces. Se observó además, que con los tratamientos de siembra de fósforo y chapola con poda de raíz, hubo una recuperación completa de la zona de crecimiento.

En el almácigo debe observarse si la raíz ha emergido por la parte inferior de la bolsa, si es así no se debe recortar para transplantar al sitio definitivo. Al momento de la siembra en el sitio definitivo tampoco es una práctica recomendable recortar la raíz si ésta se ha salido por la parte inferior de la bolsa. Estos colinos deben descartarse.

Almácigos descopados. Es una práctica que permite obtener en el almácigo plantas con dos tallos (chupones) (Figura 4.6). La ventaja básica de los colinos descopados



Figura 4.6. Almácigo descopado.

consiste en facilitar el uso de altas densidades de siembra a menores costos de establecimiento, pues con un menor número de colinos puede establecerse un alto número de tallos por hectárea, lo cual redundará en mayor productividad. El menor número de colinos implica menores costos en el transporte, el trazo, el ahoyado, la siembra, las resiembras y los plateos, entre otras actividades, lo cual hace ventajosa esta práctica (Duque *et al.*, 2003).

Producción de almácigos en la finca. Al construir el germinador en la finca con semilla producida por Cenicafé y al producir los almácigos propios, se garantiza la obtención de plantas de óptima calidad, la certeza sobre el material que se va a sembrar y una reducción del 33% en los costos de producción con respecto al valor comercial. De esta forma, el caficultor puede garantizar la siembra de un buen cafetal y su duración. Este aspecto es muy importante ya que estas plantas permanecerán cerca de 20 años en el lote, sin que exista la posibilidad de corregir los problemas causados como mal desarrollo y crecimiento deficiente de los colinos (Arcila, 2000; Duque, 2004).

Manejo del almácigo

El almácigo debe ubicarse cerca a una fuente de agua para facilitar el riego permanente. En lo posible debe construirse en un terreno plano y aislado, de tal manera que no ocurran daños por pisoteo de animales domésticos (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004).

Controles sanitarios. Con el fin de evitar contaminaciones por nematodos pueden agregarse en el momento de la siembra de las chapolas en las bolsas, cualquiera de los siguientes productos biológicos: hongos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces lilacinus*, *Verticillium chlamydosporium* en proporción de 6 gramos por bolsa aplicado al hoyo de siembra de tal manera que el producto quede en íntimo contacto con las raíces, o micorrizas arbusculares de los géneros *Glomus* y *Entrophospora*, en dosis de 20 gramos de inóculo completo por bolsa (Castro y Rivillas, 2005).

Otra alternativa para prevenir los nematodos consiste en aplicar antes o durante la primera semana después de la siembra de la chapola en la bolsa, un gramo por bolsa de uno de los siguientes productos: Namacur, Dassanit o Furadán (Baeza y Leguizamón, 1978).

Cuando el sustrato empleado para llenar las bolsas es pobre en nutrimentos, es frecuente que ocurran fuertes ataques de mancha de hierro causada por el hongo *Cercospora coffeicola*. El principal daño ocasionado por esta enfermedad en la etapa de almácigo es la defoliación. Para su prevención, primero que todo se deben seguir todas las recomendaciones para el manejo adecuado de los almácigos y garantizar una adecuada nutrición de la planta. En caso de necesitar control químico, se puede recurrir a la aplicación oportuna de fungicidas sistémicos (triazoles y benzimidazoles), fungicidas protectores (ditiocarbamatos) y algunas combinaciones de éstos (Arcila, 2000; Cenicafé, 1993; Ángel, 2003).

Siembra en el campo

Es importante transplantar solamente los materiales de óptima calidad y en el momento oportuno, ya que desde este momento se está empezando a garantizar la calidad del cultivo y la cosecha de muchos años.

Edad de transplante. Cuando se hacen los almácigos en bolsas de polietileno de las dimensiones recomendadas, es posible llevar al campo las plantas del almácigo después de 6 meses del transplante. A esta edad la mayoría de las plantas ya ha emitido el primer par de

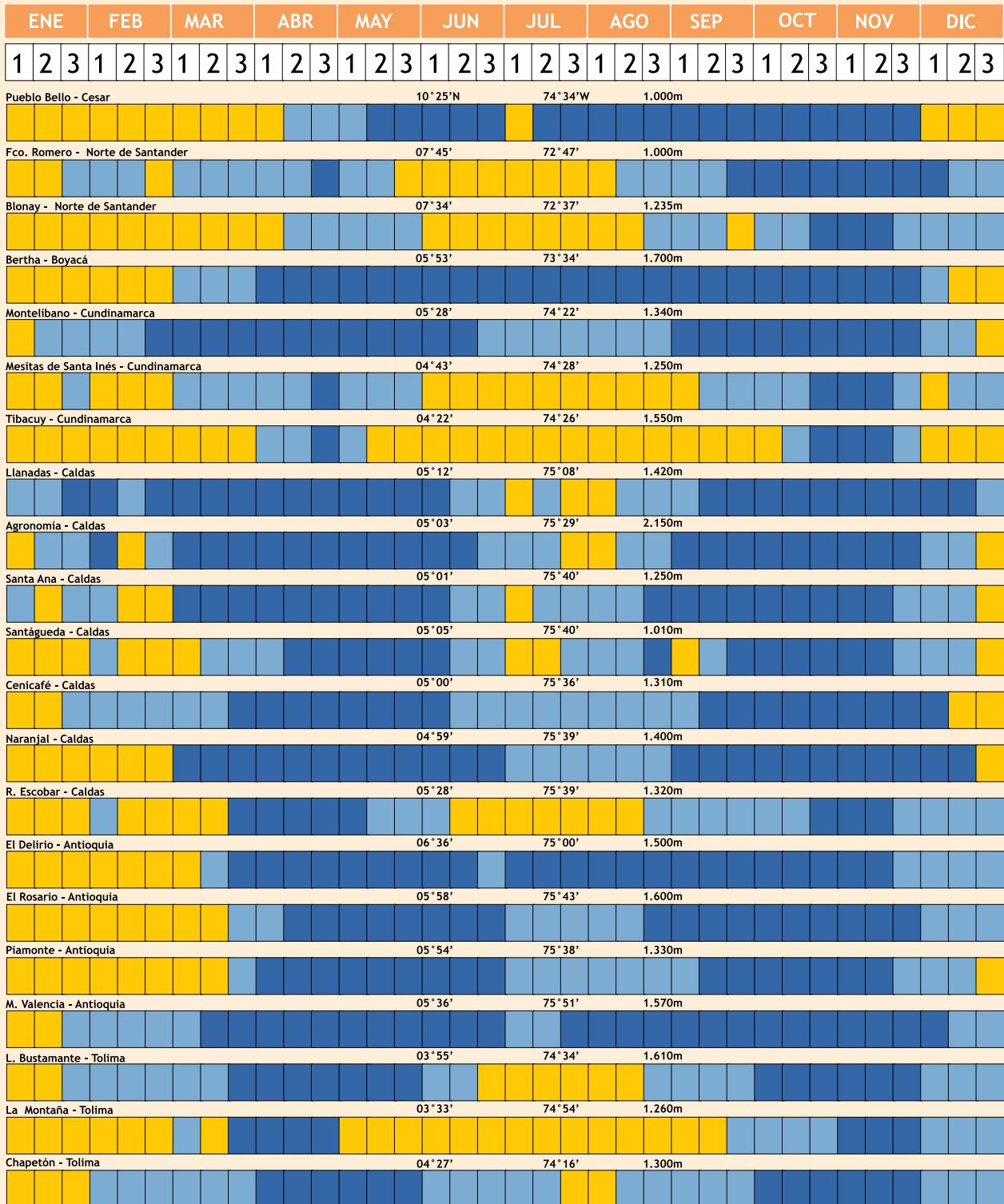
ramas primarias o primera “cruz”. Al llevar al campo plantas menores de 6 meses aumenta la competencia por arvenses y se necesitarán más desyerbas; por el contrario, si se llevan muy tardíamente aumenta el estrés por efectos del transplante, las plantas desarrollarán un sistema radical atrofiado y estarán más propensas al volcamiento y a la proliferación de chupones (Uribe y Mestre, 1978; Arcila, 2000).

Épocas de siembra (Jaramillo y Arcila, 1996). La distribución de la lluvia a través del año determina en gran medida la periodicidad de los ciclos vegetativo y reproductivo del café; además, condiciona la secuencia de las labores agrícolas en los cultivos, entre ellas: la época de siembra, la frecuencia del riego, la protección del suelo contra la erosión hídrica y el momento más adecuado para la fertilización, entre otros.

En la Figura 4.7 se presentan los períodos secos y húmedos de la zona cafetera de Colombia. Las barras de color indican para períodos de 10 días, la probabilidad de que ocurra una década húmeda, es decir, aquella en la cual la lluvia sobrepasa a la evaporación calculada para la localidad. El color amarillo corresponde a una

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. En Cenicafé se ha desarrollado una tecnología básica para la obtención de almácigos de excelente calidad, la cual comprende:

- El empleo de semilla certificada por la FNC.
- La construcción de los almácigos en la finca del caficultor
- La utilización de materiales de siembra sanos y vigorosos (preferiblemente chapolas).
- El empleo de bolsas plásticas negras de un tamaño de 17 cm de ancho por 23 cm de alto.
- La preparación del suelo para el llenado de las bolsas enriqueciéndolo con materia orgánica bien descompuesta (2 ó 3 partes de suelo por una parte de materia orgánica).
- El establecimiento de sombra regulada.
- El riego adecuado y oportuno.
- Los controles fitosanitarios sólo en caso necesario y usando productos recomendados.
- Transporte adecuado de los materiales al sitio de siembra.
- Transplante oportuno al sitio definitivo en el campo.



Década seca
 Década húmeda
 Década muy húmeda

Figura 4.7. Períodos secos y húmedos de la zona cafetera de Colombia (Jaramillo y Arcila, 1996).

probabilidad menor o igual a 50%, el color azul claro corresponde a probabilidades entre el 50 y el 75% y el azul oscuro a probabilidades mayores del 75%.

En la Figura 4.7, se presentan en amarillo las épocas con alta probabilidad de baja precipitación y por tanto, no se recomiendan para la siembra del cafeto; las décadas marcadas con los colores azul claro y azul oscuro son las más recomendables para la siembra en el campo. En general, se observa que en los departamentos de Cesar, Magdalena, La Guajira, Santander, Boyacá, Antioquia, Norte de Cundinamarca, Cordillera Oriental del Huila, Caldas, Risaralda, Quindío, Norte del Tolima y zona Norte del Valle del Cauca, las épocas más favorables para la siembra se presentan en el primer semestre del año, mientras que en los departamentos de Cauca, Nariño, centro y Sur de Cundinamarca, Norte de Santander, Cordillera Central del Huila, zona Sur del Tolima y la zona Sur del Valle del Cauca, la época más recomendable para efectuar las siembras se presentan en el segundo semestre del año.

La semilla debe estar disponible 8 meses antes del transplante al sitio definitivo en el campo; de este período, 2 meses corresponden al germinador y 6 meses al almácigo.

Sistemas de siembra. De un trazado adecuado depende en gran parte la sostenibilidad de la caficultura, como también la rentabilidad del cultivo, pues con él se pueden acelerar o frenar los procesos de erosión, así como también mejorar las condiciones del cultivo para el aprovechamiento de la mano de obra durante la realización de las labores agronómicas como: fertilización, control sanitario y cosecha, entre otras (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004).

En café los sistemas principales de trazado son: al cuadro o rectángulo, al triángulo y en curvas a nivel. Este último es de poco uso hoy en día pues su establecimiento es más complicado y los beneficios del sistema igualmente se logran con el trazo al triángulo en surcos a través

de la pendiente (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1979).

Siembra. Simultáneamente con la ejecución del trazo, comienza el proceso de la siembra, para lo cual deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004):

1. Los hoyos para la siembra deben tener un tamaño de 30 cm x 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad.
2. Si el análisis de suelo recomienda el uso de cal o fuentes de magnesio se pueden incorporar en el hoyo 100 gramos de cal dolomítica, antes de sembrar los cafetos.
3. Retire la bolsa plástica que contiene el colino de café, deposite el pilón en el centro del hoyo y adicione tierra y apriétela. El colino debe quedar sembrado de tal manera que el cuello de la raíz quede a nivel de la superficie del terreno, nunca más enterrado porque a los días puede ocurrir anillamiento y muerte de los colinos por pudrición, pero cuando el cuello de la raíz queda más alto se puede presentar “embalconamiento” por erosión del pilón de tierra que contenía la raíz.

Importante: El plástico es un producto que no se descompone fácilmente por lo cual, simultáneamente con la siembra, deben recogerse las bolsas y disponer de ellas en forma apropiada.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. De la obtención de colinos en la bolsa de 17 x 23 cm, que garantizan un desarrollo armónico de la raíz con la parte aérea y de una adecuada siembra, depende que más adelante no se presenten problemas de “volcamiento” o “paloteo”.

El descope del almácigo a los 3-4 meses permite obtener plantas con dos tallos y establecer cafetales con la densidad de siembra óptima y menor costo de establecimiento.

Las arvenses y su manejo en los cafetales

Luis Fernando Salazar G. Edgar Hincapié G.



Interferencia de las arvenses con los cultivos

Se considera “maleza” a aquella planta que interfiere con el cultivo, afectando negativamente el sistema productivo.

La denominación de “maleza” puede influir negativamente en la percepción que las personas tienen sobre alguna planta y de esta manera, conducir a su control indiscriminado. Por lo anterior, en las últimas décadas se está utilizando el término arvense, que significa “planta acompañante de los cultivos o prados” sin discriminarlas entre buenas o malas.

Las arvenses son importantes en todos los cultivos, debido al impacto que generan sobre los rendimientos, los costos de producción y la sostenibilidad, en especial por constituirse en un componente para la protección de los suelos contra la erosión y la conservación de los recursos hídricos.

Wyse (1994) sugiere que el manejo actual de las arvenses se considera como el mayor obstáculo al desarrollo sostenible de la agricultura mundial ya que en los actuales sistemas de producción se aplican herbicidas en

forma indiscriminada, lo cual causa problemas asociados con la erosión de los suelos, la calidad del agua y la vida rural.

De aproximadamente 250.000 especies de plantas que existen en el mundo, menos de 250 son conocidas como competitivas para los cultivos. Cerca del 71% de las arvenses de mayor interferencia están distribuidas en ocho familias de plantas y más del 50% pertenecen a especies de sólo dos familias: Compositae y Gramineae. En la Tabla 5.1 se muestran 18 de las arvenses de mayor interferencia en los cultivos del mundo (Holm *et al.*, 1977).

En Colombia, Gómez y Rivera (1987) registraron cerca de 170 especies de arvenses identificadas en cafetales; el mayor número pertenece a las familias Gramineae (17,6%), Compositae (16,4%), Euphorbiaceae (4,7%), Amaranthaceae (4,1%) y Rubiaceae (4,1%).

Interferencia de arvenses

La interferencia se conoce como la suma de la competencia y la alelopatía. La primera es un proceso físico, que implica la remoción o reducción de por lo menos un factor esencial de crecimiento (luz, agua, nutrientes, CO₂ o espacio) (Zimdahl, 1980); y la

Tabla 5.1. Las arvenses de mayor interferencia del mundo (Holm *et al.*, 1977).

Especies	Nombre común	Familia
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito*	Gramineae
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Pasto bermuda o argentina*	Gramineae
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	Liendrepuerco*	Gramineae
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Arrocillo*	Gramineae
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pategallina*	Gramineae
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers	Pasto Jhonson, arroccillo*	Gramineae
<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeuschel	Guayacana - pasto cogon	Gramineae
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Jacinto de agua	Pontederiaceae
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga*	Portulacaceae
<i>Chenopodium album</i> L.	Paico	Chenopodiaceae
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Guarda rocío*	Gramineae
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Bejuco	Convolvulaceae
<i>Avena fatua</i> L. y especies afines	Falsa avena	Gramineae
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Bledo*	Amaranthaceae
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Bledo*	Amaranthaceae
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cortadera*	Cyperaceae
<i>Paspalum conjugatum</i> Berg	Gram*	Gramineae
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W.D. Clayton	Caminadora*	Gramineae

* Arvenses frecuentes en cultivos de café en Colombia

segunda, es un proceso fisiológico por medio del cual una planta libera al medio ambiente uno o varios compuestos químicos que inhiben el crecimiento de otra planta del mismo hábitat o de uno cercano (Molish, 1937 citado por Rice, 1984). En la Tabla 5.2, se observan algunas especies de arvenses reportadas como alelopáticas en cafetales de Colombia (Gómez y Rivera, 1987). En un sentido práctico, cuando una arvense alcanza más del 70% de predominio en un campo y a su alrededor crecen pocas o ninguna especie, dicha planta puede tener efectos alelopáticos (Restrepo De F. y Rivera, 1993).

Según Parker y Fryer (1975), en el mundo las pérdidas anuales debidas a la interferencia de arvenses se estiman en 287 millones de toneladas de alimentos; cantidad suficiente para alimentar a más de 570 millones de personas.

Cultivos y arvenses viven en un mismo ambiente y su capacidad productiva se afecta por factores como la humedad, la luz, los nutrientes y el espacio disponible. Cada grupo de plantas ejerce una demanda específica sobre el campo; no obstante, las pérdidas del cultivo debidas a la interferencia son fácilmente pasadas por alto (Pavlychenko y Harrington, 1934).

El café es un cultivo extremadamente sensible a la interferencia de las arvenses, con pérdidas del rendimiento hasta del 65% (Tabla 5.3). En general, el manejo de arvenses en los cafetales es el rubro más importante en los costos de producción (Tabla 5.4), después de los atribuidos a la cosecha. Sin embargo, el Manejo Integrado de Arvenses (MIA), recomendado por Cenicafe y aplicado en Colombia, se ubica entre las prácticas más económicas comparadas con otros sistemas de manejo de arvenses en cafetales de otros países.

Cada cultivo y especie de arvense, tiene sus propias características de adaptación, capacidad competitiva y reacciones con respecto a otras especies, por tanto, diferentes hábitos de crecimiento de las arvenses dan como resultado diferente habilidad competitiva (Pavlychenko y Harrington, 1934).

Actualmente, los estudios de interferencia se enfocan en la búsqueda del período crítico de competencia de las arvenses con el cultivo, con el fin de detectar las pérdidas de éste en condiciones ambientales similares y de esta manera definir la época más adecuada para su manejo, sin tener en cuenta la capacidad de interferencia de cada especie de arvense (FAO, 1987, citado por Montaña y Torres, 1994).

Tabla 5.2. Arvenses alelopáticas asociadas a cultivos de café en Colombia (Gómez y Rivera, 1987).

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Pteridium aquilinum</i> (L) Kuhn	Helecho marranero	Polypodiaceae
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito	Cyperaceae
<i>Melinis minutiflora</i> Beauv	Pasto gordura	Graminaeae
<i>Panicum zizanooides</i> H.B.K	Nudillo, pitillo	Graminaeae
<i>Amarantus dubius</i> Mart.	Bledo	Amarantaceae
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Altamisa, ajenjo	Compositae
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Lechecilla	Euphorbiaceae
<i>Euphorbia hirta</i> L.	Tripa de pollo	Euphorbiaceae
<i>Hyptis atrorubens</i> Poit	Hierba de sapo	Labiatae
<i>Portulaca oleraceae</i> L.	Verdolaga	Portulacaceae

Tabla 5.3. Pérdidas en el rendimiento de los cafetales causado por interferencia de arvenses.

Fuente	Reducción en rendimiento (%)	Observación
Oerke <i>et al.</i> , 1994	35	General para cultivos tecnificados
Njoroge, 1994a	50	Kenya
Eshetu, 2001	65	Etiopía
Blanco <i>et al.</i> , 1978	60	Brasil (sin control)
Salazar e Hincapié, 2005	66	Chinchiná, Colombia (sin control en las calles)

Los programas más exitosos de manejo de arvenses se basan en el entendimiento adecuado de la biología y ecología de las arvenses (Zimdahl, 1993); sin embargo, el control de arvenses generalmente se ha apoyado en el tratamiento anticipado o actual de las arvenses más que sobre la observación de la dinámica de población arvense - cultivo, y el impacto potencial sobre el rendimiento del cultivo y el ambiente. Por tanto, una vez se entiendan los factores que influyen en los procesos de interferencia, el manejo de arvenses puede ser realizado con mayor acierto (Radosevich, 1987).

Factores de la interferencia

1. Duración de la interferencia. Uno de los aspectos de la interferencia más estudiados en Colombia es el relativo a la duración de los períodos de presencia o ausencia de arvenses. Mestre (1979), evidenció este factor al encontrar que la mayor ventaja económica de las desyerbas no selectivas se consigue cuando en un período de tres años se desyerba el cafetal 16 veces, distribuidas así: ocho desyerbas en el primer año y cuatro por año, durante dos años (Tabla 5.5).

Salazar (1975), encontró al evaluar el control manual mecánico en forma generalizada de arvenses, que las máximas producciones se obtuvieron cuando el cafetal se desyerbó cada 35 días en la etapa de crecimiento y cada 70 días en la de producción.

2. Densidad de arvenses. Los estudios de interferencia miden la relación existente entre el rendimiento de

las plantas, el número de individuos y los recursos disponibles. Sin embargo, la densidad de arvenses no explica por sí sola el comportamiento de los rendimientos totales, ya que el crecimiento de la planta responde de una manera variable a la cantidad de recursos disponibles (Radosevich, 1987).

Zimdahl (1980), destaca la importancia que tiene la densidad de las arvenses sobre la disminución del rendimiento de un cultivo, además cita numerosos experimentos que comprueban la relación inversa entre la acumulación de biomasa del cultivo y la de las arvenses. En la Figura 5.1, se muestra el esquema de la respuesta de un cultivo al incremento en la densidad de las arvenses (Koch y Walter, 1983, citados por De la Cruz, 1989).

Múltiples estudios han demostrado como la densidad de arvenses, la época de emergencia de éstas con respecto a la edad del cultivo, el índice de área foliar, el porcentaje de cubrimiento del suelo, la proporción de las especies arvenses con respecto al cultivo y la acumulación de biomasa de las arvenses, son factores que tienen una relación significativa con el porcentaje de reducción del rendimiento de los cultivos.

La O *et al.* (1992), encontraron que el factor de cobertura de las arvenses muestra alta relación con la disminución del rendimiento; mientras que factores como materia seca, tiempo de competencia, número de plantas por metro cuadrado, presentan coeficientes de correlación más bajos. Kropff y Lotz (1992), mediante

Tabla 5.4. El manejo de arvenses en los costos de producción del cultivo del café.

Fuente	Costos de producción (%)	Observación
Oerke <i>et al.</i> , 1994	30-40	A nivel mundial
Secretaría de Estado de Agricultura Pecuaria E Abastecimento, 2004	15-20	Brasil
Gómez <i>et al.</i> , 1985	17-22	Colombia, manejo tradicional
Duque, 2004	13	Colombia (Manejo Integrado)

Tabla 5.5. Efecto del número de desyerbas sobre la producción de café en tres años (Mestre, 1979).

Número de desyerbas en tres años	kg de c.p.s./ha
8	5.875
12	8.287
16	12.087
24	12.862

c.p.s.: café pergamino seco

un análisis sensitivo, demostraron que las características morfológicas de las especies (altura y área foliar) son los factores que más determinan las relaciones de competencia en condiciones de crecimiento favorables. Estos resultados sustentan que la medición del porcentaje de cobertura de las arvenses sobre el suelo, es la variable que mejor expresa el comportamiento de la población y su efecto sobre el cultivo. Lo anterior facilita la evaluación práctica de las poblaciones de arvenses, por ser esta más sencilla de medir, comparado con otros factores como la materia seca y la densidad de plantas.

Para evaluar el nivel de cobertura de las arvenses sobre el suelo existen varias metodologías, una de ellas es realizar un muestreo al azar en el 1% del área, utilizando un cuadrado de 0,25 m², el cual debe estar subdividido en 100 pequeñas cuadrículas de 25 cm² cada una, de

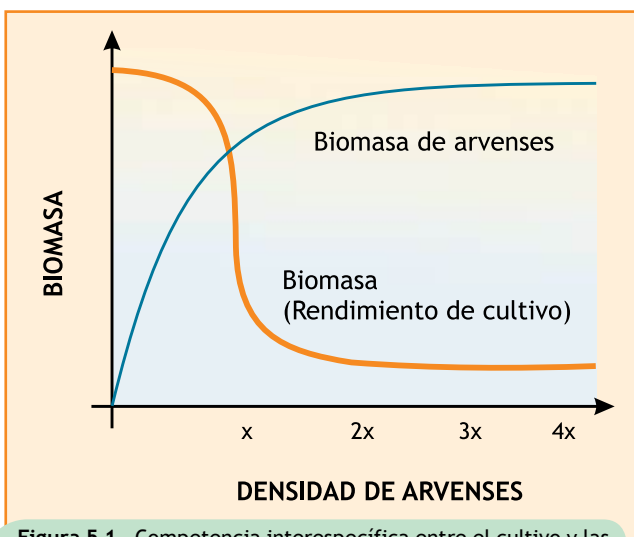


Figura 5.1. Competencia interespecífica entre el cultivo y las arvenses donde (x) representa la densidad de arvenses (De la Cuz, 1989).

esta forma, si 80 cuadrículas se encuentran cubiertas por arvenses, el porcentaje de cobertura será del 80% (Figura 5.2). Si se trata de un experimento con parcelas pequeñas, se recomienda ubicar aleatoriamente los cuadrados en el campo y dejarlos permanentemente durante la evaluación del experimento (Adaptado de Tinney *et al.*, 1937 y Fuentes, 1986).

Otra forma rápida y sencilla aunque no tan precisa como la anterior, es medir la frecuencia de las arvenses en el campo, la cual permite conocer la distribución y la abundancia de una especie en particular en un cultivo; para ello se emplea un cuadrado similar al utilizado para la medición de cobertura, subdividido en cuatro cuadrantes. La frecuencia de la arvense en el campo se expresa como el número de veces que aparece la arvense en cada fracción de cuadrante dividido por el total de cuadrantes, multiplicado por 100 (Adaptado de Tinney *et al.*, 1937 y Fuentes, 1986). Estas metodologías son relativamente sencillas y aplicables en investigación científica y participativa.

3. Fertilidad del suelo. Muchos autores afirman que en suelos de fertilidad baja, la competencia por las arvenses es crítica. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes no alcanza los beneficios máximos cuando no se realiza un adecuado manejo de arvenses. Okafor y Zitta (1991), demostraron en cultivos de sorgo, que al permitir la competencia de las arvenses con el cultivo fertilizado con nitrógeno, por espacio de 4 semanas, dio como resultado una pérdida del rendimiento de 23% comparado con el cultivo libre de arvenses todo el ciclo. Sin embargo, si el nitrógeno no se aplicaba, este período de competencia causaba un 69% de pérdidas.

En cultivos de café en Kenya la interferencia de la arvense *Desmodium* sp. sobre la producción fue mayor en cafetales sin aplicación de N, comparado con cultivos en



Figura 5.2. A) Evaluación del nivel de cobertura de arvenses en campo, B) cuadrado de áreas de 0,25 m², utilizado para la medición del nivel de cobertura y la frecuencia de las arvenses.

los cuales se aplicaron 240 kg/ha-año de este elemento (Njoroge y Mwakha, 1983).

4. Disponibilidad hídrica. Bradshaw y Rice (1998), en experimentos realizados en Nicaragua, concluyeron que en la época de menor disponibilidad hídrica, cuando hay presencia de arvenses entre las calles, los cafetos tienen menor densidad de raíces para extraer el agua, en comparación con aquellos donde se controlaron las arvenses durante este período. En investigaciones realizadas por Villa *et al.* (2002) en Brasil, encontraron que el uso consuntivo del cultivo del café es mayor en suelos con cobertura de arvenses, que en aquellos sin cobertura, relación que se mantiene hasta el cierre del cultivo. Friessleben *et al.* (1991) en Cuba, demostraron que el manejo de las arvenses durante el período seco fue más importante para la reducción de los efectos de la competencia que durante el período lluvioso; por tanto, se recomienda cortar las coberturas entre 3 a 5 cm del suelo, especialmente las arvenses de interferencia alta al comienzo de las épocas secas con el fin de contrarrestar la competencia por agua, lo cual coincide con lo reportado por Jaramillo (2005) en Colombia.

5. Características del cultivo. Las plantaciones perennes como el café, al igual que otros cultivos, tienen períodos críticos de interferencia de arvenses, es así como, la interferencia de las arvenses en las etapas de crecimiento y desarrollo pueden causar disminución drástica de la producción. En el cultivo de café estas épocas corresponden a las etapas de vivero o almácigo, la etapa vegetativa (los primeros dos años de desarrollo y crecimiento de las plantas en el campo) y la etapa de producción.

Como en todos los cultivos perennes, en la etapa de almácigo o vivero se debe evitar la interferencia de todo tipo de arvenses, puesto que es una de las épocas más sensibles.

Investigaciones realizadas en Cenicafé, han demostrado que los dos primeros años del cultivo de café son críticos desde el punto de vista del control de arvenses para el desarrollo normal del cafeto y para el manejo de la erosión de los suelos, debido a que debe incurrirse en un control más frecuente de arvenses. La incidencia de la luz en los primeros 12 a 14 meses de desarrollo de los cafetos a libre exposición solar, contribuye al aumento de la infestación y al desarrollo vigoroso de las arvenses, por lo que es necesario realizar un mayor número de desyerbas por año, en comparación con los cultivos tradicionales a la sombra. Después de dos años de establecido el cafetal la incidencia de las arvenses se ve fuertemente reprimida por el vigor de las plantas de café.

6. Capacidad de interferencia de las arvenses. Diferentes investigaciones realizadas en Cenicafé

permitieron concluir que en los cafetales crece un grupo de arvenses de interferencia muy baja denominadas nobles, cuya presencia entre las calles no afecta el desarrollo del cultivo. Por tanto, es necesario clasificar las arvenses según su nivel de interferencia respecto a la plantación, con el fin de realizar un manejo de arvenses eficiente, selectivo y racional.

Diferentes autores como Chee *et al.* (1992), proponen una clasificación de las arvenses según su grado de interferencia, que puede adaptarse a diferentes cultivos y ambientes, por ejemplo:

Clase A: Plantas benéficas que deben utilizarse con el fin de suprimir arvenses agresivas, conservar el suelo y disminuir los costos de las desyerbas.

Clase B: Arvenses aceptables en la plantación, pero que requieren manejo.

Clase C: Arvenses que interfieren en alto grado con los cultivos y exigen control.

Cenicafé ha estudiado las arvenses más frecuentemente asociadas a los cafetales en Colombia, diferenciándolas descriptivamente según su grado de interferencia con el cultivo, el hábitat y la utilidad. De este modo, Gómez y Rivera (1987), identificaron 170 especies de arvenses localizadas a altitudes entre 1.000 y 1.800 m, con temperaturas entre 17,5 y 23,0°C, y encontraron que el 45% interfiere en alto grado con el cafeto, el 35% en grado medio, el 5% en grado bajo y el 15% (25 especies) en grado muy bajo (coberturas nobles). Así mismo, cabe resaltar que todas las arvenses identificadas prestan algún tipo de beneficio al hombre.

Arvenses de interferencia alta en los cafetales

Para la clasificación de las arvenses de alta interferencia, se tienen en cuenta los siguientes criterios (Salazar e Hincapié, 2005):

- Alta adaptación de la planta a las condiciones ambientales
- Propagación sexual y vegetativa
- Latencia o dormancia de sus semillas
- Facilidad de dispersión
- Alta producción de semillas
- Alta tasa de germinación de semillas
- Alta eficiencia en el uso de los recursos
- Alelopatía
- Sistema radical fasciculado, superficial y denso, altamente competitivo con el sistema radical del cultivo
- Difícil control manual, mecánico o químico
- Estructura semileñosa

- Hábito trepador
- Hospedantes de plagas o enfermedades, que afectan el cultivo

Las familias de arvenses de mayor interferencia en los cafetales en Colombia son: Gramineae, Cyperaceae y Compositae. Sobresalen las plantas alelopáticas, las arvenses de hábito de crecimiento trepador como batatillas y enredaderas, las de estructura leñosa o semileñosa y de raíz pivotante profunda como las escobaduras y verbenas, y otras notorias por la dificultad para su manejo como helechos, entre otras (Tabla 5.6).

Familia Gramineae: Son las más dominantes e importantes dentro del reino vegetal, su éxito se debe principalmente a la fácil adaptación a diferentes ambientes, a los diversos sistemas de propagación, a la latencia de sus semillas y a su eficiencia fotosintética (Basel y Berlin, 1980).

Familia Cyperaceae: En su mayoría son plantas herbáceas anuales o perennes rizomatosas. Pueden reconocerse porque sus tallos generalmente no tienen nudos ni ramificaciones (simples), son glabros (lisos) y, generalmente, triangulares con aristas cortantes, razón por la cual comúnmente se conoce como cortaderas. Tienen hojas alternas, lineales-lanceoladas

frecuentemente en tres series, con vaina cerrada que nace en la base del tallo e inflorescencia terminal en umbela, simple o compuesta. Por lo general, son especies de hábitat húmedo (Fuentes *et al.*, 1999).

Familia Compositae: Posiblemente es la familia más extensa dentro de la flora apícola colombiana, aunque la mayoría son consideradas como arvenses. En esta familia se concentran especies de uso medicinal, ornamental, forrajeras y alimenticias (Vargas, 2002). En su mayoría son plantas de interferencia media o baja en los cafetales; no obstante, se consideran de interferencia alta cuando su tasa de reproducción e invasión es alta, sobrepasan la altura del cultivo, son leñosas, tienen raíz pivotante muy profunda o por sus efectos alelopáticos.

Arvenses potencialmente agresivas en cafetales en Colombia

Existen áreas cafeteras en Colombia donde algunas arvenses pueden ser de alta interferencia (Tabla 5.7), debido principalmente a la presión de selección por la aplicación reiterada y generalizada de herbicidas químicos, por la eliminación total de las coberturas del suelo o por el uso de semillas no certificadas en cultivos distintos al café (pastos, hortalizas, maíz y frijol, entre otros).

Tabla 5.6. Arvenses de interferencia alta más frecuentes en los cafetales en Colombia (Salazar e Hincapié, 2005).

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Pasto argentina, bermuda	Gramineae
<i>Paspalum paniculatum</i> L.	Gramalote	Gramineae
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. <i>D. horizontalis</i> Willd.	Guardarocío o alambriillo	Gramineae
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pategallina	Gramineae
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Pasto india, pasto guinea	Gramineae
<i>Panicum laxum</i> Sw.	Pasto mijillo	Gramineae
<i>Torulinium odoratum</i> (L.) Hooper o <i>Cyperus ferax</i> L.	Cortadera	Cyperaceae
<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (Al.)Gl.	Totumo, oreja de burro	Compositae
<i>Emilia sonchifolia</i> L. (D.C.)	Hierba socialista, pincelito, borlita, emilia.	Compositae
<i>Sida acuta</i> Burm f.	Escobadura, malva	Malvaceae
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (L.C.). Rich Vahl	Verbena negra	Verbenaceae
<i>Ipomoea</i> spp.	Batatillas	Convolvulaceae
<i>Melothria guadalupensis</i> (Spreng) Cogn. o <i>Melothria pendula</i> L.	Bejuco o melón de monte	Cucurbitaceae
<i>Momordica charantia</i> L.	Archucha o balsamina	Cucurbitaceae
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Helecho marranero	Polypodiaceae
<i>Talinum paniculatum</i> Jacq.	Cuero de sapo, lechuguilla	Portulacaceae

Arvenses de interferencia media a baja

Son especies que crecen en bajas densidades de población sin dominar los campos, son de ciclo de vida corto, semestral o anual (Tabla 5.8), debido a estas características estas especies son de fácil manejo, el cual puede hacerse en forma manual o mecánica.

Arvenses de interferencia muy baja o “arvenses nobles”

Primavesi (1984), reporta el término “la invasora seleccionada o escogida” para referirse a aquellas

arvenses que deben permitirse en asocio con los cultivos para así proteger los suelos contra la erosión. Anota además, que éstas deben adaptarse a las condiciones ambientales de su medio para sustituir a las arvenses agresivas o invasoras indiscriminadas.

Gómez *et al.* (1985) y Gómez (1990a), definen el término “arvense noble” como plantas de porte bajo; crecimiento rastrero o decumbente; con raíz fasciculada, rala superficial o pivotante rala; con cubrimiento denso del suelo; que lo protegen de la energía erosiva de la lluvia y no interfieren con el desarrollo y producción del cafeto si no están presentes en la zona de raíces.

Tabla 5.7. Arvenses potencialmente agresivas en cafetales de Colombia (Salazar e Hincapié, 2005).

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	Arrocillo, liendre puerco	Gramineae
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Pasto Jhonson, falso sorgo, arrocillo	Gramineae
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf.	Pasto braquiaria	Gramineae
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	Pasto estrella	Gramineae
<i>Rottboellia exaltata</i> L. f.	Caminadora, pela bolsillo	Gramineae
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito	Cyperaceae
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	Venadillo, juanparado	Compositae
<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K.	Botón de oro.	Compositae
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Altamisa o ajeno	Compositae
<i>Amaranthus dubius</i> Mart.	Bledo, amaranto	Amarantaceae
<i>Borreria alata</i> (Aubl) DC.	Borreria, botoncillo	Rubiaceae

Tabla 5.8. Arvenses de interferencia media a baja, frecuentes en cultivos de café (Adaptado de Rivera, 1997).

Nombre científico	Nombres vulgares	Familia
<i>Brassica alba</i> Boiss	Alpiste, mostaza	Cruciferae
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Yuyo, guasca	Compositae
<i>Galinsoga caracasana</i> (D.C.) Sch Bip.	Yuyo, guasca	Compositae
<i>Galinsoga ciliata</i> (Raf) Blake	Yuyo, guasca	Compositae
<i>Impatiens balsamina</i> L.	Besitos, caracuchos	Balsaminaceae
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Hierba de chivo, manrubio	Compositae
<i>Bidens pilosa</i> L.	Amor seco, cadillo, masiquía	Compositae
<i>Cuphea racemosa</i> (L.) Spreng	Hierbabuenilla, moradita, sanalotodo	Lythraceae
<i>Cuphea micrantha</i> H.B.K.	Hierbabuenilla, yerbabuenilla	Lythraceae
<i>Heliopsis buphthalmoides</i> (Jacq) Dun.	Botón de oro, gamboa	Compositae
<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich) Bring	Mastrantillo, mastranto	Labiatae
<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze	Orégano, cabezona	Labiatae
<i>Physalis nicandroides</i> Schl	Yerbabuena	Solanaceae
<i>Scoparia dulcis</i> L.	Mastuerzo	Scrophulariaceae
<i>Solanum nigrum</i> Sendt	Hierba mora, yerba mora	Solanaceae
<i>Cyatula achyranoides</i> H.B.K.	Alacran, chorrillo, cadillo alacrán	Amarantaceae
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Lechero, hierba lechosa	Euphorbiaceae
<i>Browalia americana</i> L.	Clavelita de monte, no me olvides	Solanaceae

El mismo autor considera que su establecimiento es la práctica preventiva de la erosión que ofrece mayor eficiencia y factibilidad económica y puede obtenerse a través del Manejo Integrado de Arvenses. En la Tabla 5.9 se reportan algunas de las arvenses consideradas nobles y frecuentes en los cultivos de café en Colombia.

Investigaciones sobre interferencia de arvenses

Según Zimdahl (1980), son pocas las arvenses que usualmente no afectan el rendimiento de los cultivos; no

obstante, existen densidades de población de éstas que pueden tolerarse en los mismos sin que se disminuyan significativamente los rendimientos. Dew (1972), fue el primero en introducir el concepto de clasificación de las arvenses según su competitividad; sin embargo, el término índice de competencia fue usado por Grime (1973), en comunidades de plantas silvestres para calificar el éxito de varias especies de plantas cuando crecen compitiendo una con otra.

El mismo Dew (1972) le introdujo al término índice de competencia, una metodología que permite la estimación

Tabla 5.9. Arvenses de interferencia muy baja o nobles en cafetales (Adaptado de Gómez, 1990a)

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Blechum pyramidatum</i> (Lam) Urban	Camarón, hierba papagayo, pirámides	Acantaceae
<i>Commelina elegans</i> L.	Siempre viva	Commelinaceae
<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Siempre viva, suelda con suelda, mangona, canutillo, hierba de pollo, quesadillas, cohitre, campín gomoso, coyuntura	Commelinaceae
<i>Dichondra repens</i> Forst	Dicondra, centavito, millonaria	Convolvulaceae
<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd ex Roem y Schult.	Drimaria, nervillo, yerba de estrella, paga pinto, pajarar, golondrina	Caryophyllaceae
<i>Euphorbia hirta</i> L.	Yerba de sapo, tripa de pollo, pimpinela, yerba de golondrina, canchelagua, lechosa	Euphorbiaceae
<i>Euphorbia prostrata</i> Ait.	Quiebra piedra rastrera, Santa Lucía	Euphorbiaceae
<i>Hydrocotyle umbelata</i> L.	Orejitas, champaña, sombrero de agua	Umbelliferae
<i>Hyptis atrorubens</i> Poit	Yerba de sapo, peludita, arropadita, botoncillo	Labiatae
<i>Indigofera spicata</i> forsskal	Añil rastrero, cascabelito	Leguminosae
<i>Jaegeria hirta</i> (Lag.) Less	Botoncito, boton de oro, botón amarillo.	Compositae
<i>Opismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv.	Grana de conejo, pelillo	Gramineae
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Platanillos, acedera, acederilla, chulco	Oxalidaceae
<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K.	Acedera, falso trebol	Oxalidaceae
<i>Oxalis acetosella</i> L.	Acedera, platanillo, vinagrillo	Oxalidaceae
<i>Panicum trichoides</i> Sw.	Ilusión, paja churcada	Gramineae
<i>Panicum pulchellum</i> Raddi	Guaduilla	Gramineae
<i>Phyllanthus niruri</i> L.	Balsilla, viernes santo, chancapiedra, quiebra piedra, fortesacha, piedra quino de pobre, bolcilla	Euphorbiaceae
<i>Polygala paniculata</i> L.	Mentol, sarpoleta	Polygalaceae
<i>Polygonum mepalense</i> Meisn	Botoncillo, corazón herido, la bella, liberal	Polygonaceae
<i>Richardia scabra</i> L.	Ipecacuana, cabeza de negro, poaia branca	Rubiaceae
<i>Sisyrinchium bogotense</i> H.B.K.	Espadilla, fito, cebollín	Iridiaceae
<i>Tripogandra cummanensis</i> o <i>Tradescantia cummanensis</i> (Kunth Woods)	Siempre viva, suelda, suelda con suelda	Commelinaceae
<i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers	Alverjilla, barba de burro, mariguana del Brasil, encarrugada, trencilla	Leguminosae

de pérdidas del cultivo debidas a las arvenses, a partir de estudios de densidad. Definió el índice de competencia como:

$$b' = b/a$$

Donde:

b': Índice de competencia.

b: Coeficiente de regresión de la densidad de arvenses sobre el rendimiento.

a: Rendimiento del cultivo libre de arvenses.

Zimdahl (1980) y Aldrich (1987), reportan que la interferencia (relación disminución del rendimiento y densidad de arvenses) puede representarse por medio de una curva sigmoideal (Figura 5.3a), asumiendo que el cultivo tolera cierta población de arvenses sin afectar su rendimiento.

Cousens (1985), al observar un comportamiento lineal del rendimiento del cultivo con bajas densidades de arvenses y un comportamiento curvilíneo con altas densidades, propuso el modelo hiperbólico rectangular, el cual se adapta para trabajar con altas y bajas densidades de arvenses. El modelo obliga a la curva a pasar por el origen cuando la densidad de arvenses es cero (0) e induce a que el límite superior del porcentaje de disminución del rendimiento del cultivo no sobrepase el 100% (Figuras 5.3b y c).

El modelo es explicado biológicamente por Cousens (1985), al reportar que el aumento de la densidad de arvenses reduce el espacio existente entre ellas y por tanto, se incrementa la competencia entre las mismas, por lo cual, el efecto competitivo de cada arvense decrece con cada aumento de la densidad población.

Interferencia de arvenses con el cultivo del café en la etapa de levante y desarrollo vegetativo

La etapa de levante es la más sensible a la interferencia por las arvenses y durante ésta, existen más ventajas para las arvenses que para el cultivo. En un experimento realizado en La Estación Central Naranjal en cafetos de variedad Colombia de seis meses de edad, con diferentes arvenses como cobertura del suelo, se observó que en esta etapa del cultivo la competencia se puede reflejar más claramente en el estado de desarrollo de las plantas, debido al atraso en el crecimiento y a la aparición de clorosis (Figura 5.4) y ramas secas. Al evaluar diferentes niveles de cobertura de dos arvenses de la familia Compositae (*Emilia sonchifolia* y *Bidens pilosa*), se encontró que estas ocasionaron los mayores síntomas de clorosis; en comparación con una arvense de la familia Gramineae (*Paspalum paniculatum*), que no causó este síntoma, debido posiblemente a la alta interferencia por luz. Los tratamientos donde se evaluó el suelo desnudo (nivel de cobertura 0), aquellos con el manejo integrado de arvenses, y suelos con cobertura de *Commelina* sp. tuvieron los niveles más bajos de clorosis en las plantas de café.

En la etapa de levante, niveles altos de *Emilia sonchifolia* interfirieron con el cultivo, ocasionando la disminución del número de ramas primarias (cruces); mientras los tratamientos con el manejo integrado de arvenses y con el suelo desnudo, no tuvieron efecto sobre esta variable (Figura 5.5).

Durante los primeros 20 meses de edad del cafetal el manejo integrado de arvenses no causó interferencia sobre el índice de área foliar del cultivo (IAF), y se encontró que éste fue igual al obtenido en el tratamiento

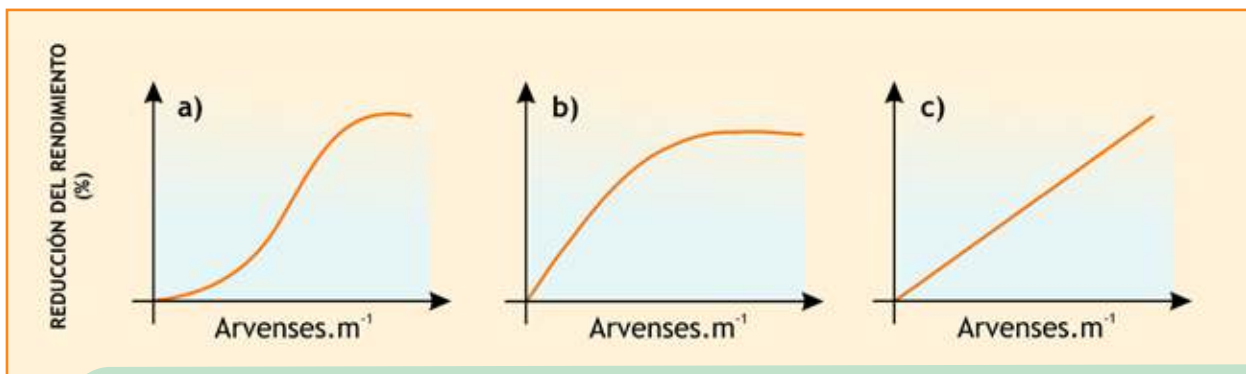


Figura 5.3. Modelos más representativos de la relación entre la densidad de arvenses y la reducción de los rendimientos de los cultivos. a) Modelo sigmoideal propuesto por Zimdahl (1980); b) Modelo hiperbólico rectangular propuesto por Cousens (1985), se ajusta a altas y bajas densidades de arvenses; c). Modelo lineal propuesto por Cousens (1985), se ajusta sólo para bajas densidades de arvenses.

sin cobertura. Así mismo, en este estudio se observó que la interferencia de las arvenses tuvo un comportamiento lineal, similar al propuesto por Cousens (1985), y que las arvenses que más interfirieron con el cultivo fueron *Emilia sonchifolia* y *Paspalum paniculatum*, a partir del 25% del nivel de cobertura.

Las coberturas con las arvenses *Commelina* sp. y *Bidens pilosa* no fueron diferentes estadísticamente del tratamiento con MIA (Figura 5.6).

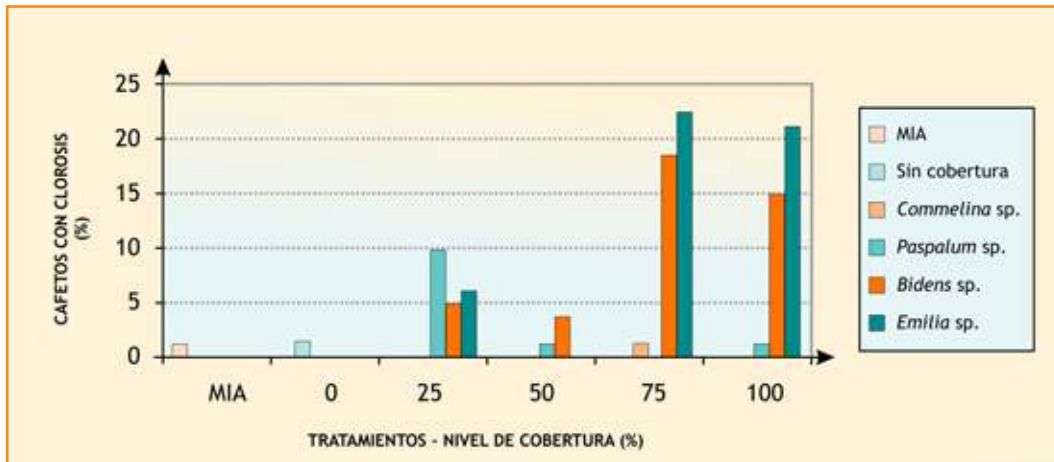


Figura 5.4. Efecto de diferentes tratamientos de cobertura sobre la incidencia de síntomas de clorosis en cafetos en etapa de levante (Salazar y Rivera, 2002).

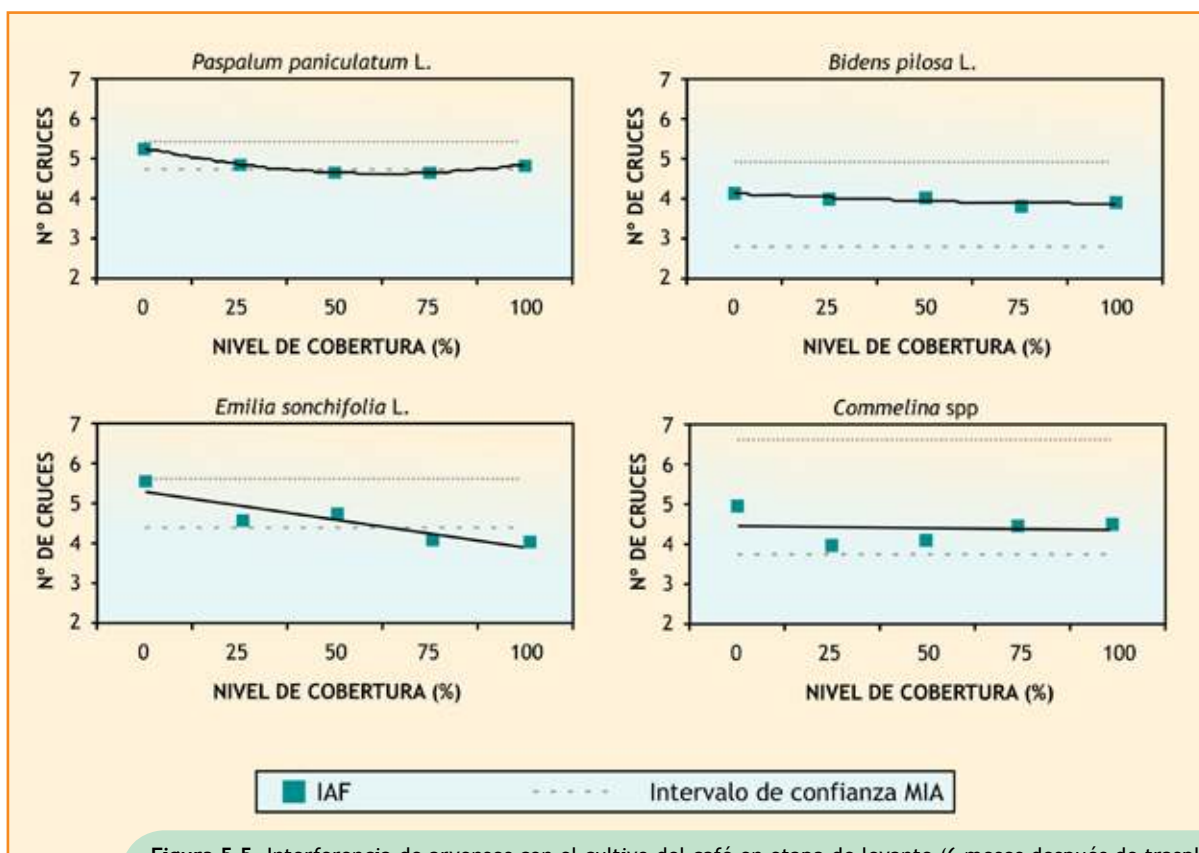


Figura 5.5. Interferencia de arvenses con el cultivo del café en etapa de levante (6 meses después de trasplante) (Salazar y Rivera, 2002).

Umbrales para el manejo de arvenses

Un umbral es definido como el punto en el cual un estímulo es lo suficientemente fuerte como para producir una reacción (Coble y Mortensen, 1992). El estímulo puede ser la presencia de arvenses medida como: la densidad, la biomasa o el porcentaje de cubrimiento (Coble y Mortensen, 1992; Mortensen y Coble 1997). El término umbral hace referencia a la densidad de la población de arvenses por encima de la cual es conveniente aplicar medidas de manejo.

El concepto de los umbrales tiene muchas aplicaciones en el estudio de las arvenses, dependiendo de la respuesta de la variable medida. Los adjetivos comúnmente usados para describir la palabra umbral son: daño, económico, período y acción (Coble y Mortensen, 1992).

El manejo integrado de todo tipo de disturbios de origen biótico en la agricultura, incluidas las arvenses, se fundamenta en que no todos ellos requieren de control, debido a que algunos niveles de éstos en un momento dado pueden llegar a ser tolerados por el cultivo (Higley y Pedigo, 1997).

El **umbral de daño** es el término usado para definir la población de arvenses en la cual es detectada una respuesta negativa en el rendimiento del cultivo.

El **umbral de período** implica que existen algunas épocas durante el ciclo del cultivo en las cuales las arvenses son más o menos dañinas que en otras.

El **umbral de acción** es el punto en el cual alguna acción de control debe iniciarse, y usualmente incluye consideraciones económicas y factores menos tangibles como la estética del cultivo y las presiones sociológicas (Coble y Mortensen, 1992).

El **umbral económico (UE)** es la población de la arvense en la cual el costo del control es igual al incremento del valor del cultivo atribuido al manejo de las arvenses presentes.

Los científicos consideran que para el caso de las arvenses el nivel de daño económico y el umbral económico son equivalentes debido a que las poblaciones de arvenses son esencialmente constantes a través de un tiempo prolongado, éste puede obtenerse mediante la siguiente ecuación (Mortensen y Coble, 1997).

$$UE = \frac{Ch + Ca}{YPLH_E}$$

Donde:

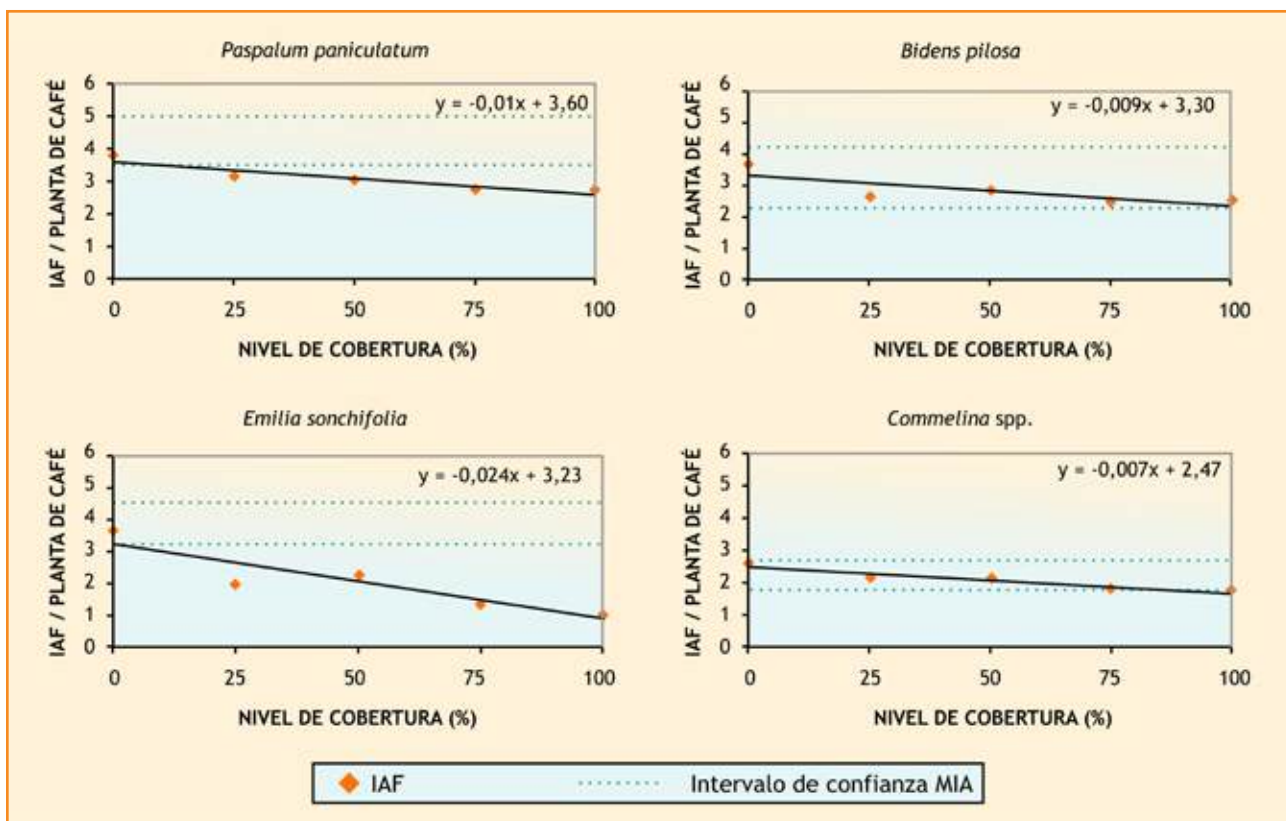


Figura 5.6. Efecto de la interferencia de arvenses sobre el IAF del cultivo del café 20 meses después de trasplante.

- UE = Población de arvenses donde se alcanza el umbral económico.
- Ch = Costo del herbicida.
- Ca = Costo de la aplicación.
- Y = Rendimiento del cultivo libre de arvenses.
- P = Valor del cultivo por unidad cosechada.
- L = Pérdidas proporcionales por unidad de densidad de arvenses.
- H_E = Reducción proporcional de la densidad de arvenses como resultado del tratamiento de control (químico, mecánico, biológico, cultural, etc).

Incrementos del costo del herbicida o de la aplicación, aumentarán el umbral económico (UE). De manera inversa, incrementos en el rendimiento del cultivo, el valor, la eficacia del tratamiento o las pérdidas de cultivo por unidad de densidad de arvense disminuirán los umbrales económicos. Tanto el costo del herbicida y de la aplicación, como el valor del cultivo pueden estimarse, en tanto que, el potencial de rendimiento del cultivo, las pérdidas proporcionales por unidad de densidad de arvenses y la eficacia del tratamiento son más difíciles de estimar, debido a la variación de factores como el tiempo, la composición de especies de arvenses, el tamaño de la arvense y los sistemas de cosecha, entre otras variables (Coble y Mortensen, 1992).

Interferencia y umbrales económicos de cuatro arvenses en el cultivo del café

En un experimento en el cual se evaluaron los umbrales económicos de *Paspalum paniculatum*, *Commelina* spp., *Bidens pilosa* y *Emilia sonchifolia* en cafetales de

Chinchiná - Caldas, en cuatro niveles de porcentaje de cobertura cada una (25, 50, 75 y 100%), y dos épocas de interferencia, desde el transplante hasta 48 meses después y desde 24 hasta 48 meses después, se encontró que las arvenses interfirieron de manera permanente desde el trasplante hasta los 4 años de edad del cultivo y se observaron reducciones en los rendimientos del cultivo del café hasta del 66%; sin embargo, éstas fueron mayores en cafetales con *E. sonchifolia*, seguida por *P. paniculatum*, *Commelina* spp y *B. pilosa*. A los dos años de establecido el cultivo, la interferencia fue significativa pero la reducción de los rendimientos fue menor (Figuras 5.7 y 5.8).

Al realizar un ejercicio, en el cual se parte de un umbral económico de 85 @ de c.p.s/ha, con un valor en pesos semejante al del manejo de arvenses durante 4,5 años; se tiene que el cafetal toleraría durante 4 años a partir del transplante, niveles de cobertura de 16, 18, 25 y 40% de *E. sonchifolia*, *P. paniculatum*, *Commelina* spp y *B. pilosa*, respectivamente. Si la interferencia ocurriera después de los 2 años, el cultivo toleraría niveles de 40, 30, 40 y 100% de las mismas arvenses, respectivamente (Figuras 5.7 y 5.8).

La arvense de mayor interferencia en la etapa de crecimiento del cultivo fue *E. sonchifolia*, en tanto que *P. paniculatum* mostró alta interferencia en la época de crecimiento y producción; *Commelina* spp, a pesar de ser considerada arvense noble interfirió con el cultivo del café, pero cabe anotar que se requiere de un manejo de esta arvense dentro del esquema de Manejo Integrado. *Bidens pilosa* mostró el menor grado de interferencia en ambas etapas, posiblemente debido a su corto ciclo de vida.

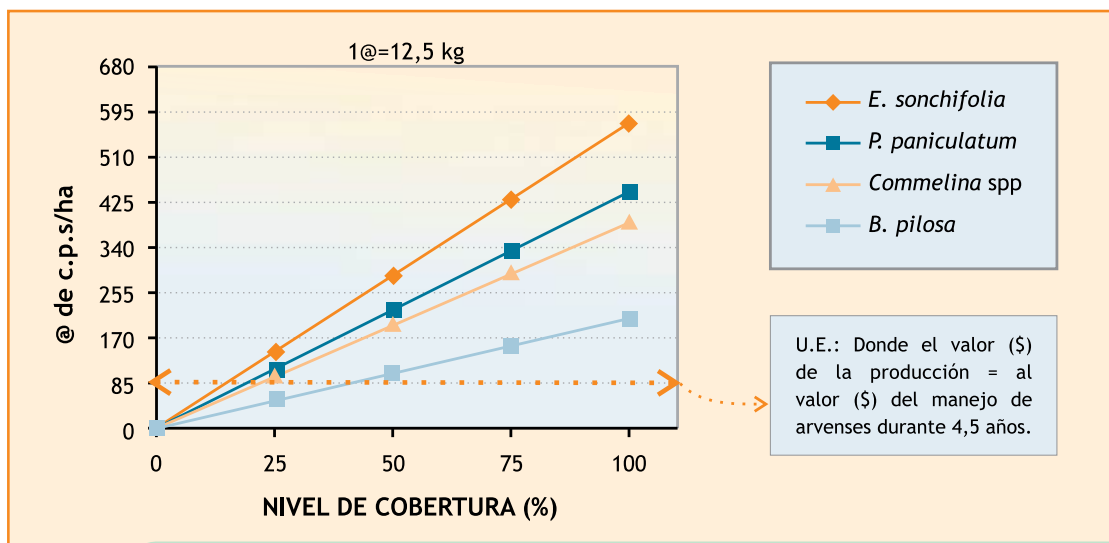


Figura 5.7. Reducción estimada del rendimiento del cultivo del café (@ de c.p.s/ha) por el efecto de la interferencia de arvenses desde la siembra hasta los 4 años de edad del cultivo (promedio acumulado de cuatro cosechas). Costos a 2005. c.p.s.=café pergamino seco (Cenicafé. 2005a).

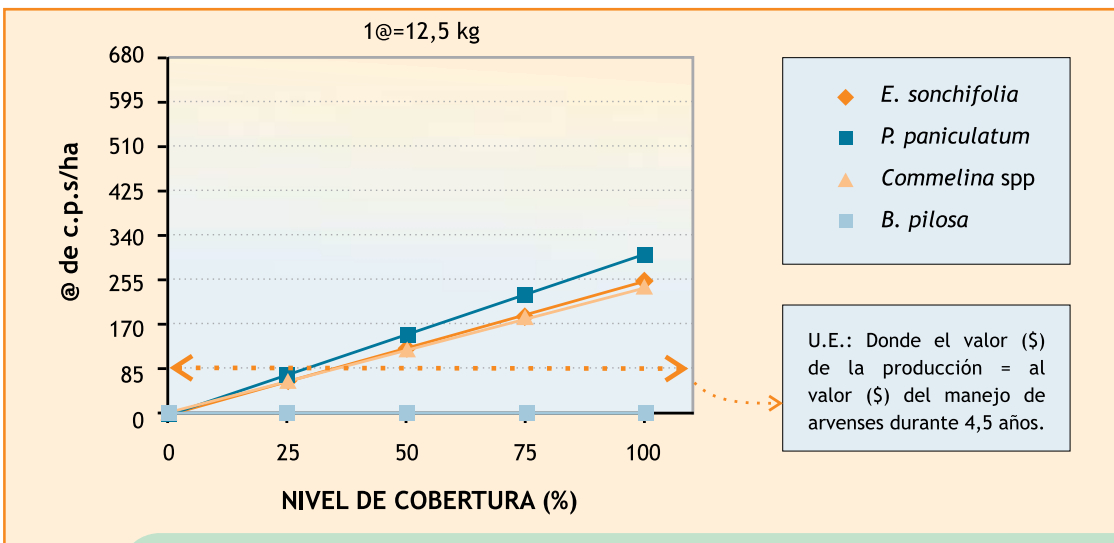


Figura 5.8. Reducción estimada del rendimiento del cultivo del café (@ de c.p.s./ha) por el efecto de la interferencia de arvenses desde los 2 hasta los 4 años de edad del cultivo (promedio acumulado de cuatro cosechas). Costos a 2005. c.p.s.=café pergamino seco (Cenicafé, 2005a).

En las Figuras 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12 se presentan arvenses muy frecuentes en cafetales según su grado de interferencia con el cultivo.

Manejo de arvenses en cafetales

El objetivo fundamental del manejo de arvenses es disminuir la interferencia de éstas, proporcionando condiciones favorables para el desarrollo del cultivo en todas sus etapas. Para el uso de cualquier método de manejo de arvenses deben tenerse en cuenta sus efectos sobre el ambiente y el hombre, tales como: la erosión de los suelos, la contaminación de suelos y aguas, la acumulación de sustancias tóxicas en los productos cosechados, los daños ocasionados a los cultivos, el desarrollo de resistencia de las arvenses a herbicidas y los peligros de toxicidad para el hombre.

Métodos para el manejo de arvenses

1. Prevención de la infestación. Esta debe ser la primera práctica de un programa de manejo de arvenses, además de ser la más segura y económica. Consiste en evitar la introducción, el establecimiento y la diseminación de ellas en áreas donde normalmente no se presentan; la prevención puede realizarse regionalmente o dentro de los lotes de una finca (Gómez *et al.*, 1985). En un programa de prevención son fundamentales las buenas

prácticas de cultivo y la limpieza de herramientas, maquinaria y equipos.

2. Prácticas de cultivo. Incluye todas aquellas prácticas que manejadas eficientemente, contribuyen al desarrollo vigoroso de la plantación, de tal forma que éste pueda competir favorablemente con las arvenses.

Según Gómez *et al.* (1985) las bases para el manejo preventivo de arvenses son:

- Uso de semilla o material vegetal certificado libre de arvenses.
- Uso de variedades mejoradas.
- Preparación adecuada del sitio de siembra.
- Manejo de los residuos del cultivo (ramillas, hojarasca), esparciéndolos en las calles del cafetal.
- Establecimiento del cultivo en la época adecuada para asegurar disponibilidad de humedad y un crecimiento rápido y vigoroso de los cafetos.
- Manejo integrado de plagas y enfermedades.
- Aplicación adecuada y oportuna de fertilizantes químicos y abonos orgánicos.
- Densidades de siembra acorde con la variedad y las condiciones ecológicas.
- Cubrimiento de las calles del cafetal con coberturas nobles.

3. Manejo manual de arvenses. Consiste en el arranque manual de las arvenses y es el método más recomendado en la etapa de almácigo en el cultivo del café, donde se deben realizar controles muy frecuentes



Figura 5.9. Algunas arvenses de interferencia alta con el cultivo del café A) *Cynodon dactylon*, B) *Paspalum paniculatum*, C) *Eleusine indica*, D) *Panicum maximum*, E) *Digitaria horizontalis*, F) *Panicum laxum*, G) *Torulinum odoratum*, H) *Sida acuta*, I) *Pteridium aquilinum*, J) *Ipomoea trifida*, K) *Ipomoea purpurea*, L) *Pseudoelephantopus spicatus*, M) *Emilia sonchifolia*, N) *Talinum paniculatum*.

para evitar la interferencia y el crecimiento rápido de las arvenses.

Este método es también recomendable para el manejo de arvenses en la zona de crecimiento radical de las

plantas de café, en etapa de levante (menor a 1 año). En las calles del cultivo, este método es viable en lotes de extensión baja y fincas pequeñas que dependen de mano de obra familiar. Es también recomendado en los sistemas de producción de café orgánico. Cuando existen

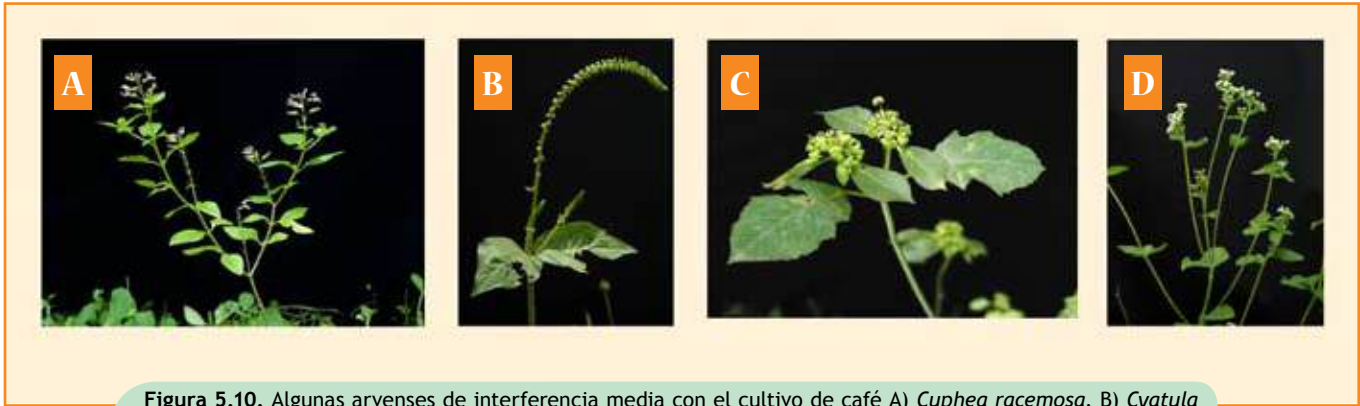


Figura 5.10. Algunas arvenses de interferencia media con el cultivo de café A) *Cuphea racemosa*, B) *Cyatula achyranoides*, C) *Euphorbia heterophylla*, D) *Ageratum conyzoides*.



Figura 5.11. Algunas arvenses de interferencia baja con el cultivo de café A) *Galinsoga caracasana*, B) *Impatiens balsamina*, C) *Bidens pilosa*, D) *Browalia americana*.

arvenses de difícil control por otros métodos, como el caso de la especie *Erigeron bonariensis* el control manual es una alternativa viable, incluso para manejo en grandes extensiones.

4. Manejo mecánico de arvenses. Se realiza utilizando herramientas de corte, manuales o motorizadas. Las más comunes en la zona cafetera son: el machete, el azadón y la guadañadora; estas herramientas utilizadas de manera adecuada e integrada son muy útiles para el manejo de arvenses y evitar la erosión. Este método de control debe utilizarse cortando las arvenses a una altura de 3 a 5 cm del suelo, y no se recomienda el manejo mecánico en la zona de raíces del cultivo de café, debido al daño que se le causa al tallo y las raíces. Si por algún motivo debe usarse el azadón, éste debe emplearse únicamente para remover cepas, principalmente de gramíneas y no en forma generalizada y reiterada.

5. Manejo químico de las arvenses. Este método se basa en la utilización de herbicidas químicos. Un herbicida es un producto capaz de alterar la fisiología de las plantas durante un período suficientemente largo para impedir su desarrollo normal o causar su muerte (Gómez *et al.*, 1985). Ésta es una herramienta utilizada para el manejo de arvenses; sin embargo, no es la única

ni en todos los casos la más efectiva. En la actualidad el mercado mundial ofrece, alrededor de 250 moléculas de herbicidas que permiten el control de la mayoría de arvenses asociadas a los cultivos (Valverde *et al.*, 2000).

Aspectos generales sobre herbicidas químicos

Nombre químico: Se refiere al nombre de la molécula del ingrediente activo del herbicida.

Nombre técnico: Generalmente derivado del nombre químico, es el ingrediente activo (i.a.), puede ser una abreviatura del nombre de la molécula química o una denominación arbitraria. Se usa para denominar los herbicidas en la nomenclatura científica.

Nombre comercial: Es el nombre que le da la casa productora en el mercado y difiere según el laboratorio o casa comercial que lo produce, puede variar de un país a otro. Cuando se hace referencia a la dosis del producto comercial de un herbicida se utiliza el nombre comercial, cuando se referencia la dosis del ingrediente activo, debe usarse el nombre técnico.



Figura 5.12. Algunas arvenses de interferencia muy baja con el cultivo de café (arvenses nobles) A) *Commelina elegans*, B) *C. diffusa*, C) *Phyllanthus niruri*, D) *Polygonum nepalense*, E) *Hydrocotyle umbellata*, F) *Jaegeria hirta*, G) *Oxalis latifolia*, H) *O. corniculata*, I) *Hyptis atrorubens*, J) *Drymaria cordata*, K) *Euphorbia hirta*, L) *Dychondra repens*, M) *Panicum trichoides*, N) *Oplismenus burmannii*, O) *Blechum pyramidatum*, P) *Ricardia scabra*

Clasificación de los herbicidas

Según la época de aplicación:

Herbicidas preemergentes: Se aplican después de la siembra del cultivo pero antes que germinen las arvenses, por ejemplo: el diurón y el oxifluorfen son herbicidas que desnudan el suelo y tienen un alto poder residual. Estos productos forman una película sobre el suelo, que impide la germinación de las arvenses.

Se recomienda usar los preemergentes, como oxifluorfen, en la **etapa de almácigo** y no en aplicaciones generales en el campo, ya que pueden desnudar el suelo. No obstante,

pueden ser útiles para el manejo de arvenses en la zona de raíces de plantas perennes (plateo). Algunos cultivos como café, cítricos y cacao, pueden ser susceptibles a la fitotoxicidad por la aplicación de herbicidas preemergentes como el diurón (Gómez *et al.*, 1985).

Herbicidas postemergentes: Se aplican después de la emergencia de las arvenses. Para obtener mayor eficiencia en el control, se recomienda la aplicación antes de la etapa de floración de las arvenses. Los herbicidas postemergentes pueden ser de contacto como el paraquat y sistémicos como el glifosato o el 2,4-D sal amina.

Herbicidas de contacto: Son aquellos cuyo efecto ocurre casi inmediatamente, cuando el producto llega a las primeras células de las hojas o a los puntos meristemáticos, sean del tallo o de la raíz, y actúa solamente en este sitio. Un ejemplo es el paraquat, que a la vez es un desecante de plantas (es un herbicida muy tóxico), y el glufosinato de amonio.

Herbicidas sistémicos: Son absorbidos y translocados dentro de la planta para ejercer su efecto en un lugar generalmente distinto al de penetración. Su movilidad ocurre a través del sistema vascular de la planta vía simplasto y/o apoplasto. Tienen la ventaja, que en bajos volúmenes de aplicación y en dosis adecuadas permiten la selectividad de arvenses, lo que permite que una población de arvenses domine sobre otras.

Según el tipo de arvenses que controlen, los herbicidas postemergentes también pueden clasificarse como selectivos o de amplio espectro, por ejemplo:

El Fluazifop-p-butil selectivo a arvenses de hoja angosta (gramíneas), el fomesafen selectivo de hoja ancha y el glifosato, el glufosinato de amonio y el paraquat, entre otros, clasificados como de amplio espectro.

Modo de acción:

Se conoce como la suma total de las respuestas anatómicas, fisiológicas y bioquímicas que constituyen la acción fitotóxica de un químico, así como la localización física y degradación molecular del herbicida en la planta (Doll, 1982).

Mecanismo de acción:

Es el proceso fisiológico más específico, donde actúa el herbicida para causar la muerte de la planta (Doll, 1982).

Factores que afectan la aplicación de los herbicidas

Los herbicidas son elaborados para controlar un determinado grupo de arvenses en un cultivo, durante una época específica y con una dosis que asegure efectividad en el control, por consiguiente la época y dosis de aplicación dependen de varios factores relacionados con el cultivo, las especies de arvenses, el suelo y el clima, entre otros.

Doll (1981) señala que el éxito del control de las arvenses mediante el uso de los herbicidas no depende únicamente del producto en sí, sino que existen otros factores de igual importancia que en muchas ocasiones no se tienen en cuenta al momento de hacer un control químico de arvenses, estos factores son:

- Equipos para la aplicación: Estos deben calibrarse antes de iniciar la labor, utilizando, en caso de equipos de aspersión la boquilla, los filtros, preboquillas y la presión adecuada de acuerdo al producto que se aplique.
- Calidad del agua: Antes de la preparación de la mezcla es necesario verificar la calidad del agua. En general, se consideran dos aspectos: el uso de aguas calcáreas o ferruginosas (aguas duras) puede afectar la solubilidad del herbicida causando su sedimentación. Esta situación se presenta principalmente con aquellos productos cuyo ingrediente activo contiene radicales ácidos. Así mismo, no deben utilizarse aguas que contengan sedimentos, pues la materia orgánica y las arcillas son coloides que adsorben los productos, afectando así la acción del herbicida.
- Cantidad de agua: El uso de cantidades inadecuadas de agua puede afectar la uniformidad en la aplicación o disminuir la retención de la solución por las hojas. La cantidad de agua la determina la época en la cual debe hacerse la aplicación. Para aplicaciones de herbicidas preemergentes son suficientes 150 a 250 litros de agua por hectárea, en aplicaciones de postemergentes con equipos de aspersión, se recomienda una mayor cantidad de agua, 200 a 300 litros por hectárea, para lograr un cubrimiento uniforme del follaje; los herbicidas sistémicos deben aplicarse con menos cantidad de agua (200 litros/ha) y los de contacto en mayor cantidad (300 litros/ha). Para el caso del glifosato, volúmenes altos pueden reducir la efectividad del tratamiento por dilución del surfactante y retención deficiente de la solución sobre las hojas (Moreno, 1980).
- Los factores ambientales como la humedad, el viento y la temperatura afectan la eficacia de los herbicidas, por tanto, deben tenerse en cuenta para aplicar el producto en el momento más indicado.

Humedad del suelo: Es preferible que el suelo esté a capacidad de campo al momento de hacer la aplicación de herbicidas preemergentes.

El rocío: contribuye a la redistribución del herbicida sobre la superficie de la planta haciendo más eficiente la penetración del herbicida en aplicaciones a bajo volumen. Este factor influye en las aplicaciones de postemergentes de alto volumen al interferir en la retención de la mezcla del herbicida en el follaje.

La lluvia: puede disminuir la retención del herbicida y así disminuir su efecto. Por ejemplo, en aplicaciones de glifosato a alto volumen puede ocurrir un lavado de la mezcla, si dentro de las 3 ó 4 horas siguientes a la aplicación se presentan lluvias, esto debido a la alta solubilidad del producto.

El viento: es preferible no efectuar aplicaciones cuando la velocidad del viento sea mayor a 10 kilómetros por hora; también, es necesario determinar la dirección de éste para evitar que un herbicida cause toxicidad a un cultivo vecino.

Temperatura: La temperatura elevada influye en las aplicaciones de herbicidas en varios aspectos:

- Aumentan la toxicidad del producto hacia el cultivo. Si se tiene un día muy caluroso y si se aplica un herbicida postemergente podría resultar más tóxico al cultivo que lo normalmente esperado debido a la mayor evaporación del producto.
- Ocasiona marchitez de las arvenses, lo que interfiere en la traslocación del herbicida.
- Inactiva a los herbicidas por volatilización.
- Aumenta la actividad de algunos herbicidas postemergentes. Esto permite disminuir su dosis cuando se aplica en zonas de climas cálidos, como en el caso del 2,4-D. Por el contrario, las bajas temperaturas reducen la tasa de crecimiento de las arvenses, lo que hace más lenta la acción del herbicida; por tanto, hay que aplicar dosis mayores del producto. En general, se recomienda efectuar las aplicaciones de herbicidas cuando la temperatura está entre 15 y 32°C.

Para el caso del glifosato los factores ambientales que favorecen la fotosíntesis como son la alta intensidad de la luz, la humedad adecuada en el suelo y la mayor temperatura ayudan a maximizar la traslocación del herbicida, ya que el movimiento del glifosato por el floema sigue los mismos pasos y va a los mismos sitios

que los azúcares producidos mediante el proceso de la fotosíntesis (Moreno, 1980).

Factores que inciden en la respuesta de las arvenses a la aplicación de herbicidas

La aplicación de un herbicida también puede fallar porque la arvense sea resistente o tolerante al herbicida, o por que se encuentre en un estado de desarrollo avanzado y el herbicida no la controle.

Concentraciones bajas de glifosato tienen el mismo efecto que las altas concentraciones, dependiendo del estado de crecimiento de la planta (Terry, 1985) (Tabla 5.10).

Complejo de arvenses

Es importante tener en cuenta el complejo de arvenses existente al seleccionar el herbicida, ya que ningún herbicida controla todo tipo de arvenses.

Estado de desarrollo de las arvenses

Otro factor importante es la tolerancia de las arvenses a los herbicidas a medida que van creciendo. La época ideal para la aplicación de un postemergente es cuando las arvenses tienen de dos a tres hojas verdaderas (Hoyos, 1990) (Figura 5.13).

Resistencia de las arvenses a los herbicidas

La resistencia a herbicidas se define como la capacidad desarrollada por una población previamente susceptible para resistir la aplicación de un herbicida y completar su ciclo de vida. El desarrollo de la resistencia de

Tabla 5.10. Efecto del glifosato sobre el número de tubérculos y la materia seca subterránea de *Cyperus esculentus* (Terry, 1985).

Estado de desarrollo de la planta	Concentración de glifosato (%i.a)	Tubérculos por planta (N°)	Materia seca subterránea (g)
9-11 hojas (21 días después emergencia)	0,18	0,8 a	0,23 a
	0,36	0,1 a	0,10 a
	0,54	0,2 a	0,30 a
Prefloración 66 días después de emergencia	0,18	24,2 d	4,13 d
	0,36	17,0 bc	2,40 bc
	0,54	19,3 c	4,75b
Sin tratamiento	---	54,8 e	11,52

una especie de arvense a un herbicida se atribuye principalmente a la presión de selección que ejerce el uso continuo del mismo sobre la población, lo que conlleva a que el control sea cada vez menos eficiente (Heap, 2005a). En la práctica, la presión de selección depende de la dosis del herbicida utilizada, su eficacia y la frecuencia de aplicación (Valverde *et al.* 2000).

Un obstáculo de cuidado al que se enfrenta el agricultor con el control químico de arvenses es la resistencia de éstas a los herbicidas. Valverde *et al.* (2000), afirman que si no se establecen estrategias sostenibles de manejo integrado de arvenses la utilidad futura de los herbicidas está seriamente amenazada, debido a que la adopción del manejo integrado de arvenses ha sido limitada.

En el año 2005, la International Survey of Herbicide Resistant Weeds registró 292 biotipos de arvenses resistentes a herbicidas, correspondientes a 174 especies diferentes (104 dicotiledoneas y 70 monocotiledoneas), en 59 países (Heap, 2005b). Desde 1996 hasta el 2004, se han reportado en el mundo siete biotipos de arvenses que se han tornado resistentes al glifosato, entre ellas están *Erigeron bonariensis* y *Eleusine indica*, presentes en cafetales en Colombia.

En la zona cafetera colombiana, especialmente en las áreas de café tecnificado se evidencian factores del manejo de las arvenses que pueden generar casos potenciales de resistencia a los herbicidas, como son, el uso de un herbicida con un solo mecanismo de acción, la alta frecuencia en la aplicación del mismo por más

de 20 años, las aplicaciones en forma generalizada, la calibración poco técnica de los equipos y la utilización del método químico como única alternativa de control.

En investigaciones realizadas en Cenicafé (Menza, 2006; Menza y Salazar, 2006) se encontró que las especies *Eleusine indica* y *Erigeron bonariensis* han adquirido resistencia al glifosato, al comparar un biotipo control, proveniente de un sitio sin influencia de herbicidas químicos por más de 20 años (Biotipo Finca D - Departamento de Santander) con biotipos provenientes de sitios con altas tasas de aplicación de este herbicida (> 4 veces por año durante más de 10 años), en Chinchiná y Palestina - Departamento de Caldas (Biotipos Fincas A, B y C) (Figuras 5.14 y 5.15).

Prevención y manejo de la resistencia: Dentro de las recomendaciones para prevenir la resistencia se pueden citar:

- El control de arvenses mediante la integración de métodos manuales, mecánicos y químicos de forma conjunta sin dependencia excesiva en cualquiera de ellos (Njoroge, 1994b).
- La mezcla y la rotación de herbicidas con diferentes mecanismos de acción (Wrubel y Gressel, 1994), es decir, cambiar la molécula del herbicida y no solamente el nombre comercial.

Cuando ya se ha comprobado la resistencia de una arvense a un determinado herbicida, es necesario (Njoroge, 1994b):

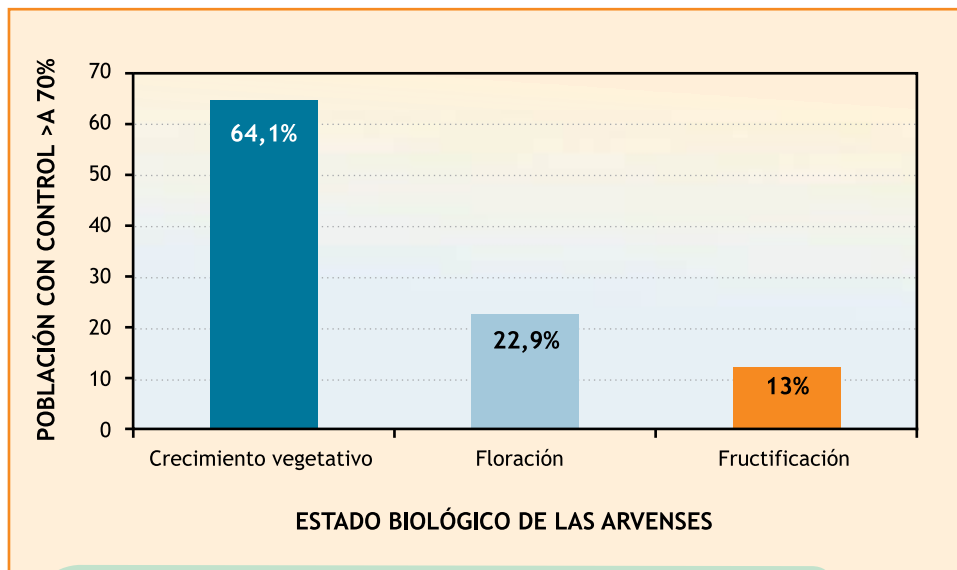


Figura 5.13. Estado biológico para el control eficaz de arvenses (Hoyos, 1990).

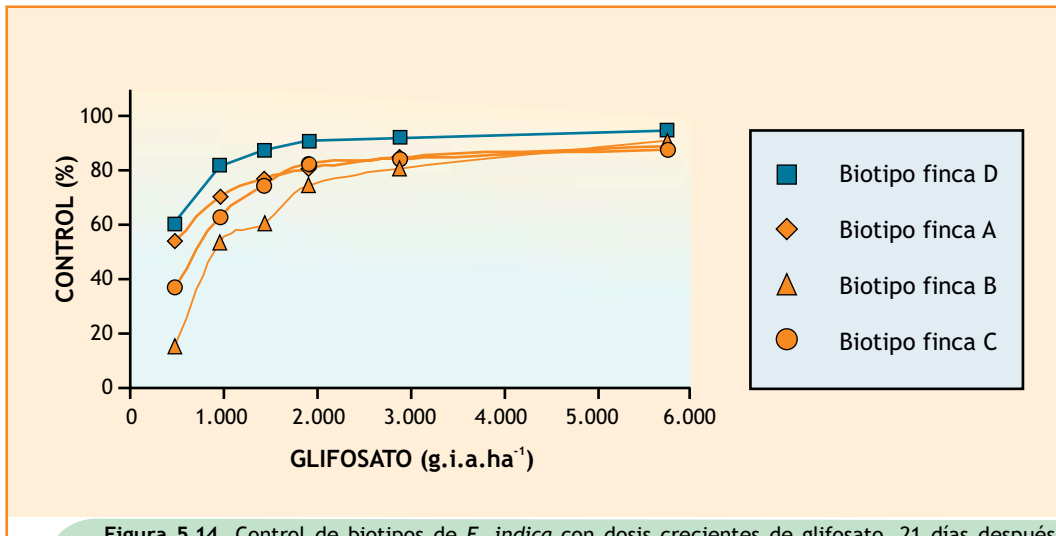


Figura 5.14. Control de biotipos de *E. indica* con dosis crecientes de glifosato, 21 días después de realizada la aplicación. Plantas bajo condiciones controladas en casa de mallas (Menza y Salazar, 2006).

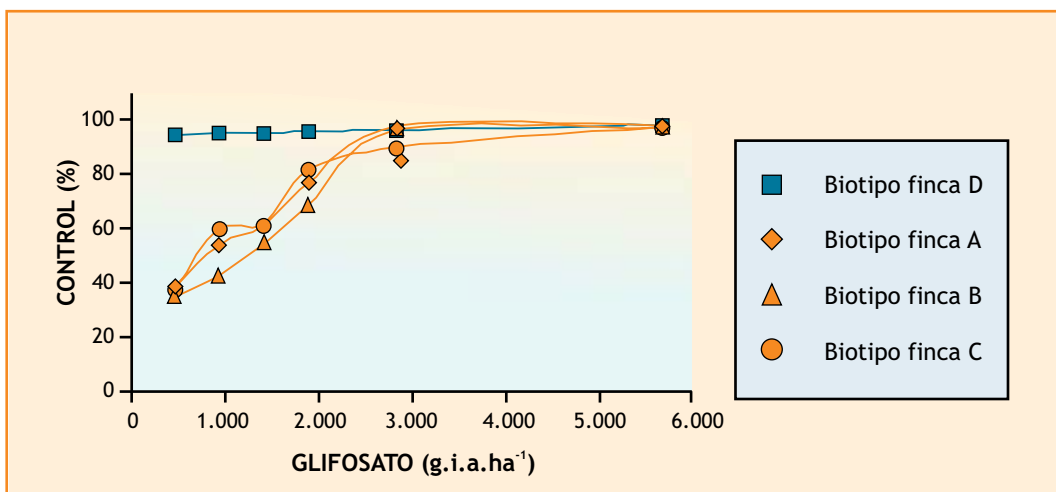


Figura 5.15. Control en biotipos de *E. bonariensis* con dosis crecientes de glifosato 21 días después de realizada la aplicación. Plantas bajo condiciones controladas en casa de mallas (Menza y Salazar, 2006).

- Evitar el uso del herbicida al que se ha confirmado la resistencia, salvo que se utilice en mezcla con otros de diferente mecanismo de acción.
- No incrementar la dosis del herbicida al que se ha confirmado la resistencia, ya que se acelera aún más el desarrollo de la misma y cada vez se necesitará de una dosis mayor.
- Limitar el movimiento de las poblaciones resistentes entre los campos, limpiando la maquinaria o herramientas para evitar la transferencia de semillas.
- Emplear otros herbicidas con mecanismo de acción diferente al herbicida que se le confirmó la resistencia.
- También es necesario el desarrollo de un programa de manejo integrado de arvenses, para evitar que otras especies sigan adquiriendo resistencia a los herbicidas.

Daños a cultivos por fitotoxicidad

Cuando el manejo químico de las arvenses no se hace técnicamente con las debidas precauciones pueden ocasionarse serios problemas a cultivos, lo que se ve reflejado en la disminución de la producción. En maíz por ejemplo, la fitotoxicidad por deriva de glifosato puede causar una disminución del rendimiento mayor al 60%, en algodón hasta del 86%, y en arroz con herbicidas distintos a glifosato, la disminución puede llegar hasta el 40% (Braverman, 1998, Rowland *et al.*, 1999, Matthews *et al.*, 1998).

En cultivos de café, cuando ocurren intoxicaciones por herbicidas (Figura 5.16), es muy poco o casi nada lo que puede hacerse para corregirlas, por tanto, es importante tomar las precauciones necesarias para reducir los riesgos de daño. Antes de la aplicación de herbicidas deben tenerse en cuenta los siguientes factores¹:

No aplicarlos sobre arvenses en avanzado estado de desarrollo, que sobrepasen la altura del cultivo.

No aplicarlos en condiciones adversas de clima (vientos).

No usarlos en forma generalizada, ni reiterada.

Calibrar los equipos de aspersión o los selectores de arvenses y limpiarlos luego del uso.

No aplicar el producto en sobredosis.

Mezclar correctamente herbicidas y/o coadyuvantes.

Capacitar a los operarios en técnicas de aspersión

Eficacia y persistencia del manejo de arvenses en cafetales con diferentes herbicidas

Según Herrera (1983), los herbicidas más empleados y más vendidos en la zona cafetera en 1983 fueron en su orden: glifosato (84,7%), paraquat (13,1%) y oxifluorfen (10,9%). Así mismo, registró que se usaban herbicidas en el 28% del área con cafetales tecnificados de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda. Entre tanto Tabares (1989), encontró que en el 74% del área con cafetales tecnificados aplican herbicidas, lo que plantea una adopción generalizada de éstos por los caficultores

medianos y grandes en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda.

Las investigaciones de Cenicafé han demostrado que el glifosato es el herbicida más eficiente para el manejo de arvenses en cafetales, debido a su alta persistencia y su eficacia hasta del 90% (Tabla 5.11); sin embargo, su uso generalizado e irracional puede ocasionar erosión, contaminación del ambiente, fitotoxicidad a los cultivos, toxicidad al hombre y recientemente se ha registrado la resistencia de arvenses al mismo.

Control químico de arvenses resistentes a glifosato o de difícil manejo en cafetales

Las arvenses *Eleusine indica* (pategallina) y *Erigeron bonariensis* (venadillo) se han encontrado resistentes a glifosato en la zona cafetera, y los caficultores han manifestado la dificultad para su control químico. También se ha observado una mayor frecuencia de *Emilia sonchifolia* (emilia) en las fincas donde realizan aplicaciones de este herbicida en forma continua y generalizada (Menza, 2006).

Con el fin de evaluar la resistencia de las arvenses al glifosato y encontrar opciones químicas para el manejo de arvenses se evaluaron tres herbicidas con mecanismos de acción diferentes al del glifosato, un coadyuvante para mejorar la eficiencia de los herbicidas y como tratamiento testigo o punto de referencia se evaluó el glifosato (Menza y Salazar, 2006).

Los herbicidas fluazifop -p- butil y glufosinato de amonio con la adición del coadyuvante, fueron las alternativas químicas (diferentes al glifosato) más eficientes para el control de *E. indica* (Tabla 5.12); mientras que 2,4-D amina, el glufosinato de amonio y la mezcla



Figura 5.16. Síntomas de fitotoxicidad por glifosato en café. A) 8 días después de la aplicación; B) 90 días después de la aplicación (Galvis y Salazar, 2006)¹.

¹ GALVIS G., C.A., SALAZAR G., L.F. Conozca y prevenga los daños en cafetales por herbicidas. Chinchiná, Cenicafé, 2006. 11 p. Sin publicar.

glifosato + 2,4-D amina, fueron las alternativas químicas más eficientes para el control de *E. bonariensis* (Tabla 5.13). Así mismo, la adición del coadyuvante al glufosinato de amonio, contribuyó para mejorar la eficiencia en el control de *E. bonariensis*.

El glifosato es el herbicida con el cual se obtuvo un eficiente control (> 90%) de *E. sonchifolia*, pero también puede utilizarse la mezcla de glifosato con el 2,4-D amina, como otra alternativa para el control de *E. sonchifolia* en la Estación Central Naranjal (Tabla 5.13).

En general, existen otras alternativas con mecanismos de acción diferentes al glifosato para el control eficiente de las arvenses estudiadas, y que permiten la prevención y el manejo de posibles casos de resistencia. Su utilización puede incluirse preferiblemente dentro de un programa de manejo integrado de arvenses.

La filosofía del Manejo Integrado de Arvenses es favorecer el predominio de arvenses de baja interferencia y de fácil manejo y reducir las poblaciones de arvenses competitivas; contribuyendo al establecimiento de coberturas y por ende a la conservación del suelo y el ambiente, sin afectar la productividad del cultivo con los menores costos de producción. El MIA se basa en la integración conveniente y oportuna de los diferentes métodos de manejo de arvenses como son el método manual, mecánico, químico y biológico.

Gómez (1990b), midió la erosión como el efecto de la desyerba de cafetales con azadón, machete y herbicidas bajo la modalidad de Manejo Integrado de Arvenses. A

Tabla 5.11. Eficacia y persistencia del control de arvenses en cafetales con diferentes herbicidas químicos (Hoyos, 1990).

Tratamiento	Dosis % de producto comercial			Persistencia (Promedio días)
	0,75	1,00	1,25	
	Eficiencia de control (%)			
Glifosato	77	89	91	81
Glifosato + 1% de úrea	80	82	89	76
Paraquat 200 + 800 diurón	76	81	77	53
Glifosato + 2,4-D amina	58	69	73	53
Paraquat	68	70	77	46
Paraquat 200 + diurón 100	67	69	68	45

Tabla 5.12. Control de *E. indica* con los diferentes tratamientos de herbicidas (Menza y Salazar, 2006).

Tratamientos herbicidas	Control (%)	C.V.%
Glifosato	54,8	38,2
Fluazifop -p- butil	75,2	13,9
Glufosinato de amonio	62,5	9,7
Glifosato + coadyuvante	61,0	51,8
Fluazifop -p- butil + coadyuvante	88,0	2,8
Glufosinato de amonio + coadyuvante	77,8	12,8

Tabla 5.13. Control de *Erigeron bonariensis* y *Emilia sonchifolia* con los diferentes tratamientos de herbicidas (Menza, 2006).

Tratamientos herbicidas	<i>Erigeron bonariensis</i>		<i>Emilia sonchifolia</i>	
	Control (%)	C.V. %	Control (%)	C.V. %
Glifosato	6,8	65,6	91,5	2,7
2,4-D amina	96,7	4,8	30,2	80,3
Glufosinato de amonio	79,6	38,0	40,1	87,1
Glifosato + 2,4-D amina	96,8	2,1	70,9	5,8
Glifosato + coadyuvante	11,5	60,5	84,2	13,3
2,4-D amina + coadyuvante	94,3	3,7	56,3	36,9
Glufosinato de amonio + coadyuvante	87,2	22,5	31,8	54,9
Glifosato + 2,4-D amina + coadyuvante	95,1	2,2	66,8	35,5

partir del tercer año del cafetal se requirieron solamente parcheos esporádicos para controlar algunas arvenses. También se observaron pérdidas de suelo por erosión por debajo del nivel de tolerancia (1 t.ha⁻¹.año).

A partir de estas investigaciones sobre el MIA, se consideró que:

- Para el desarrollo normal del cafeto, los dos primeros años son críticos desde el punto de vista de control de arvenses así como para la erosión de los suelos, debido a que se incurre en un control más frecuente de arvenses.
- Cuando se realizan desyerbas selectivas en esta etapa del cultivo las pérdidas de suelo por erosión se reducen entre 95 y 97%, debido a la presencia de las coberturas de baja interferencia.
- Las arvenses nobles no deben invadir ni interferir con la zona de raíces del árbol (plato).

Estrategias para el manejo de arvenses en el mundo.

Mortensen y Coble (1997) hacen un repaso general sobre las estrategias más importantes para el manejo de arvenses, analizando en ellas su factibilidad ambiental y económica, así:

- **Eradicación:** Es la eliminación total de arvenses en el campo, convirtiéndose en una práctica costosa y benéfica sólo a corto plazo.
- **Profilaxis:** Es una estrategia que incluye la aplicación de herbicidas preemergentes al suelo. Este manejo puede causar detrimento de la calidad ambiental y desproteger los suelos.

- **Remedial o de contención:** Esta estrategia es usada para mantener la población de arvenses en un nivel específico bajo, tolerando la presencia de alguna población de arvenses en el cultivo, siempre y cuando las pérdidas en los rendimientos del cultivo sean iguales o menores que los costos de control, lo cual resulta en el manejo de arvenses basado en el conocimiento del umbral de las poblaciones de arvenses presentes. Las prácticas remediales son de gran valor potencial por presentar el menor costo y ser ambientalmente sanas; en este concepto se involucra el **Manejo Integrado de Arvenses** investigado y recomendado por Cenicafé.

Establecimiento del Manejo Integrado de Arvenses (MIA)

El manejo integrado de arvenses recomendado por Cenicafé contempla los siguientes aspectos:

Plateo o control de arvenses en la zona de raíces del cultivo: Esta labor debe realizarse manualmente en siembras nuevas hasta el primer año del cultivo, posteriormente puede hacerse mediante la aplicación de herbicidas químicos, utilizando el selector de arvenses.

Control manual: Esta práctica se realiza cuando en los cultivos se encuentren arvenses agresivas de difícil control por otros métodos. Entre ellas tenemos: *Erigeron bonariensis* (venadillo), *Echinochloa* sp (arrocillo), *Talinum paniculatum* (verdolaga grande), *Colocasia esculenta* (bore) y arvenses enredaderas, entre otras.

Control mecánico de arvenses: El control mecánico de las arvenses entre los surcos, se realiza teniendo en cuenta que en los cafetales en levante las arvenses no sobrepasen los 15 cm de altura, y los 25 cm en cafetales

en producción. Este control se realiza utilizando machete y/o guadaña, cortando las arvenses a una altura de 3 a 5 cm del suelo sin dejar el suelo desnudo.

Parcheos selectivos: Esta labor se realiza sobre las arvenses agresivas una vez éstas alcanzan una altura aproximada de 15 cm; para ello se utiliza el equipo selector de arvenses, aplicando el herbicida glifosato (concentración comercial de 480 g de i.a/L) a una concentración del 10%.

La integración de los anteriores sistemas de manejo, teniendo en cuenta el método preventivo y cultural, promueven el establecimiento de las coberturas nobles a través del tiempo. Cuando éstas superan los 25 cm de altura deben cortarse a una altura de 5 cm, aproximadamente.

Descripción del selector de arvenses utilizado para realizar el MIA

Según Marra y Carlson (1983), Mortensen y Coble (1997) y Higley y Pedigo (1997), el desarrollo de tecnologías que proporcionan un alto grado de selectividad sobre las arvenses permite al agricultor realizar tratamientos remediales a sitios que excedan económicamente los niveles de daño, por tal razón la aplicación exitosa del manejo Integrado de Arvenses está ligada a la disponibilidad de esta tecnología.

Con el fin de facilitar el establecimiento de arvenses nobles o de interferencia baja y hacer uso racional y eficiente de herbicidas químicos dentro de un manejo integrado de arvenses, Cenicafé ha desarrollado el Selector de Arvenses (Rivera, 1994). Es un equipo sencillo y liviano diseñado para la aplicación de herbicidas sistémicos postemergentes en forma selectiva sobre las arvenses de alta interferencia. El equipo consiste de una te (T) construida en tubería de PVC o polipropileno, de ¾" de diámetro interno, una altura de 1,30 m y ancho de 30 cm (Rivera, 2000) (Figura 5.17).

Volumen inicial de aplicación de herbicidas con el selector de arvenses

Pruebas realizadas variando el tamaño del equipo selector, determinaron que la velocidad de salida de la mezcla del herbicida es independiente del tipo de selector utilizado, debido a que ésta depende directamente del volumen inicial de la aplicación y de la altura y del peso de la columna de la solución herbicida. En la Figura 5.18, se observa cómo a medida que disminuye la altura del líquido en el selector (volumen inicial de aplicación) disminuye también la velocidad de salida de la mezcla del herbicida. El equipo selector de arvenses expuesto en la Figura 5.17 con capacidad para 650 cm³, además de ser más liviano y cómodo para su manejo, es 54,3%

más eficiente en cuanto al ahorro de herbicida que el selector de arvenses de capacidad máxima de 1.200 cm³ (Salazar y Rivera, 2001).

Concentración del herbicida en el selector de arvenses

Con este equipo puede lograrse un control efectivo (74%) de arvenses de hoja ancha con la aplicación de glifosato a una concentración del 9% (480 g de i.a /L), y 87% de control de arvenses de hoja angosta a una concentración del 8% (Figura 5.19), alcanzando para ambos casos una persistencia de control hasta de 41 días (Figura 5.20).

Efecto de la lluvia sobre la aplicación

Evaluaciones realizadas mediante la utilización de simulador de lluvias, permitió determinar que una lluvia de 60 mm/h sólo afecta el control si ésta ocurre 30 minutos después de la aplicación del herbicida (Figura 5.21). Se encontró que una lluvia simulada de 60 mm/h ocurrida 30 minutos después de la aplicación del herbicida, difiere estadísticamente del tratamiento testigo (sin lluvia). El mismo aguacero ocurrido después de 1 hora no afecta significativamente la eficacia del control.

Efecto del MIA sobre la producción del cafetal

En un experimento realizado en Chinchiná (Caldas) en siembras nuevas de café variedad Colombia, establecidas a 2 x 1 m, dos plantas por sitio, la producción acumulada de café durante cuatro años, obtenida bajo el tratamiento MIA, no presentó diferencias estadísticas con relación a la producción obtenida bajo el sistema de manejo de suelo libre de arvenses (Tabla 5.14). Es decir que el MIA, además de evitar las pérdidas de suelo, no afecta la productividad del cultivo.

Costos del manejo integrado de arvenses (MIA)

Con el fin de evaluar las ventajas económicas del MIA, se compararon cinco sistemas de manejo de arvenses frecuentemente empleados por los caficultores (Tabla 5.15), con el manejo integrado de arvenses recomendado por Cenicafé. Para ello se seleccionaron cinco fincas cafeteras ubicadas en la zona central cafetera colombiana, y en cada una de ellas se ubicaron dos parcelas con un área que varió entre 0,25 y 0,5 ha, cada una; en una parcela se llevó a cabo el manejo integrado de arvenses y en la otra se realizó el manejo de arvenses que normalmente hace el agricultor, consistente en manejo químico o mecánico desnudando totalmente el suelo.

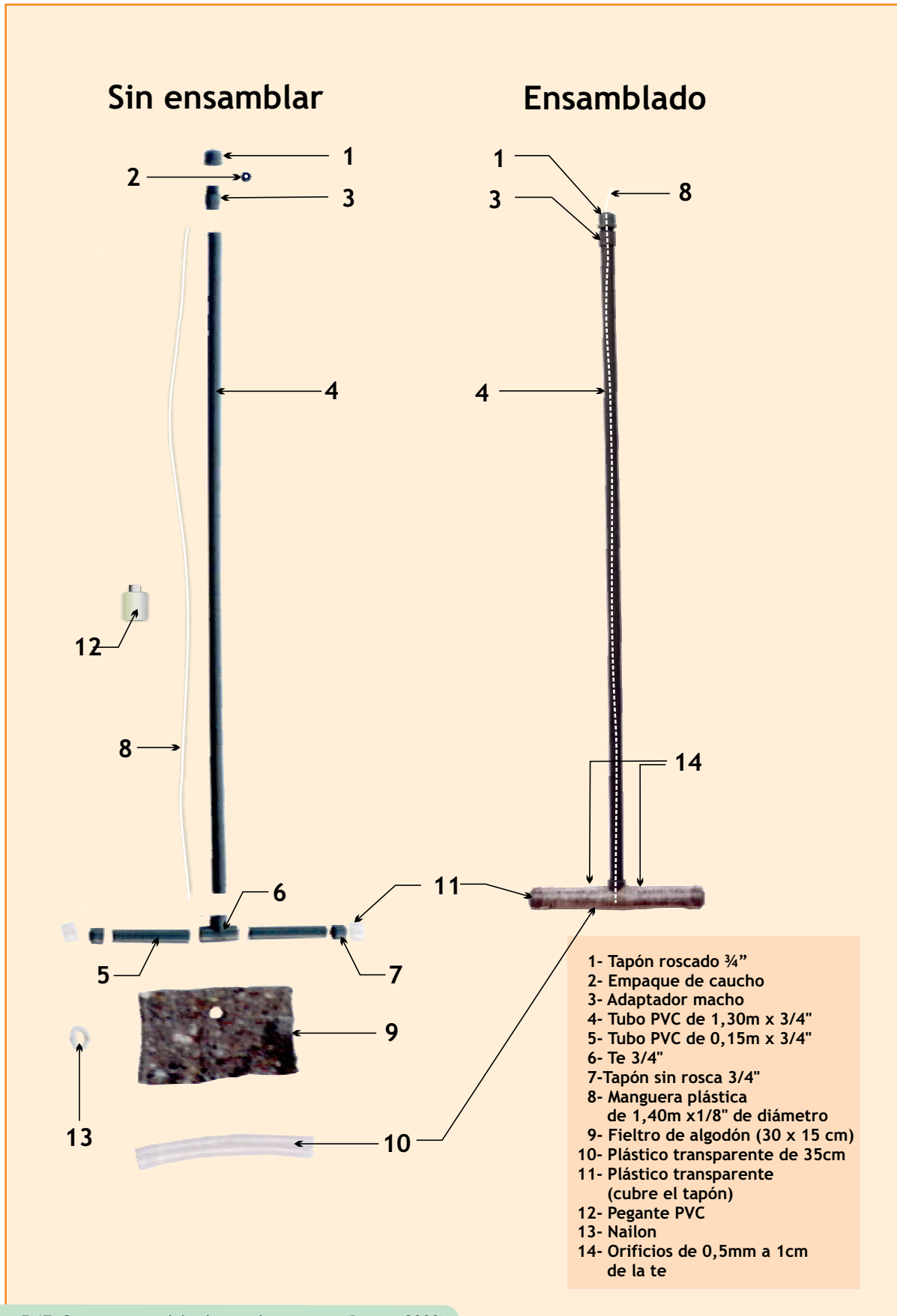


Figura 5.17. Componentes del selector de arvenses (Rivera, 2000).

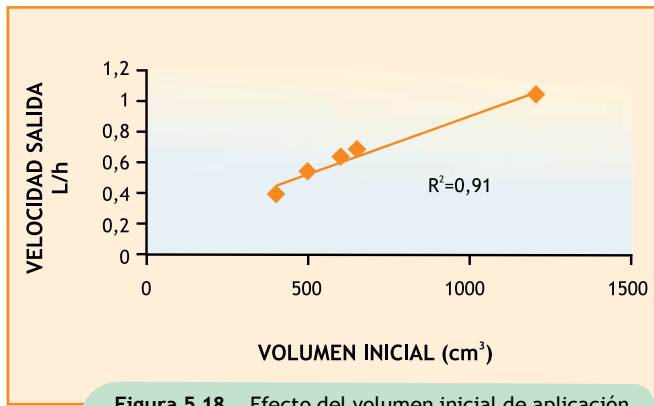


Figura 5.18. Efecto del volumen inicial de aplicación sobre la velocidad de salida de la mezcla herbicida (glifosato 480 g de i.a/L al 10%) (Salazar y Rivera, 2001).

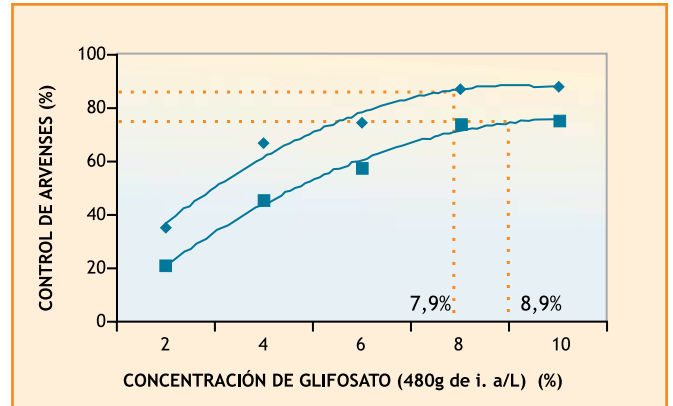


Figura 5.19. Efecto de diferentes concentraciones de glifosato aplicadas con el selector de arvenses sobre la eficacia del control (Salazar e Hincapié, 2003).

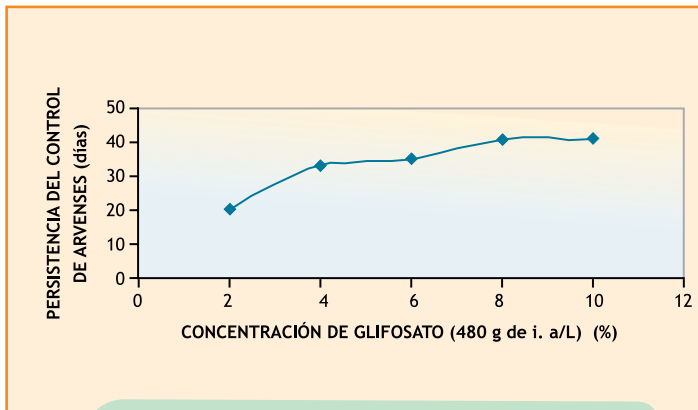


Figura 5.20. Efecto de diferentes concentraciones de glifosato aplicadas con el selector de arvenses sobre la persistencia del control (Salazar e Hincapié, 2003).

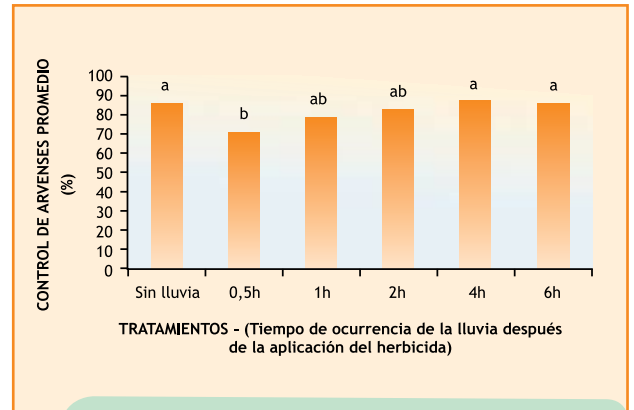


Figura 5.21. Efecto de una lluvia simulada de 60 mm/h sobre el control de arvenses con selector (Tratamientos acompañados con letras iguales no difieren estadísticamente) (Salazar e Hincapié, 2003).

Tabla 5.14. Efecto del manejo integrado de arvenses (MIA) y el manejo del suelo libre de arvenses sobre la producción de café en la Estación Central Naranjal (Cenicafé, 2005a).

Tratamientos	Producción de café pergamino seco en arrobas por hectárea				
	1a Cosecha	2a Cosecha	3a Cosecha	4a Cosecha	Acumulado
MIA	94,30 a*	454,80 a	452,90 a	154,10 a	1.156,1 a
Manejo libre de arvenses	59,60 a	506,80 a	485,70 b	185,70 a	1.237,8 a

*Valores seguidos de la misma letra son iguales estadísticamente.

El estudio se realizó durante dos años. Como variable de respuesta se evaluaron los costos del manejo de ambos tratamientos. El manejo integrado de arvenses permitió la reducción de los costos a través del tiempo comparado con el otro tipo de manejo; en el primer año

éstos disminuyeron en un 25% y en el segundo en un 40%. En las Figuras 5.22, 5.23 y 5.24 se observan las labores e insumos requeridos para cada método de manejo de arvenses en los diferentes sitios estudiados.

Tabla 5.15. Manejo tradicional de arvenses que realiza el caficultor en cada una de las fincas estudiadas.

Localidad	Labores del manejo de arvenses hecho por agricultor
A	Un plateo manual inicial, luego control químico general con herbicida glifosato, aplicado con aspersora de espalda y boquilla marcadora.
B	Plateo manual, control mecánico con machete dejando totalmente desnudo el suelo y control químico general con herbicida glifosato aplicado con selector de arvenses.
C	Control mecánico con guadaña dejando totalmente desnudo el suelo y plateo manual
D	Control mecánico con machete y químico general con herbicida glifosato, aplicado con aspersora de espalda.
E	Control químico general con herbicida glifosato, aplicado con aspersora de espalda.

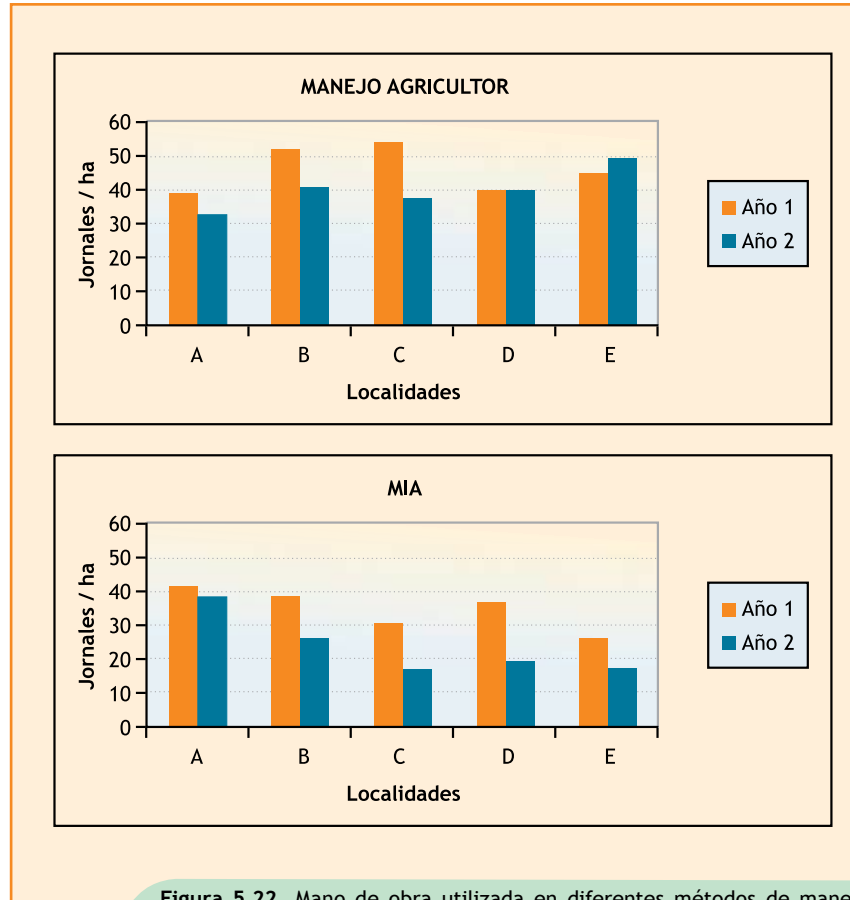


Figura 5.22. Mano de obra utilizada en diferentes métodos de manejo de arvenses en cafetales (Hincapié y Salazar, 2004).

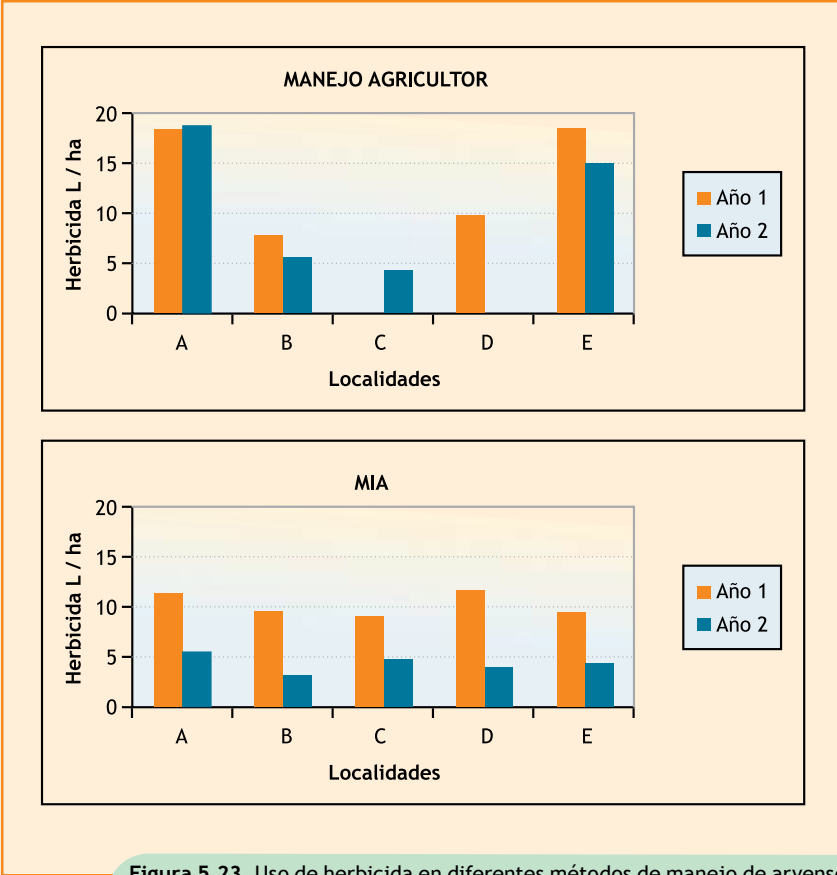


Figura 5.23. Uso de herbicida en diferentes métodos de manejo de arvenses en cafetales (Hincapié y Salazar, 2004).

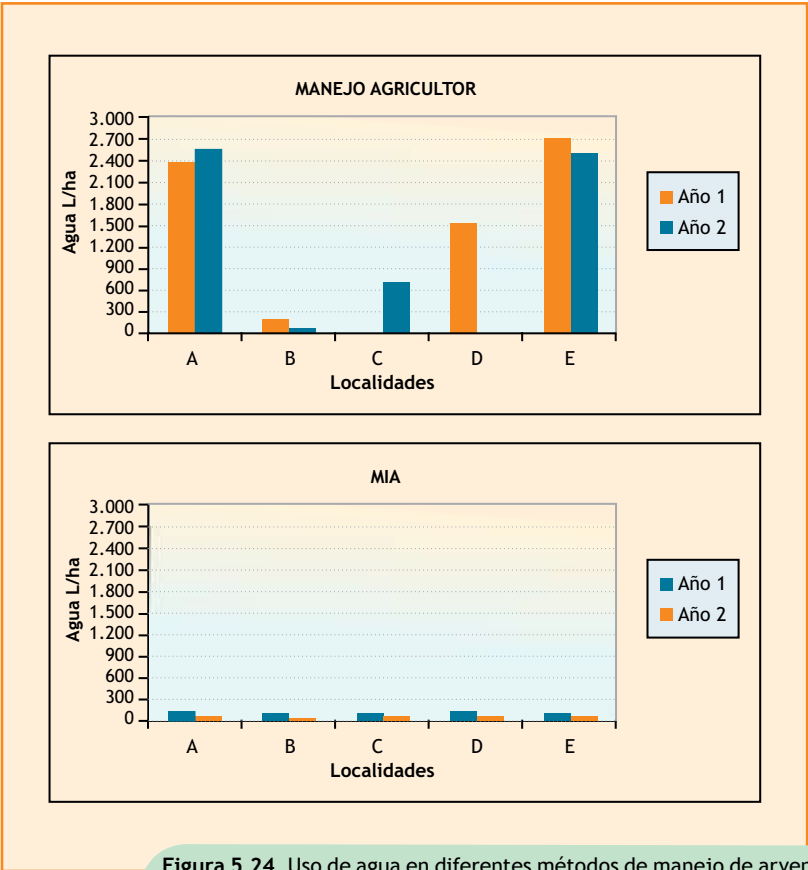


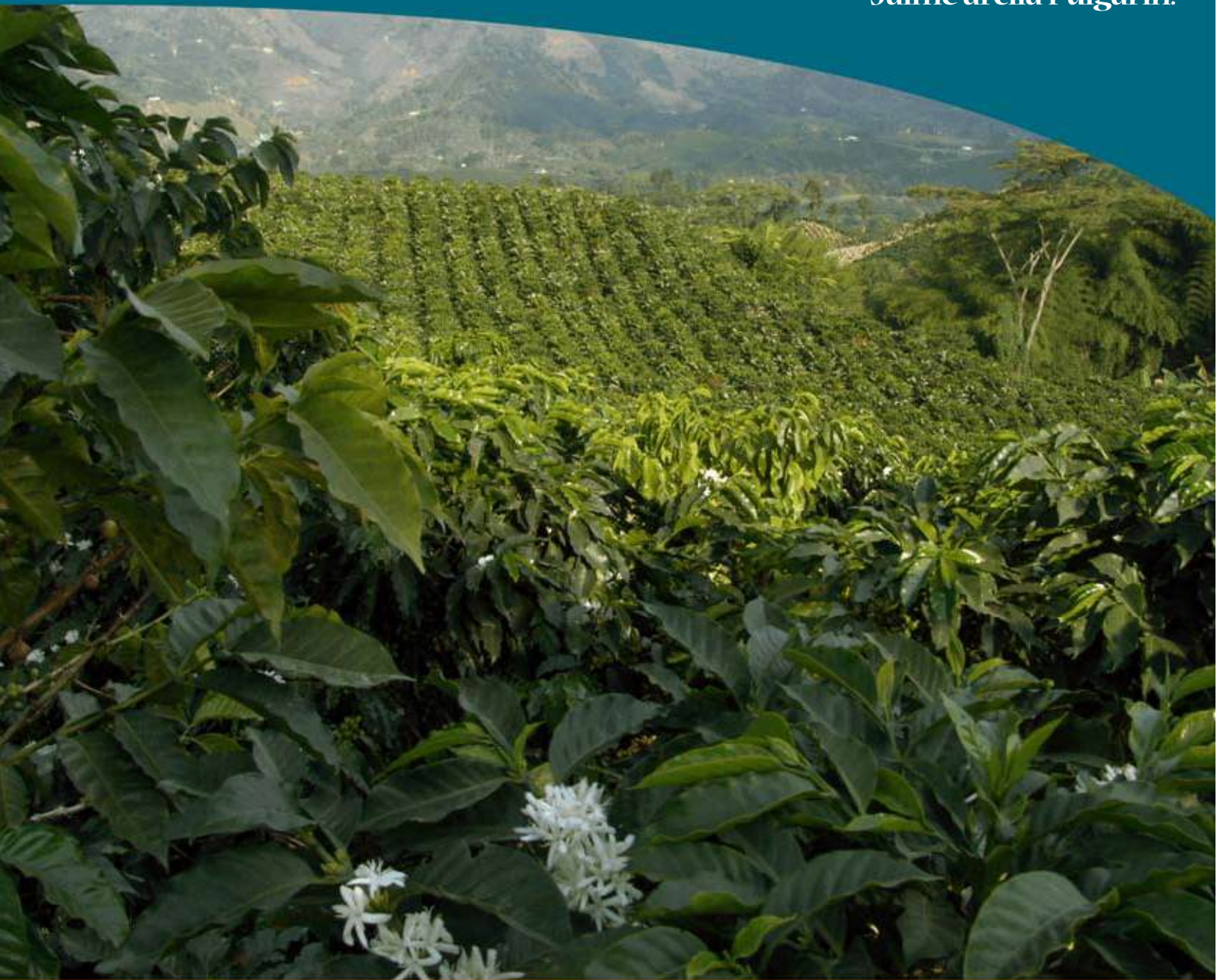
Figura 5.24. Uso de agua en diferentes métodos de manejo de arvenses en cafetales (Hincapié y Salazar, 2004).

CONSIDERACIONES FINALES. *Para mejorar o mantener la productividad del cultivo del café es importante el correcto manejo de las poblaciones de arvenses de interferencia alta, combinando de manera oportuna los diferentes métodos de control. El manejo no debe basarse en solo un método, debido a que pueden generarse problemas con especies de difícil manejo o se puede inducir resistencia a herbicidas.*

Las desyerbas tardías incrementan las poblaciones de las arvenses agresivas, lo cual implica mayores costos de manejo a través del tiempo y efectos negativos en la producción. La aplicación de herbicidas químicos debe hacerse en forma racional y localizada sobre las arvenses de mayor interferencia al cultivo, preferiblemente en su estado juvenil y utilizando el equipo selector de arvenses dentro de un plan de manejo integrado, y aprovechando el rebrote de las arvenses días después de un corte con machete o guadaña. Lo anterior con el fin de hacer más eficiente el control, facilitar la presencia de arvenses nobles, evitar toxicidad al cultivo y operarios y principalmente, proteger los recursos naturales como el suelo, el agua y la biodiversidad.

Densidad de siembra y productividad de los cafetales

Jaime arcila Pulgarín.



Consideraciones sobre el fenómeno de la competencia entre plantas

El fenómeno de competencia en las plantas

La competencia en las plantas puede mirarse como “las inconveniencias causadas por la proximidad de los vecinos”. Éstas pueden deberse a la disminución en la disponibilidad de luz, agua o nutrientes para cualquier planta individual, cuando su fronda o el área radical se traslapa con la de otro individuo. Por consiguiente, el grado de aglomeración en un área tiene un efecto importante en la cantidad de traslape entre los individuos y en el crecimiento promedio de estos (Park *et al.*, 2003).

Definición de competencia: “Interacción mutuamente perjudicial entre dos o más individuos que tratan de adquirir al mismo tiempo un recurso común y limitado”

La competencia puede ocurrir dentro de la misma especie (intraespecífica) o entre individuos de diferentes especies (interespecífica). Es altamente dependiente de la densidad. Diferencias en la forma de crecimiento como: organización del tallo y ramificaciones, forma de las hojas, tasa de desarrollo, patrón diario de toma de agua y nutrientes del suelo y la actividad fotosintética, influyen en la magnitud de la competencia (Azam-Ali y Squire, 2002).

Efectos de la competencia sobre la biomasa vegetal

A nivel de germinadores o estado de plántulas, una alta densidad por área no tendrá un efecto inicial sobre los individuos. A medida que las plantas se desarrollan llegará el momento en que se intensificará la competencia, para las raíces y la fronda, por espacio, nutrientes, agua y luz.

En la competencia intraespecífica (monocultivo) pueden identificarse tres efectos principales: 1) Un efecto de competencia - densidad (disminución del tamaño promedio de las plantas a medida que se incrementa la densidad; 2) Una alteración en el tamaño de la estructura de la población (desarrollo de una jerarquía por tamaños) es decir, unos pocos individuos aventajan a los otros y crecerán más rápido mientras que otros tendrán menos aptitud para competir y su crecimiento se retardará; 3) Una mortalidad dependiente de la densidad (autoraleo). El resultado final será entonces el “aclareo” o auto raleo y el desarrollo de una jerarquía de tamaños, con unos pocos individuos muy grandes y muchos individuos pequeños (Harper, 1977; Park *et al.*, 2003).

La prontitud con que se manifiestan estos efectos sobre el peso y el tamaño de las plantas depende de la densidad inicial. Si ésta es alta, los efectos aparecerán más temprano. Independientemente de la densidad inicial, las poblaciones convergirán hacia una densidad común, la cual disminuirá con el transcurso del tiempo.

En los sistemas de producción de café se presentan simultáneamente los dos tipos de competencia. Por ejemplo, en un cultivo al sol durante los tres primeros años de desarrollo, en un sistema de café intercalado (ej. café, maíz y arvenses) o en un sistema de café bajo sombra (ej. café y guamo), ocurre competencia interespecífica; mientras que en un monocultivo de café al sol mayor de tres años, predomina la competencia intraespecífica.

Si se hace una comparación y contraste entre los dos tipos de competencia intraespecífica e interespecífica, se encuentra que los mecanismos básicos de explotación e interferencia son similares, pero la competencia interespecífica difiere en tres aspectos:

1. Los individuos de especies diferentes no usan los mismos recursos.
2. Los individuos de especies diferentes no usan los recursos exactamente en la misma forma.
3. La competencia interespecífica es asimétrica, es decir, no afecta a las especies involucradas de la misma forma.

La densidad de siembra: una estrategia para el manejo de la competencia

La densidad de siembra se define como el número de plantas por unidad de área de terreno. Tiene un marcado efecto sobre la producción del cultivo y se considera como un insumo, de la misma forma que se considera por ejemplo, un fertilizante.

La densidad de siembra está relacionada con los efectos que produce en la planta la competencia de otras plantas de la misma o de otra especie, y además, con una mayor o menor eficiencia de captación de la radiación solar (Fageria, 1992).

Las plantas responden a las altas densidades de siembra de varias formas: aumento de la altura y la longitud de los entrenudos, y reducción del número de ramas, nudos, hojas, flores y frutos (Willey, 1994).

Entre los factores más importantes que determinan la densidad de siembra óptima para un cultivo se encuentran: la longitud del período de crecimiento,

las características de la planta, el nivel de recursos disponible para el crecimiento y el arreglo espacial (Willey, 1994).

Longitud del período de crecimiento. Las plantas que tienen un período de crecimiento muy corto, tienen menos tiempo para alcanzar un tamaño suficiente para utilizar completamente los recursos, por consiguiente se necesitan muchas plantas para alcanzar la máxima producción por unidad de área.

En cultivos cuyo producto comercial es la parte vegetativa (“cultivos vegetativos”) (repollo, lechuga) son necesarias mayores densidades para las siembras tardías o situaciones de cosecha temprana.

En cultivos cuyo producto comercial es la parte reproductiva (“cultivos reproductivos”) (maíz, algodón), debido a que una determinada variedad tiene un período crítico para maduración, requieren densidades más altas para los cultivares de maduración temprana.

Características de la planta. Dentro de un cultivo específico, mientras más se despliegue la planta individualmente para interceptar la radiación, menor será la densidad de población. En las legumbres de grano por ejemplo, los tipos extendidos, ramificados o trepadores tienen menores densidades óptimas de población, aunque esto también se asocia al hecho de que estas variedades también tienen períodos de crecimiento más largos. En los cereales, muchos de los cultivares modernos que además tienen vástagos y hojas erectas, requieren mayores densidades de población que las variedades convencionales, que no poseen estas características. Estas variedades de cereales, también ilustran la probable necesidad de mayores poblaciones para las variedades enanas ya que las plantas de porte más bajo frecuentemente tienen menor capacidad de alcanzar en forma temprana una buena cobertura del terreno. A su vez, el porte bajo puede estar asociado con la longitud del período de crecimiento, al presentar en algunos casos maduración temprana (Willey, 1994).

Nivel de los recursos disponibles para el crecimiento. En cultivos de producción reproductiva que tienen un óptimo de población más o menos crítico (por ejemplo, aquellos en los que la curva de respuesta tiene un punto de inflexión relativamente agudo), el óptimo de población se ha observado que frecuentemente es más alto a mayor disponibilidad de recursos. La misma tendencia se ha observado para el suministro de agua, aunque con frecuencia se ha sugerido que en condiciones de estrés hídrico moderado pueden ser necesarias densidades de población un poco más altas para estimular el crecimiento radical a mayores profundidades (Willey, 1994; Da Matta, 2004).

Arreglo espacial. Un aspecto integral de la densidad de población es el arreglo espacial, es decir, el patrón de distribución de las plantas sobre el terreno. Dentro de unos límites razonables, el arreglo espacial tiene menos efecto en la producción que el número de plantas.

En muchos cultivos, particularmente aquellos en los cuales las plantas individuales son grandes, por ejemplo el cafeto, el número de plantas y el arreglo espacial pueden controlarse en forma muy precisa. En otros cultivos, el control se hace mediante el peso inicial o número de semillas sembradas (tasa de semilla) lo cual es menos preciso.

Cuando el arreglo espacial difiere del ideal lo suficiente como para que se reduzca la producción, el óptimo de población generalmente es más bajo.

■ Curvas de respuesta de los cultivos a la densidad de siembra

A medida que aumenta la población disminuye la producción media por planta, debido a un incremento de la competencia por los recursos necesarios para el crecimiento (Willey y Heath, 1969).

Sobre la base de área, sin embargo, incrementar el número de plantas permite una mayor utilización de los recursos y como consecuencia, la producción biológica total aumenta en la forma de una curva de rendimientos decrecientes que se nivela cuando la población de plantas es lo suficientemente alta para la máxima utilización de los recursos, y a partir de este punto con un aumento adicional de la densidad de población, la producción total por unidad de área permanece generalmente constante (Willey y Heat, 1969).

Se han propuesto muchas ecuaciones para describir cuantitativamente las curvas de respuesta a la densidad de población. Estas expresiones ayudan a entender las interrelaciones biológicas involucradas y a determinar en forma general, la población óptima y la máxima producción para una curva determinada (Willey y Heat, 1969).

La producción del cultivo generalmente involucra ciertas partes de la planta y se ha sugerido que la naturaleza de la curva de respuesta a la densidad depende de si la parte cosechada es vegetativa (hojas, tallos, raíces) o si éstas son reproductivas (frutos, semillas) (Figura 6.1) (Willey, 1994).

Para la “producción vegetativa”, la curva de respuesta sigue el patrón para la producción total descrito anteriormente (rendimientos decrecientes) (Figura 6.1A); mientras que para la “producción reproductiva”, la curva de respuesta alcanza un valor máximo y luego disminuye con el subsiguiente aumento de la población, es decir, hay un punto de inversión (Figura 6.1B).

Estas curvas se conocen normalmente como asintóticas y parabólicas, pero estos términos no significan una descripción matemática totalmente precisa.

En las “producciones reproductivas”, el punto de inversión tiende a ser más crítico, por ejemplo, la producción cae más rápidamente a ambos lados del óptimo, cuando la planta individual es relativamente inflexible y no puede adaptarse fácilmente a los cambios del área que ocupa.

En términos biológicos, la población óptima para una curva asintótica puede definirse como la población

mínima de plantas con la cual se alcanza la máxima producción. Para la curva parabólica, es simplemente la población de plantas en el punto de inversión. En la práctica, cada curva tiene un óptimo económico un poco abajo del óptimo biológico y el punto exacto depende de los valores relativos de la semilla, la planta o la producción final.

Para la curva de respuesta asintótica, las ecuaciones más ampliamente aceptadas son aquellas basadas en una relación lineal entre el recíproco de la producción por planta y la población de plantas. Willey y Heat (1969), Willey (1994) y Park *et al.*, (2003), han propuesto otras ecuaciones, pero todas encajan dentro de la siguiente ecuación general:

$$1/w = a + bx$$

En donde:

$1/w$ = producción por planta

x = población de plantas

a y b = constantes

Una desventaja teórica de esta ecuación es que describe una curva de respuesta de la población de plantas para la producción por unidad de área que no es constante a densidades altas pero que es verdaderamente asintótica, por ejemplo, la producción alcanza un valor máximo (la asíntota) que se consigue solamente con una población infinita de plantas. No obstante, en la práctica, repetidamente se obtiene un buen ajuste para un amplio rango de cultivos vegetativos (Willey,1994).

También se ha sugerido que la constante “ a ” puede dar una medida del potencial genético, puesto que $1/a$ representa la aparente producción máxima por planta con una población cero (en la práctica, $1/a$ alcanza el máximo valor una vez la población de plantas es lo suficientemente baja para que no haya competencia).

En forma similar “ b ” puede dar una medida del potencial ambiental porque la asíntota de la producción por unidad de área es igual a $1/b$.

Estas sugerencias pueden ser útiles cuando se están comparando diferentes genotipos en un ambiente determinado o diferentes ambientes con un genotipo determinado. Sin embargo, no se puede asumir que diferentes genotipos o ambientes tienen valores constantes de “ a ” y “ b ”, respectivamente, puesto que $1/a$ no puede ser completamente independiente del ambiente y $1/b$ no puede ser independiente del potencial genético (Willey,1994).

Para las curvas de respuesta de tipo parabólico, el recíproco de la producción por planta da una relación

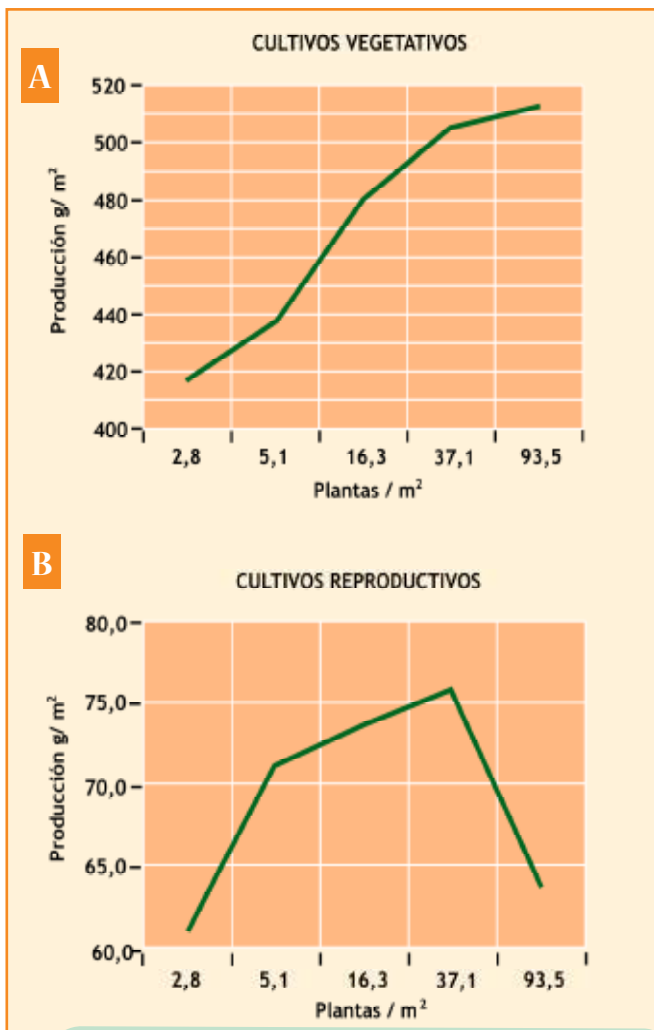


Figura 6.1. Curvas de respuesta de producción para cultivos vegetativos (A) (asintota) y reproductivos (B) (parabólica) (Willey, 1994).

curvilínea con la población de plantas, la cual puede ajustarse mediante una ecuación cuadrática:

$$1/w = a + bx + cx^2$$

Esta ecuación es una extensión puramente empírica de la situación asintótica, pero que con frecuencia da un buen ajuste.

Para ajustar una relación cuantitativa en la práctica, se requieren valores de producción del cultivo para un rango de densidades de población. Teóricamente, si se va a ejecutar una regresión lineal solamente se requieren dos poblaciones; en la práctica, un mínimo de cuatro son aconsejables, y éstas deben ser lo suficientemente espaciadas.

Para ajustar la ecuación resumida arriba, se calcula el recíproco de la producción por planta y se hace el correspondiente análisis de regresión, por ejemplo, una regresión lineal para una curva asintótica y una regresión cuadrática para la parabólica (Willey,1994).

Finalmente, para obtener la curva de respuesta ajustada de la población, los valores ajustados de la regresión del recíproco de la producción por planta se reconvierten a valores de producción por unidad de área. Con frecuencia, una gráfica dará con suficiente precisión el óptimo de población y la máxima producción alcanzada, pero éstas pueden calcularse exactamente como:

Ecuación	Población óptima	Máxima producción
$1/w = a + bx$	Infinita	$1/b$
$1/w = a + bx + cx^2$	$\sqrt{a/c}$	$1/(\sqrt{a/c} + b)$

Densidad de siembra óptima para cafetales

Diferentes experimentos en café han permitido establecer las siguientes ecuaciones para representar la respuesta a la densidad de siembra, en Colombia (Duque, 2004):

$$Y=130,73 + 0,052647 X - 0,000002359 X^2$$

en donde:

Y= Producción en @ de cps/ha
X= número plantas por hectárea

Esta función describe la respuesta en productividad en arrobas de café pergamino seco por hectárea (@cps/ha)

para un cultivo de variedad Caturra, a plena exposición solar y durante un ciclo de 5 años.

Esta función es de tipo cuadrático y se caracteriza por ser marginal decreciente, lo cual implica que al aumentar la densidad de siembra a partir de 2.500 árboles por hectárea hasta un poco más de 10.000, la productividad se incrementa pero en forma decreciente, para luego comenzar a disminuir (Figura 6.2).

Con base en esta función de respuesta es posible estimar el óptimo biológico así como el óptimo económico para la variable densidad de siembra, con los siguientes resultados:

Óptimo biológico: 11.033 plantas/ha
Óptimo económico: 9.404 - 9.852 plantas/ha

Factores que afectan la respuesta del cafeto a la densidad de siembra

La respuesta del cafeto a la densidad de siembra depende de varios factores como: la variedad, el desarrollo foliar, el sistema de cultivo al sol o a la sombra, la localidad y la altitud, entre otros (Browning y Fisher, 1976, Uribe y Mestre, 1980,1988; Cannell,1985; Bartholo,1998; Rena et al., 1998; Gallo et al., 1999; Androcioioli, 2002).

Densidad de siembra según la variedad. La densidad de siembra óptima es diferente según la variedad de café. La respuesta está condicionada al porte alto o bajo de la variedad y a la condición del grado de exposición solar del cultivo (Mestre y Salazar, 1990).

A menor expansión de la planta individual, mayor será el óptimo de población y viceversa. Las variedades de porte bajo cultivadas en Colombia tienen menor expansión individual que las variedades de porte alto.

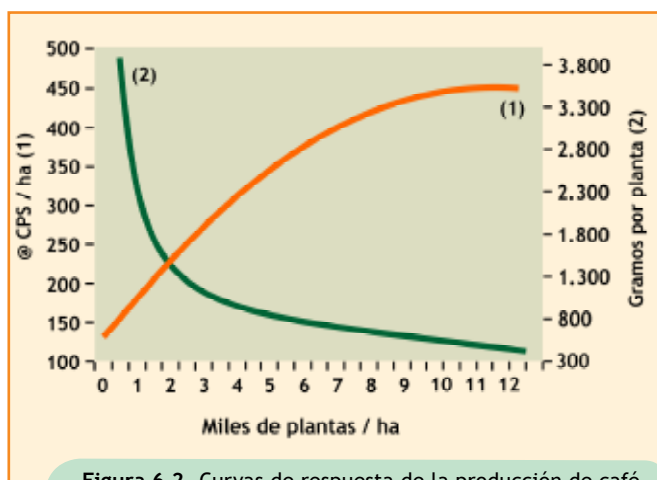


Figura 6.2. Curvas de respuesta de la producción de café a la densidad de siembra (1 @= 12,5 kg) (Duque, 2004).

Bajo condiciones de sombra, las plantas de ambos grupos tienden a presentar mayor extensión en relación con las plantas a plena exposición solar.

Por las razones expuestas, las variedades de porte bajo como la Variedad Castillo® y la variedad Caturra, son aptas para la siembra en altas densidades mientras que las variedades de porte alto como Típica, Borbón, Maragogipe o Tabi requieren bajas densidades de siembra. A su vez, estas densidades serán menores para los dos grupos de variedades, cuando los cultivos se desarrollen bajo sombra (Tabla 6.1).

Densidad de siembra óptima según el sistema de cultivo

Variedades de porte bajo a plena exposición solar y libre crecimiento. Las variedades de porte bajo que se cultivan en Colombia son la variedad Caturra, la Variedad Castillo® y las Variedades Castillo® regionales. Las investigaciones han demostrado que en cafetales a plena exposición solar y bajo condiciones ambientales y manejo agronómico adecuados, la densidad de siembra óptima tanto para la variedad Caturra como la Castillo® está alrededor de 9.500 plantas por hectárea. Aunque todavía no se tiene información experimental sobre la densidad de siembra óptima para las Variedades Castillo® regionales, puede adoptarse inicialmente el mismo óptimo que para las Variedades Castillo® y la variedad Caturra (Uribe y Mestre, 1980; Duque, 2004).

Variedades de porte bajo con sombrío. No se tiene información experimental acerca de la densidad de siembra óptima para las variedades de porte bajo con sombrío. Este óptimo dependerá de la cantidad de sombra a que esté sometido el cultivo. A su vez la

cantidad de sombra está ligada a la especie utilizada y a su edad. Para sistemas de producción con densidades de árboles de sombrío entre 70 y 100 árboles por hectárea, podría considerarse hasta un máximo de 5.000 cafetos de porte bajo por hectárea.

Variedades de porte alto a plena exposición solar y libre crecimiento. En Cenicafé se estudió la respuesta a la densidad de siembra de la variedad Borbón a plena exposición solar y libre crecimiento. La distancia entre surcos varió entre 1,5; 2,25 y 3,0 m y la distancia entre plantas entre 1,0; 1,5 y 2,0 m, para densidades de 1.666; 2.222; 2.923; 3.333; 4.444 y 6.000 plantas/ha. Se encontró una tendencia lineal en el incremento de la producción a medida que aumenta la densidad de siembra (Salazar y Mestre, 1977).

Variedades de porte alto con sombrío. No se tiene información experimental acerca de la densidad de siembra óptima para las variedades de porte alto con sombrío. Este óptimo dependerá de la cantidad de sombra a que esté sometido el cultivo. A su vez, la cantidad de sombra está ligada a la especie utilizada y a su edad. Debe considerarse además que bajo sombra la producción de café se reduce. Para sistemas de producción con densidades de árboles de sombrío entre 70-100 árboles por hectárea, podrían considerarse hasta 2.500 cafetos de porte alto por hectárea.

Es relevante anotar que la primera investigación que se realizó en Colombia sobre población de cafetos de porte alto y sombrío fue publicado por Triana (1957), y se denominó “Informe preliminar sobre un estudio de modalidades del cultivo del cafeto”. En este trabajo se evaluó la relación entre el número de plantas por hoyo (1 y 4) y la respuesta en producción al sol y a la sombra,

Tabla 6.1. Densidad de siembra y producción de las variedades de café sembradas en Colombia (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004).

VARIEDAD	Densidad de siembra (plantas/ha)		Producción media (cps)			
			Kilogramos por árbol		Arrobas por hectárea*	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Típica	1.500	2.500	0,6	0,9	72	180
Borbón	1.500	2.500	0,8	1,2	96	240
Tabi	1.500	2.500	0,7	1,0	84	200
Caturra	Hasta 5.000	Hasta 10.000	0,35	0,5	85-140	200-300
Variedad Castillo®	Hasta 5.000	Hasta 10.000	0,35	0,6	200	220-350

* 1@=12,5 kg

para las variedades Típica y Borbón. Los resultados en producción fueron mejores para la variedad Borbón en la condición de 4 plantas por hoyo, al sol.

Interacción de la densidad de siembra y la fertilización.

La fertilización de cafetales con altas densidades de siembra debe partir de la base del análisis de suelos y considerando además que, en nuestras condiciones, la mayor respuesta obtenida ha sido a la fertilización nitrogenada y potásica (Uribe y Mestre, 1976).

Un experimento con la variedad Caturra en las densidades de siembra de 2.000, 2.500 y 3.333 plantas/ha, a plena exposición solar, con distintas dosis de fertilizante (12-12-17-2) de 0; 800; 1.600 y 2.400 kg.ha⁻¹, durante 6 cosechas, mostró que no hubo efecto significativo del fertilizante sobre la primera cosecha. Para las demás cosechas se encontró una respuesta de tipo cuadrático al fertilizante, pero no fue significativa la interacción densidad de siembra por dosis de fertilizante. Se registró para todas las densidades estudiadas, que las mayores producciones se obtienen con 1.800 kg de fertilizante por hectárea, de tal forma que la cantidad óptima por planta depende entonces de la distancia de siembra (Mestre, 1977).

En otra investigación, Uribe y Salazar (1981), estudiaron el efecto de cuatro distancias de siembra y cuatro dosis de fertilizante químico sobre la producción de café de la variedad Caturra, en siete lugares de la zona cafetera colombiana, con el fin de encontrar la mejor dosis de fertilizante para el café en relación con la densidad de población y en plantaciones sembradas a libre exposición solar. Se compararon 16 tratamientos compuestos por las distancias de siembra 1,25 x 1,25; 1,50 x 1,50; 1,75 x 1,75 y 2,00 x 2,00 metros, con 6.410; 4.444; 3.268 y 2.500 plantas por hectárea, respectivamente, y 200, 400, 600 y 800 gramos de fertilizante (12-12-17-2) por planta, repartidos en cuatro aplicaciones por año. Los resultados fueron muy similares para todos los lugares experimentales estudiados y las conclusiones son aplicables para todos.

Los análisis estadísticos demostraron que hubo incrementos en la producción de café de acuerdo con el acortamiento de las distancias de siembra. Estos resultados fueron constantes para todos los lugares, en todas las cosechas anuales y para el acumulado de las cosechas de cada sitio experimental. Se confirmaron así los resultados de otras investigaciones realizadas en la zona cafetera colombiana sobre las densidades de siembra en café.

En todas las distancias de siembra se presentaron incrementos de la producción con los aumentos en las dosis de fertilizante para todos los sitios en estudio. Esta respuesta no fue absoluta como en el caso de

las distancias de siembra, dado que en tres de los lugares experimentales no hubo respuesta estadística a las dosis de fertilizante aplicado, en algunas de las cosechas anuales. Estadísticamente no hubo interacción entre los factores dosis por distancias, pero un estudio detenido de los datos indicó incrementos muy reducidos en producción para las dosis más altas, por lo que se recomienda la aplicación de 2.500 kg de fertilizante (12-12-17-2)/ha/año para las distancias de 1,25 x 1,25 y 1,50 x 1,50 metros, y 2.000 kg/ha/año para las distancias de 1,75 x 1,75 y 2,00 x 2,00 metros. Las dosis por planta deben calcularse de acuerdo a la densidad de siembra.

Según Uribe y Salazar (1981), si se tienen distancias mayores de 2,00 x 2,00 m, la fertilización puede recomendarse por árbol sin variar la cantidad de fertilizante; en cambio cuando las distancias son más cortas, hasta el punto de establecerse una competencia entre plantas, las cantidades deben variar en el sentido de disminuir la dosis por árbol.

Densidad de siembra óptima según localidad. Cada sitio tiene una oferta ambiental (suelo y clima) que determina un potencial de producción específico y el objetivo de la densidad de siembra óptima es contribuir a la mayor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles para ese sitio. En la Figura 6.3 se observa que aunque en todos los sitios hay un incremento en la producción al aumento en la densidad de siembra, la magnitud de la respuesta no es igual en todos los lugares, debido posiblemente a la presencia de otros factores limitantes. Además de las condiciones anotadas también deben considerarse la altitud y la latitud.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Es frecuente la pregunta sobre la relación entre la densidad de siembra del café y la altitud. En las zonas altas debido a una menor disponibilidad de energía térmica, el desarrollo del café es más lento y por tanto, no habría problema al utilizar los óptimos de densidad. En las zonas bajas hay una mayor disponibilidad de energía y el desarrollo del cultivo a plena exposición solar es más acelerado y menos eficiente y por tanto, la densidad de siembra óptima puede ser inferior a la considerada anteriormente.

Con relación a la latitud, los problemas más limitantes están relacionados con una disponibilidad hídrica muy baja durante unos períodos del año relativamente largos. De acuerdo con las mediciones de los componentes hidrológicos dentro de los cafetales, en estas regiones con períodos secos muy prolongados no son convenientes las densidades de siembra altas tanto para el café como para el sombrío, ya que se aumenta la cantidad de agua interceptada por la parte aérea de las plantas, y disminuye así la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo.

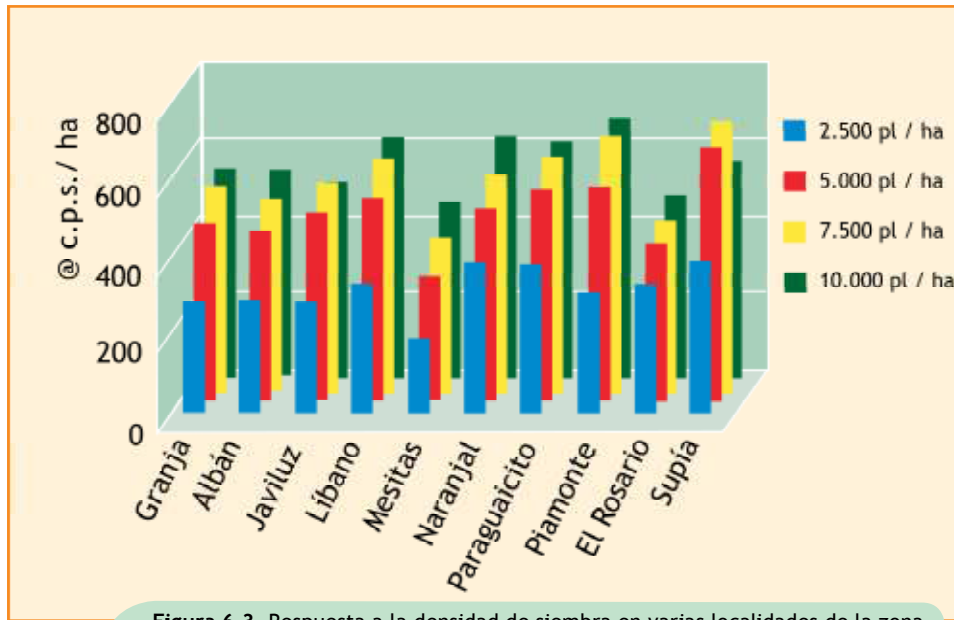


Figura 6.3. Respuesta a la densidad de siembra en varias localidades de la zona cafetera colombiana. (pl/ha=plantas/hectárea)(Mestre, 1995).

Arreglos espaciales en los cafetales

Desde el punto de vista fisiológico de la eficiencia de la interceptación de la radiación solar, el arreglo espacial ideal es la equidistancia entre determinada parte de la planta y sus vecinos inmediatos. Sobre una base de área, esto permite la utilización más eficiente de los recursos y alcanzar las máximas producciones. Este arreglo es muy usado en cultivos perennes (Willey, 1994).

En cultivos anuales es más frecuente cultivar en surcos, siendo la distancia entre surcos mayor que la distancia entre las plantas en el surco. Este arreglo espacial se define en términos de su rectangularidad, la cual indica la forma del área que es asignada a una planta individual; por ejemplo, si la distancia entre surcos es dos veces la distancia de las plantas dentro del surco, se dice que la rectangularidad es de 2:1.

Cuando las plantas se distribuyen irregularmente, la eficiencia en la utilización del área total se reduce y en consecuencia, la producción de las plantas individuales también es irregular y menor. Mientras más irregular sea el espaciamiento menor será la proporción de plantas individuales en producción dentro de los límites deseables.

Interceptación de la radiación solar por el cafeto

La radiación solar juega un papel crítico en el desarrollo de los cultivos y en consecuencia, para lograr altos rendimientos y obtener mayor productividad de los

cafetales, es necesario sembrar un número óptimo de plantas por hectárea, tener un adecuado desarrollo foliar por planta y una distribución espacial apropiada en el campo, para optimizar la interceptación de esa radiación solar.

Para la producción de materia seca, las hojas del cultivo deben interceptar radiación solar (captura de recurso) y absorber CO_2 (conversión de recurso). El tamaño y la duración del follaje determinan la tasa y la duración de la acumulación de materia seca. El tamaño de la superficie de interceptación depende del índice de área foliar del cultivo, el cual puede expresarse como el producto del número de plantas por unidad de área de terreno, del número de hojas por planta y del área promedio de las hojas por planta.

La cantidad de radiación que penetra la fronda de la planta y alcanza el suelo depende del índice de área foliar (IAF) y del ángulo de inserción de las hojas.

Para describir el patrón de penetración de la luz a través de la fronda es conveniente imaginar el cultivo como si estuviera compuesto por un número de capas horizontales, cada una con un IAF equivalente a 1 (Figura 6.4). Si se mide la radiación incidente desde la capa de la superficie superior y a un número de niveles a lo largo del perfil de la planta, correspondiendo cada nivel a la unidad de IAF, entonces, la irradiancia medida a cualquier nivel es una función del arreglo angular de las hojas por encima de ese nivel. La extinción de la luz hacia abajo, en el perfil de la planta, en plantaciones con follaje cerrado (continuo) se describe generalmente mediante la ecuación de Monsi-Saeki, citado por Saeki (1993) (Figura 6.4A):

$$I/I_0 = e^{-kL} \quad \text{donde}$$

- I_0 = La radiación incidente sobre la parte superior de la fronda
- I = La radiación a un nivel dentro de la fronda, bajo un nivel de IAF
- k = Coeficiente de extinción para la radiación
- L = Índice de área foliar

En las poblaciones cuya fronda no es cerrada, Jackson y Palmer (1979) proponen un modelo en el cual se utilizan los registros de RFA transmitida a través del dosel (T_c) y de la RFA que pasa directamente al suelo (T_f), así (Figura 6.4B):

$$T = T_f + (1-T_f) e^{-k(IAF)'}$$

en donde:

- T = Transmisividad total
- T_f = Flujo de RFA transmitida directamente al suelo, entre los árboles
- $1-T_f$ = Radiación transmitida a través del dosel = T_c
- IAF = Índice de área foliar
- $(IAF)'$ = $IAF/(1-T_f)$

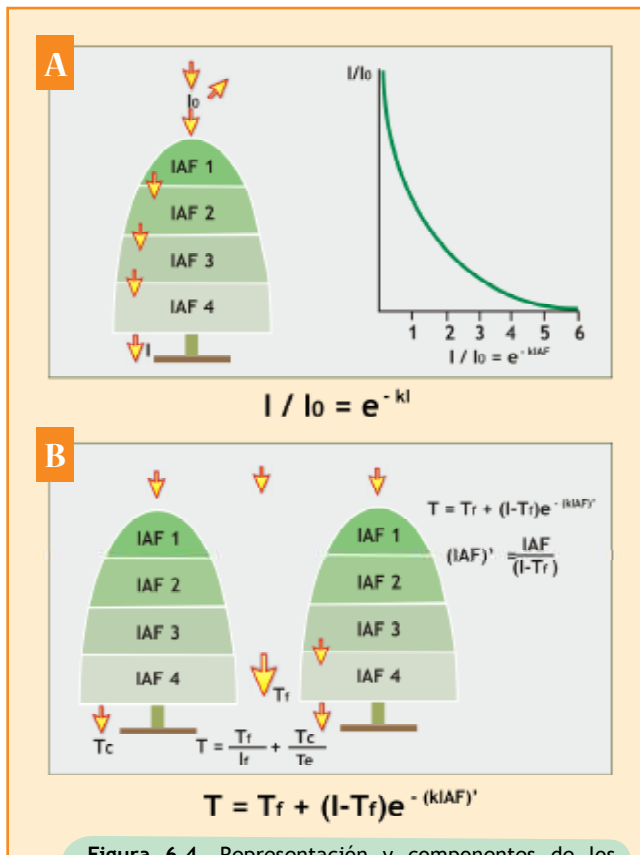


Figura 6.4. Representación y componentes de los modelos para el cálculo de los coeficientes de extinción en plantaciones con follaje cerrado A) (Monsi-Saeki, citado por Saeki 1993), y plantaciones con follajes discontinuos; B) (Jackson y Palmer, 1979).

Los patrones de interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y su relación con el desarrollo foliar fueron estudiados en poblaciones de *Coffea arabica* L. var. Colombia, de 36 meses de edad, en la Estación Central Naranjal de Cenicafé en Chinchiná, Colombia (Castillo *et al.*, 1997). Las poblaciones correspondieron a cinco densidades de siembra (2.500, 5.000, 7.500, 10.000 y 12.500 plantas/ha) y a dos disposiciones de las plantas en el terreno (cuadro y rectángulo). Se realizaron evaluaciones del área foliar, índice de área foliar e interceptación de la RFA y se aplicaron dos modelos de interceptación para determinar los coeficientes de extinción de la RFA en las diferentes densidades.

La disposición de las plantas, en cuadro o en rectángulo, no afectó significativamente el área foliar (AF) y el índice de área foliar (IAF). El AF por planta disminuyó con el incremento en la densidad de población, en tanto que el IAF y la interceptación de la radiación solar por parcela se incrementaron mostrando una respuesta cuadrática. Para esta edad del cultivo (36 meses), el valor máximo de IAF fue de 6,1, el cual se alcanzó con 12.500 plantas/ha, mientras que la interceptación máxima fue de 97% y se logró con una densidad de 10.000 plantas/ha (Figuras 6.5 y 6.6).

La interceptación de la RFA a través del perfil de la planta individual no varió por efecto de la densidad ni de la disposición de las plantas; el estrato superior interceptó alrededor del 70% de la RFA disponible. Los coeficientes de extinción fueron determinados con buen ajuste mediante los modelos de Monsi y Saeki, citado por Saeki (1993) y de Jackson y Palmer (1979), para las poblaciones con dosel cerrado y sin esta condición, respectivamente. Los valores de k variaron en un rango de 0,41 a 0,60 bajo condiciones de RFA difusa y de 0,51 a 0,72 para la RFA directa.

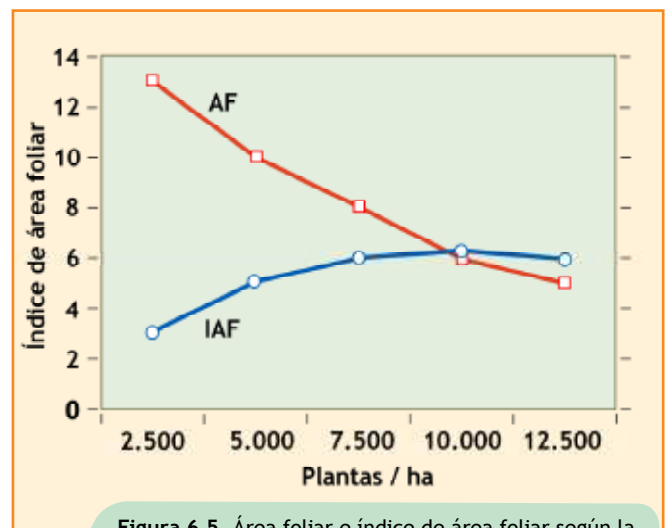


Figura 6.5. Área foliar e índice de área foliar según la densidad de siembra, en variedad Colombia (Castillo *et al.*, 1997).

El efecto de la disposición de las plantas en el terreno sobre la interceptación se presentó únicamente en la densidad de siembra de 2.500 plantas/ha, en donde la población con plantas dispuestas en rectángulo interceptó un porcentaje de RFA significativamente mayor que aquella con disposición en cuadro (Figura 6.6). Sin embargo, desde el punto de vista de manejo del cultivo esta densidad de siembra, en cualquiera de las dos disposiciones, no sería recomendable por la baja utilización del terreno evidenciado en los bajos valores de IAF (3,1 y 3,3), además de la alta proporción de pérdida de RFA (alrededor del 30%). En las demás densidades se pierde el efecto de la disposición, debido al cierre progresivo de la fronda. En las dos disposiciones, la interceptación se incrementó en respuesta al aumento en la densidad de siembra hasta lograr un máximo de 97%, hacia las 10.000 plantas/ha (Figura 6.6).

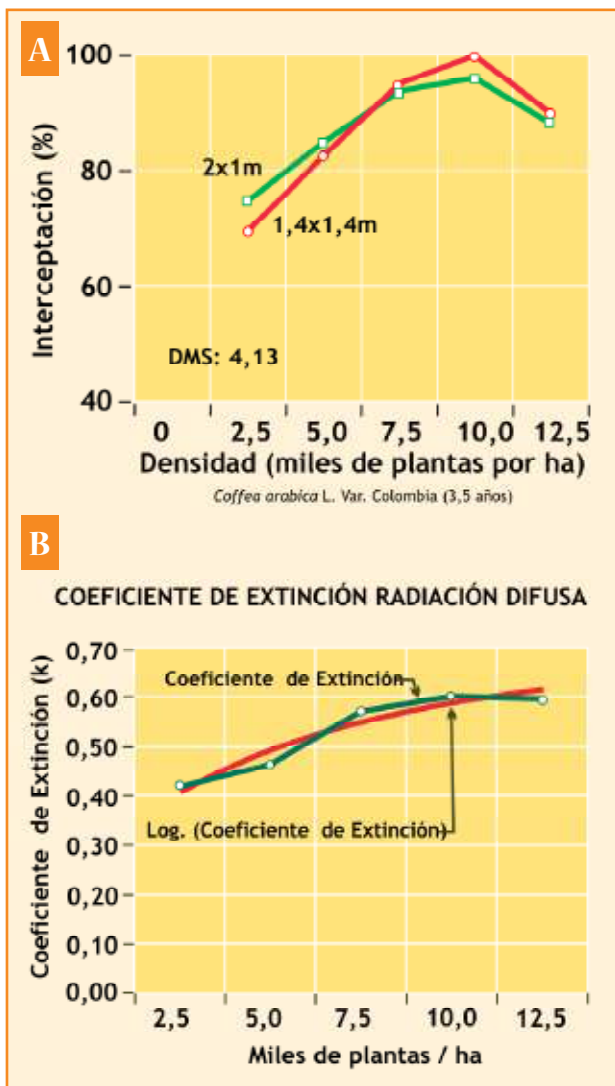


Figura 6.6. Intercepción de la radiación solar (A) y coeficientes de extinción (B), en función del arreglo espacial (Castillo et al., 1997).

Con relación al arreglo espacial en café, las investigaciones han demostrado que la siembra en rectángulo no tiene efecto sobre la producción (Figura 6.7).

En resumen, en condiciones de cultivo óptimas:

Para cultivo al sol

Una baja densidad de siembra implica:	Una alta densidad de siembra implica:
Índice de área foliar bajo: 1 - 2 Baja eficiencia de interceptación de luz Baja productividad	Índice de área foliar alto: 8 - 10 Alta eficiencia de interceptación de luz Buena productividad

Para cultivo a la sombra

El cultivo bajo sombra implica:
Índice de área foliar bajo: 2- 4 Baja eficiencia de interceptación de luz Baja productividad

La eficiencia en la interceptación de la radiación solar es la base de la productividad.

En las Tablas 6.2 y 6.3, se muestra el área de terreno que correspondería a cada planta y el número de plantas por hectárea según la distancia de siembra y el arreglo espacial.

Formas de obtener la densidad de siembra óptima

- Siembra de una planta por sitio
- Siembra de dos o más plantas por sitio
- Siembra de una planta con varios tallos por sitio
- Dejando un tallo (chupón) por zoca
- Dejando varios tallos (chupones) por zoca

Formas económicas de obtener la densidad de siembra óptima. En Cenicafé se han realizado investigaciones con el fin de obtener las densidades de siembra de café óptimas, con una reducción significativa en los costos de instalación. Un ejemplo, es la siembra de dos chapolas por bolsa para instalar en el campo dos plantas de café por sitio o hacer una eliminación temprana de la yema terminal de las plantas en el almácigo, para estimular la formación de brotes múltiples. Como los costos de instalación dependen en gran parte del número de sitios por hectárea, se consigue su reducción si el número de plantas o tallos por sitio se establece desde el almácigo

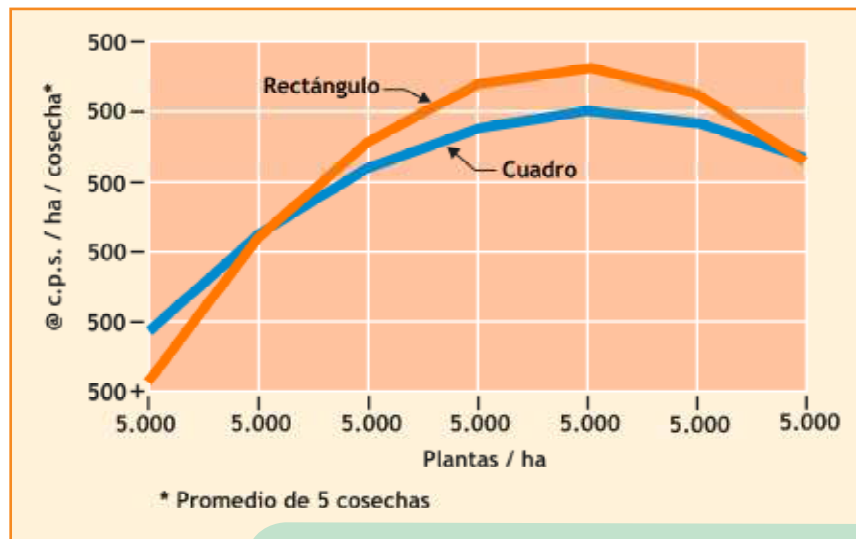


Figura 6.7. Efecto del arreglo en cuadro y rectángulo sobre la producción del café (Uribe y Mestre,1988).

Tabla 6.2. Área (m²) ocupada por las plantas según la distancia de siembra y el arreglo espacial.

Surco/Planta	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
1,00	0,50	0,38	1,00	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75
1,25	0,63	0,94	1,25	1,56	1,88	2,19	2,50	2,81	3,13	3,44
1,50	0,75	1,13	1,50	1,88	2,25	2,63	3,00	3,38	3,75	4,13
1,75	0,88	1,31	1,75	2,19	2,63	3,06	3,50	3,94	4,38	4,81
2,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50
2,25	1,13	1,69	2,25	2,81	3,38	3,94	4,50	5,06	5,63	6,19
2,50	1,25	1,88	2,50	3,13	3,75	4,38	5,00	5,63	6,25	6,88
2,75	1,38	2,06	2,75	3,44	4,13	4,81	5,50	6,19	6,88	7,56

El cuadro oscuro corresponde a distancias equidistantes.

Tabla 6.3. Número de plantas por hectárea según la distancia de siembra y el arreglo espacial.

Surco/Planta	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
1,00	20.000	13.333	10.000	8.000	6.667	5.714	5.000	4.444	4.000	3.636
1,25	16.000	10.667	8.000	6.400	5.333	4.571	4.000	3.556	3.200	2.909
1,50	13.333	8.889	6.667	5.333	4.444	3.810	3.333	2.963	2.667	2.424
1,75	11.429	7.619	5.714	4.571	3.810	3.265	2.857	2.540	2.286	2.078
2,00	10.000	6.667	5.000	4.000	3.333	2.857	2.500	2.222	2.000	1.818
2,25	8.889	5.926	4.444	3.556	2.963	2.540	2.222	1.975	1.778	1.616
2,50	8.000	5.333	4.000	3.200	2.667	2.286	2.000	1.778	1.600	1.455
2,75	7.273	4.848	3.636	2.909	2.424	2.078	1.818	1.616	1.455	1.322

El cuadro oscuro corresponde a distancias equidistantes.

(Triana,1957; Uribe y Mestre, 1988; Mestre y Arboleda, 1999; Mestre y Salazar, 1995; Arcila, 2001).

El sistema de producción de una planta con dos tallos por bolsa en el almácigo y luego en el campo, se considera que es más ventajoso que sembrar una sola planta. De esta manera, se requieren menos labores de almácigo, menos sitios de siembra y menos actividades al sembrar. Con el sistema de una planta con dos tallos por bolsa, los costos de instalación de una plantación y los costos de los insumos pueden reducirse hasta en un 32% en los dos primeros años (Duque, 2004). En cafetales establecidos, puede aprovecharse el momento de la renovación por zoca para aumentar la densidad de siembra dejando desarrollar uno, dos o tres tallos por planta (Machado, 1958; Mestre y Salazar, 1995).

En síntesis, puede obtenerse la densidad de siembra óptima a un menor costo por medio de las siguientes vías:

- Reducción del número de sitios por hectárea y aumento del número de tallos por sitio.
- Aumento del número de tallos por zoca.

¿Cuántos tallos por planta puedo utilizar?

¿Un tallo?, dos tallos? o tres tallos?.

La decisión depende básicamente de la distancia de siembra.

En la Figura 6.8 se observa que cuando se tienen 2.500 plantas por hectárea se aumenta linealmente la producción, al aumentar el número de tallos por sitio de uno a tres. Cuando se tienen 5.000 plantas por hectárea se aumenta la producción al pasar de uno a dos tallos

por sitio y disminuye cuando se pasa a tres tallos, es decir, en esta situación no es conveniente tener más de dos tallos. En el caso de 10.000 plantas por hectárea la producción se disminuye al aumentar el número de tallos a dos y tres, lo que significa que para esta densidad sólo es recomendable tener un tallo por sitio (Uribe y Mestre, 1988; Mestre y Salazar, 1995).

¿Es conveniente la práctica del raleo?

Conociendo los hábitos del crecimiento y desarrollo del cafeto, es de esperarse que cuando se siembra en densidades altas, en los dos primeros años, la competencia entre las plantas sea mínima y que paulatinamente ésta se incremente hasta llegar a un límite en donde la producción alcanza su máximo y que además, por el grado de desarrollo alcanzado por la planta, la recolección presente dificultades y otras labores del cultivo. Así mismo, se ha pensado en la posibilidad de introducir algún manejo al cultivo, por ejemplo el raleo, después de un determinado número de cosechas.

En una investigación realizada por Uribe y Mestre (1980), se evaluó el efecto en la producción, al combinar una alta densidad de población, del orden de 10.000 plantas por hectárea para los primeros años, con el aumento sucesivo de entresacas para los años posteriores, en comparación con las densidades de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas por hectárea, sin entresacas. Se encontró que la densidad de siembra de 10.000 plantas por hectárea a 1,00 m x 1,00 m durante todo el ciclo de producción, fue la mejor y que las entresacas efectuadas no afectaron la producción de las plantas que quedaron en el campo, ajustándose la producción a la esperada para la nueva densidad de siembra.

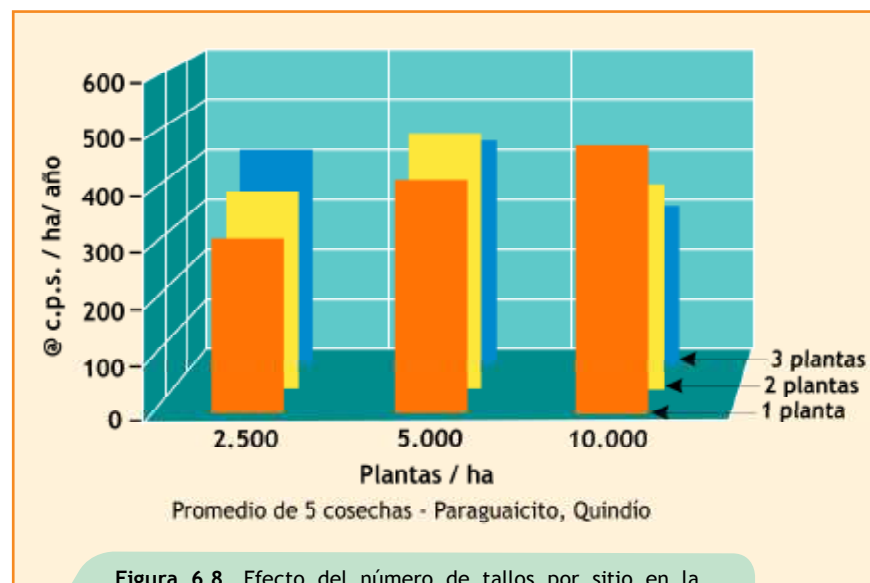


Figura 6.8. Efecto del número de tallos por sitio en la producción (Uribe y Mestre, 1988).

Ventajas de las densidades altas

Entre las ventajas que se obtienen al emplear densidades de siembra altas se encuentran: alta productividad, menor erosión por cobertura completa del terreno,

bajos costos de desyerba, mejor aprovechamiento de los recursos, mayor eficiencia de la mano de obra, reciclaje del material orgánico cuando se zoquea el cafetal y producción de madera.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Para la obtención de una alta productividad por unidad de área, el modelo tecnológico que se utilice debe permitir mantener la mayor cantidad de nudos productivos por área, con la mayor cantidad de frutos por nudo y el mayor peso de granos por fruto. Esto significa tener una densidad de siembra óptima.

Las ventajas del cultivo del café en altas densidades hacen de esta práctica una de las principales bases de sustentación de la caficultura en explotaciones cafeteras pequeñas, medianas y grandes, volviéndolas estables y eficientes.

Para mejorar la estabilidad y la eficiencia del sistema de producción es necesario ajustar la densidad y el espaciamiento para cada variedad y cada localidad, utilizando criterios que tengan en consideración los objetivos del caficultor, las condiciones locales, el tipo de manejo del cultivo, la fertilidad del suelo y demás aspectos que afectan el desarrollo de la planta.

El sistema de producción de una planta con dos tallos por bolsa en el almácigo permite obtener la densidad de siembra óptima con menores costos de establecimiento.

En las regiones con suelos de buenas propiedades físicas, buena retención de humedad, con una adecuada disponibilidad y distribución de las lluvias, se puede cultivar café a plena exposición solar, con altas densidades de siembra (hasta 10.000 plantas/ha) y con un suministro adecuado de los nutrimentos esenciales y el desarrollo de las prácticas culturales recomendadas por Cenicafe. Bajo este sistema de cultivo, pueden obtenerse 4 ó 5 cosechas, al final de las cuales se debe proceder a la renovación.

En las regiones con baja disponibilidad hídrica o suelos de baja capacidad de retención de agua, puede ser necesaria la utilización de sombrío. El sombrío debe ser regulado ya que bajo condiciones de excesiva sombra la planta de café es menos productiva. Además, bajo sombrío las densidades de siembra que se pueden utilizar (menos de 5.000 plantas/ha) y los requerimientos nutricionales son menores. Bajo este sistema de cultivo también ocurre deterioro de cultivo después de varias cosechas y es necesario proceder a la renovación.

Renovación y administración de los cafetales para estabilizar la producción de la finca

Jaime arcila Pulgarín.



Aspectos morfológicos y fisiológicos del cafeto que determinan los ciclos de renovación y poda

Sistemas de poda y renovación

En variedades de porte alto o de porte bajo, plantadas en cualquier densidad de siembra, a plena exposición solar o con sombrío, a libre crecimiento o con descope, y con diferente número de tallos (chupones), existe un número de cosechas con las cuales se consigue el máximo promedio de producción anual, incluyendo el período inicial de crecimiento vegetativo, lo cual determina el número óptimo de años de un ciclo.

Como consecuencia de lo anterior, el cultivo del café requiere de renovaciones para mantener un promedio de producción alto y rentable por unidad de superficie. Si no se renueva el cafetal la producción declina año tras año debido a la competencia por espacio, luz, recursos, y además, como efecto del deterioro físico de las plantas. Por estas razones, es necesario modificar los hábitos naturales de crecimiento de la planta cada cierto número de años para estimular la formación de tejido nuevo (tallos o ramificaciones), y así mantener un promedio de producción alto, regular y rentable. Este conjunto de prácticas se conoce como “sistemas de poda y renovación”.



Figura 7.1. Conjunto de yemas laterales del tallo. Se observa diferenciación de las ramas primarias y flores.

Aspectos morfológicos de la planta y su relación con las podas. En el tallo, a nivel de los cotiledones inicialmente no existen primordios de yemas axilares. A medida que el tallo del cafeto comienza a crecer, desde el nudo cotiledonal hacia arriba hasta el segundo y el tercer nudo aparecen dos yemas axilares. El cuarto nudo posee tres yemas, el quinto y el sexto entre tres y a partir de éstos, cuatro yemas número que se mantiene constante. Éste es el origen de las yemas laterales del tallo, también denominadas yemas seriadas del tallo (Figura 7.1). En la axila del octavo al décimo primer par de hojas surge por primera vez una yema denominada yema cabeza de serie, que da origen a la primera rama primaria (Moens, 1968).

Como se anotó en capítulo 2, en los nudos del tallo, la primera de las yemas de la serie es la que da origen por única vez, a las ramas primarias o “cruces”. El resto de estas yemas permanecen en latencia y a medida que el tallo envejece éstas se multiplican y forman cojines de yemas en latencia, que son los engrosamientos que se observan en los nudos de la base del tallo en el sitio de inserción de las ramas. Cuando por algún factor se limita o interrumpe la dominación de la yema terminal del tallo, por ejemplo por poda, zoqueo, daño mecánico, granizo, enfermedades o estrés hídrico severo, se estimula el desarrollo de estas yemas y se forman los brotes ortotrópicos o “chupones” (Figuras 7.2 y 7.3). En teoría, mientras el tallo esté sano siempre habrá un potencial de yemas para brotar. Éste es el fundamento de la respuesta de la planta al zoqueo y a las prácticas de poda como el descope. Ocasionalmente, también se forman flores a partir de estas yemas, posiblemente como respuesta asociada a una deficiencia hídrica severa.



Figura 7.2. Conjunto de yemas laterales del tallo. Se observa diferenciación de las ramas primarias y de brotes ortotrópicos (chupones).

En forma similar, en las ramas plagiotrópicas (primarias, secundarias y terciarias) se presenta la misma organización de yemas seriadas en los nudos, pero en este caso las yemas están condicionadas prioritariamente hacia la formación de flores y en segundo lugar, a la formación de ramas secundarias y terciarias, a partir de la yema cabeza de serie pero en forma aleatoria. A partir de estas yemas, en las ramas solamente se obtiene crecimiento plagiotrópico. Ésta es la base de la respuesta de la planta a la poda de ramas (Figuras 7.3, 7.4, 7.5 y 7.6).

Aspectos fisiológicos de la renovación

¿Por qué renovar?

La producción anual de una planta de café depende principalmente de: 1) el número de ramas primarias o secundarias formadas, y 2) el número de nudos productivos formados en esas ramas (Figuras 7.7 y 7.8).

La tasa de producción de estas estructuras sigue una tendencia sigmoideal; es decir, inicialmente la tasa de crecimiento es lenta, luego se acelera y finalmente, después de 4 ó 5 cosechas la tasa de formación es cada vez menor, de tal manera que la cantidad de ramas primarias nuevas y de nudos no es suficiente para obtener una alta producción (Arcila y Chávez, 1995).

Otra singularidad del crecimiento de los cafetos en Colombia es que, en un mismo año y en una misma rama ocurren simultáneamente los crecimientos vegetativo y reproductivo, este último ubicado sobre la rama producida por el crecimiento vegetativo del año anterior.



Figura 7.3. Brotes ortotrópicos o "chupones" en una zoca de café.



Figura 7.4. Conjunto de yemas laterales de la rama. Se observa que todavía no hay diferenciación de yemas florales o ramas secundarias.

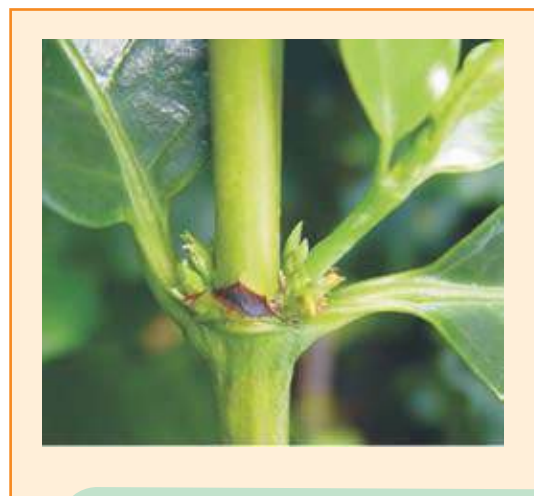


Figura 7.5. Conjunto de yemas laterales de la rama. Se observa en la axila derecha la diferenciación de ramas secundarias en vez de flores.



Figura 7.6. Yemas laterales de la rama. Se observa la diferenciación de ramas secundarias en respuesta a la poda de la rama.

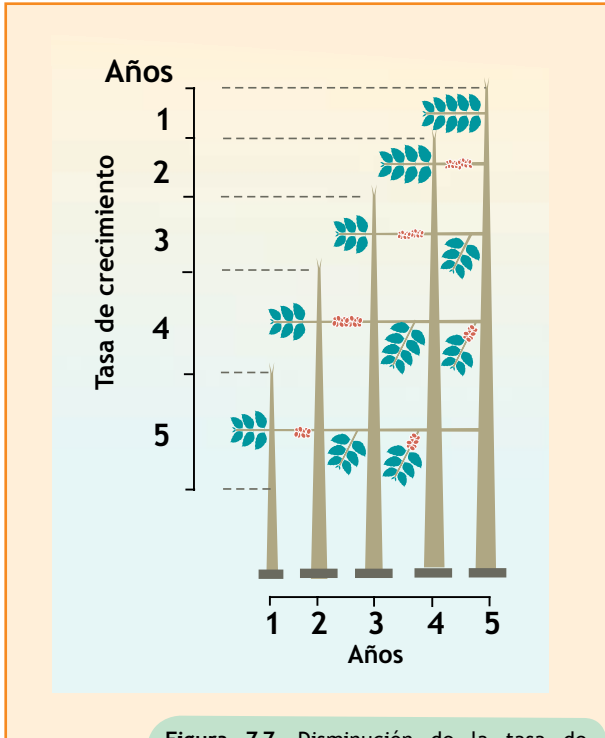


Figura 7.7. Disminución de la tasa de crecimiento vertical a través de los años, adaptado de Beaumont y Fukunaga (1956).

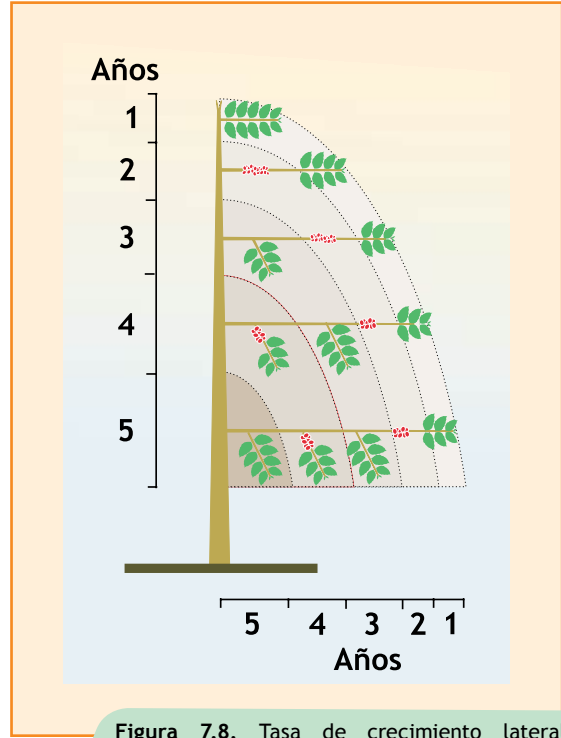


Figura 7.8. Tasa de crecimiento lateral (ramas). Se observa que disminuye con los años, adaptado de Beaumont y Fukunaga (1956).

Por tanto, existe competencia entre los dos tipos de crecimiento; es decir, cuando en un año ocurre una alta producción, los árboles crecen poco, esto determina que la producción del año siguiente será reducida y viceversa. El resultado es la alternancia del volumen de producción, es decir, si en un año la producción es alta en el siguiente es baja y así sucesivamente. Esta alternancia de cosechas es más acentuada en cafetales envejecidos (Beaumont y Fukunaga, 1958; Gómez, 1977; Jaramillo y Valencia, 1980; Rena *et al.*, 1998).

Estas particularidades del crecimiento de la planta de café tienen consecuencias importantes para el manejo del cultivo y la estabilidad de la producción de la finca:

1. Anualmente, la zona principal de producción en la planta se va desplazando hacia arriba en el tallo y del tallo hacia afuera en las ramas (Figuras 7.7, 7.8 y 7.9).
2. A medida que la planta envejece, su capacidad de producción es cada vez menor.
3. El desplazamiento de la cosecha hacia los extremos de la planta llevará a que, con el paso del tiempo, ésta se localice en sitios de difícil acceso para los recolectores.
4. En los cafetales envejecidos se acentúa la bienalidad de la producción.

5. Es necesario renovar el cafetal para recuperar su capacidad productiva.

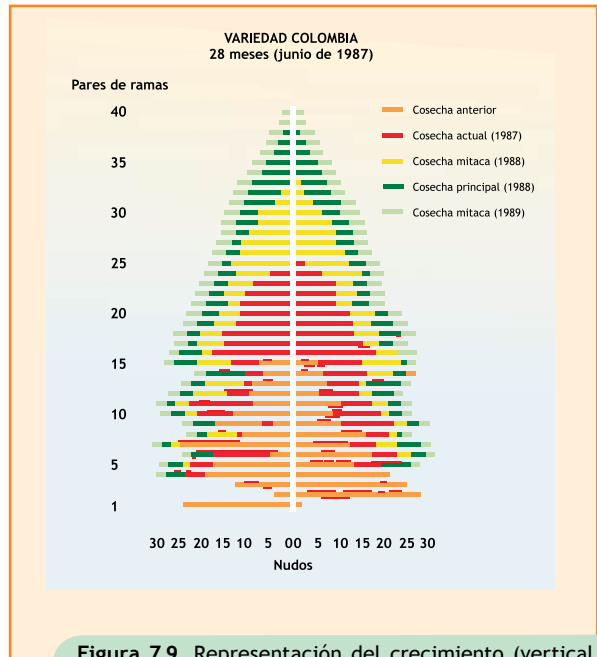


Figura 7.9. Representación del crecimiento (vertical y horizontal) y la fructificación de un árbol de variedad Colombia en la Estación Central Naranjal, Chinchiná (Colombia). Se observa el desplazamiento vertical y lateral de la producción hacia los puntos de crecimiento, durante el período de 1986 hasta 1989 (Arcila, 1990).

¿Cuándo renovar ?

Esta decisión se basa en el comportamiento de la tasa o velocidad de crecimiento del cafeto, la cual disminuye a través del tiempo. Cada nuevo crecimiento de una rama primaria es menor que el del año anterior, en consecuencia, las ramas son cada vez menos productivas. Sin embargo, debido a la formación de nuevas ramas, a medida que la planta crece verticalmente, el volumen de la producción total aumenta (Gómez, 1977; Jaramillo y Valencia, 1980). No obstante, este crecimiento está sometido a la ley de la disminución de la velocidad del crecimiento y así, tanto el crecimiento total como la producción de la planta tienden a estabilizarse.

En la práctica, para obtener el máximo valor promedio de producción a través del tiempo (años), la planta no debe sobrepasar la edad en la cual ese valor sea máximo; por tanto, es necesario podarla con el objeto de promover crecimiento de nuevo tejido, y así fomentar la formación de nudos productivos que permitan incrementar la producción. La misma consideración puede aplicarse a una plantación o a una finca completa (Figura 7.10) (Mestre y Ospina, 1994).

Para tomar la decisión de cuándo renovar, es necesario considerar la edad del cafetal y el estado de deterioro e improductividad en que se encuentra la plantación. El cafeto es una planta perenne y se considera que alcanza sus valores máximos de crecimiento y productividad entre los 6 y 8 años de edad. Después, la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad. El ritmo de envejecimiento depende de: la calidad del ambiente del sitio, la variedad de café

cultivado, el sistema de producción (a plena exposición solar o la sombra), la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades o estrés ambiental, así como de las prácticas de cultivo (Beaumont y Fukunaga, 1958; Mestre y Ospina, 1994).

Efecto de la variedad, la edad y la densidad de siembra.

En las Figuras 7.11 y 7.12 se muestra mediante una función cuadrática, la simulación del comportamiento del promedio de la producción anual según la densidad de siembra, para una variedad de porte bajo como la variedad Caturra y una variedad de porte alto como la variedad Borbón. En ambos casos se trataba de un cultivo a plena exposición solar y a libre crecimiento. Puede observarse que en todos los casos contemplados (variedad, edad y densidad), se tiene una edad óptima del cultivo en la cual se obtiene el mayor promedio de producción. Esta es la edad adecuada para la renovación de las plantaciones.

De acuerdo con los análisis de elasticidad de la producción realizados por Duque (2004), sobre estos mismos datos, la edad óptima de renovación del cafetal (punto en el cual la elasticidad de la producción es cero) sería a los 5 años para un lote con 10.000 plantas/ha, a los 6 años para 5.000 plantas/ha y a los 7 años para 2.500 plantas/ha.

Para la variedad Borbón, la edad máxima fue de cinco cosechas para las plantaciones con 6.666 planta/ha y 3.333 plantas/ha, y de seis cosechas para la menor densidad evaluada (1.666 plantas /ha).

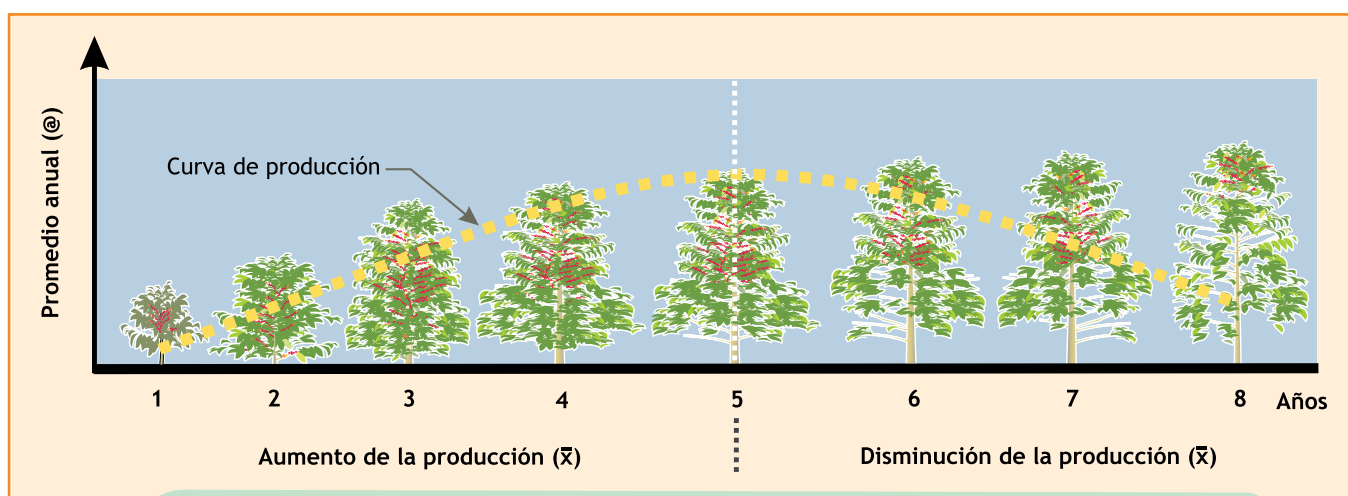


Figura 7.10. Representación del crecimiento de las plantas y de la producción promedio por edad, a través del tiempo. El punto en el cual la producción promedio es máxima, es el momento indicado para podar la planta. Para obtener la producción promedio máxima por años no se debe dejar que la planta sobrepase la edad a la cual esa producción promedio sea máxima (Mestre y Ospina, 1994).

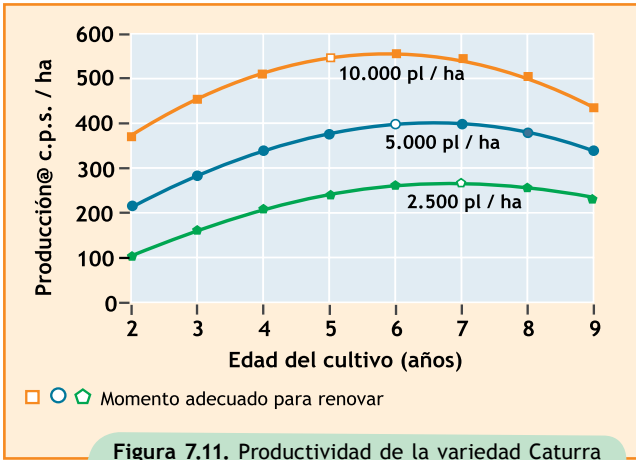


Figura 7.11. Productividad de la variedad Caturra según la edad y la densidad de siembra, en cafetales a plena exposición solar y a libre crecimiento. Los puntos verdes indican el momento adecuado para renovar (Mestre y Ospina, 1994).

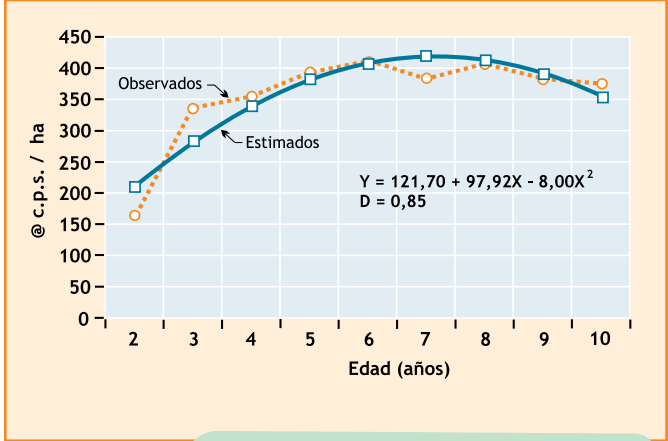


Figura 7.13. Promedio anual de producción de un cafetal variedad Caturra, sembrado a la sombra, a libre crecimiento, a una distancia de 1,5 x 1,5 m (Mestre, 1992).

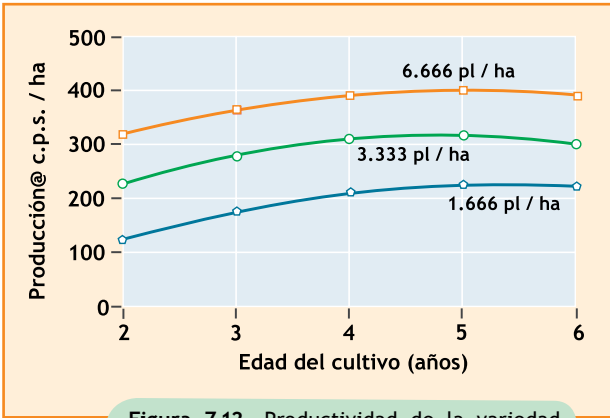


Figura 7.12. Productividad de la variedad Borbón según la edad y la densidad, en cafetales a plena exposición solar y a libre crecimiento (Salazar y Mestre, 1977).

Efecto de la sombra. En la Figura 7.13 se muestra una simulación del comportamiento a través del tiempo de la producción de la variedad Caturra, a la sombra, con una densidad de siembra de 4.444 plantas/ha, a libre crecimiento.

Se observa que el máximo valor promedio de la curva de producción anual ocurre en la sexta cosecha. Por tanto, no se recomienda prolongar la duración del cultivo más allá del tiempo en el cual se consiga la producción promedio máxima (Mestre, 1992).

En la Figura 7.14, para cafetos de la variedad Borbón descopados, el máximo promedio de producción por edad ocurre a la sexta cosecha en cafetales al sol y en

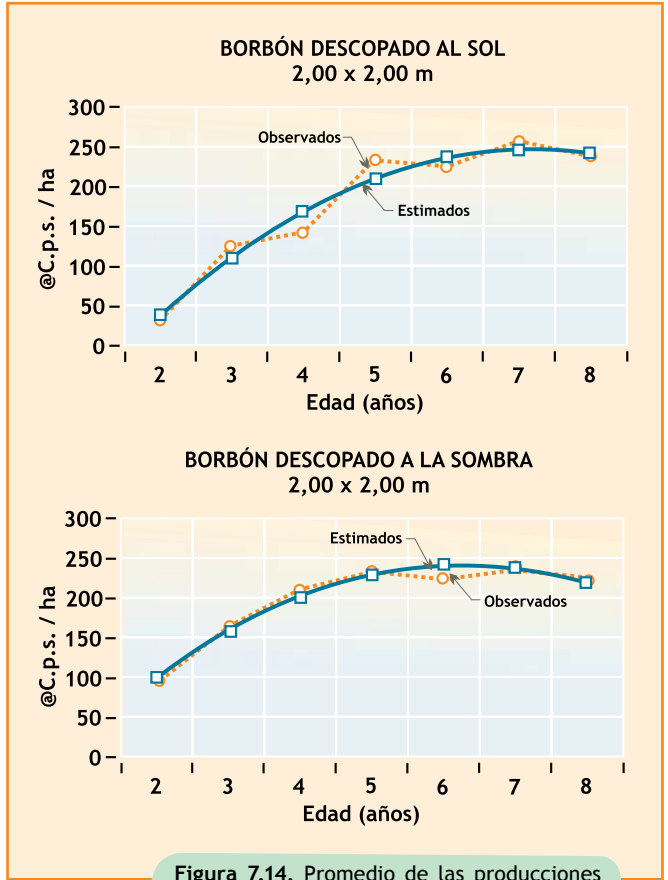


Figura 7.14. Promedio de las producciones de acuerdo con la edad (años) de un cafetal variedad Borbón, sembrado a 2,0 x 2,0 m, a libre exposición solar y a la sombra, descopados (Mestre, 1992).

la quinta para cafetales a la sombra. Sin embargo, en este caso se registra que los datos tuvieron la influencia de una variación bienal marcada que puede afectar las decisiones que se tomen sobre el manejo del cafetal; además, en este caso las necesidades de renovación disminuyen por la práctica de descope debido a la cual no se presentan problemas de recolección a ninguna edad. Esto puede determinar además que el cultivo pueda tener mayor duración (Mestre, 1992).

Efecto de la altitud. Esta variable puede tener efecto sobre la duración del cultivo y por consiguiente, sobre el momento de renovación. En las zonas altas, la duración del cultivo es más prolongada y por tanto, se retarda el momento para la renovación. En las zonas más bajas el desarrollo del cultivo es más rápido, por lo que puede necesitarse una renovación más temprana del cafetal.

Opciones para renovar los cafetales

De acuerdo a lo anteriormente expresado, todas las variedades sean de porte alto o de porte bajo, a libre exposición solar o a la sombra, y en altas o bajas densidades de siembra, alcanzan un punto en el cual la producción no es rentable y por tanto, deben renovarse. Para tal efecto, el caficultor dispone básicamente de tres opciones:

Siembra nueva: sólo es aplicable cuando se desea cambiar de variedad o porque la cantidad de plantas de la población original con deterioro de los tallos o la magnitud de las pérdidas no permiten considerar rentable la renovación del cafetal por zoca.

Podas parciales: se refiere al descope o a la eliminación de partes de la planta como las ramas o el remplazo de las plantas más deterioradas de la plantación.

Podas totales: hace referencia a la eliminación total de la parte aérea del cafeto, como en el caso del zoqueo a 30 cm.

La poda de los cafetos

La poda del cafeto consiste en eliminar parcialmente, en diferentes grados de intensidad, o totalmente los tallos o ramas agotadas y poco productivas (Machado, 1964; García, 1973; Gómez *et al.*, 2002).

Tradicionalmente, los caficultores han visto la necesidad de intervenir el crecimiento de los cafetos de diferentes formas, tratando de manera empírica de solucionar

problemas que se observan cuando los árboles crecen libremente.

En algunas regiones emplean el “descope”, que consiste en suspender el crecimiento vertical de la planta, con la finalidad de mantener la producción al alcance de los recolectores. En otras zonas, principalmente en el Nororiente del país, después de la cosecha principal se eliminan partes de la planta consideradas improductivas (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1969).

Existen dos sistemas básicos de poda:

Poda de formación. Tiene como finalidad única modificar la arquitectura del árbol para que las zonas de producción se mantengan accesibles y de esa manera, facilitar la recolección de la cosecha. Entre estas podas se encuentran: podas escalonadas, de agobio o arqueado (poda Guatemala), candelabro (poda Costa Rica), descope herbáceo con poda periódica de ramas (poda Colombia) (Elgueta, 1950; Duque, 1940, 1937; Machado, 1953, 1964; Lambot y Bouharmont, 2004). Este tipo de podas no permiten conseguir la estabilización de la producción de la finca, debido que al manejar solamente plantas individuales, no se modifica la tendencia de la producción de lotes en el tiempo.

Las podas escalonadas consisten en suprimir las ramas bajas. Entre éstas se encuentran: la poda del eje ortotrópico a diferentes alturas y la poda de ramas secundarias mal formadas, dañadas o enfermas, con el fin de facilitar la penetración de luz al interior de la planta (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1969).

El agobio o poda Guatemala (Figura 7.15), consiste en doblar el tallo cuando la planta tiene uno o dos años de

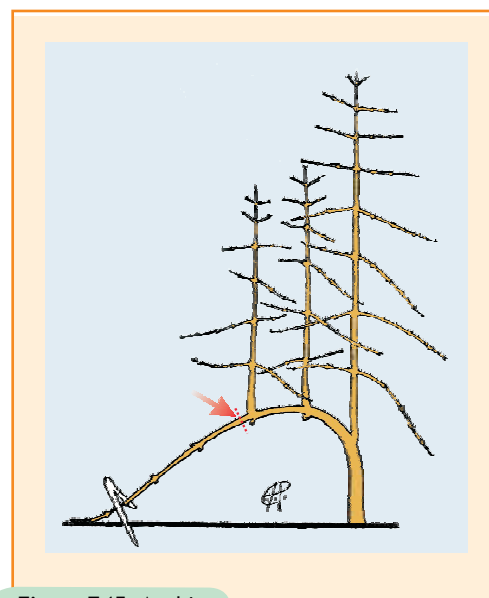


Figura 7.15. Agobio.

edad (50 a 100 cm), para promover la emisión de brotes ortotrópicos (chupones). El tallo en su extremo arqueado se sujeta con un gancho de madera clavado en el suelo, y se eliminan las ramas que quedan en contacto con el suelo. Una vez los brotes se desarrollan, se seleccionan aquellos más vigorosos (tres o cuatro) (Ramírez, 1997).

La poda candelabro o poda Costa Rica (Figura 7.16) consiste en multiplicar en lo posible el tronco principal por medio de “capes” o la eliminación sucesiva de cogollos. Esta práctica puede iniciarse desde el almácigo. De esta forma la planta adquiere una forma de candelabro (Ramírez, 1997).

Una poda de formación muy utilizada en Colombia es el descope o poda Colombia (Figura 7.17), que consiste en dejar los cafetos a libre crecimiento durante los tres primeros años y posteriormente, realizar un descope o

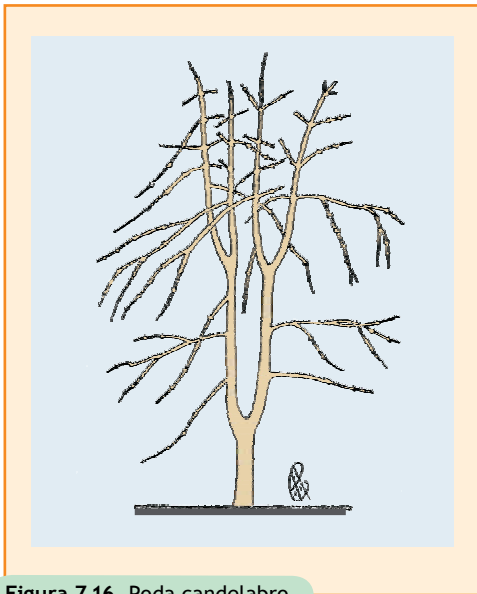


Figura 7.16. Poda candelabro.



Figura 7.17. Cafeto con eliminación del brote apical del tallo.

cape de la yema apical para estimular el desarrollo de ramas plagiotrópicas, que se renuevan periódicamente por medio de podas. Bajo este manejo las plantas exhiben un sólo eje ortotrópico, que sustenta una gran cantidad de ramas, que a su vez, muestran capas sucesivas de ramas secundarias y terciarias (Figura 7.18). Este es un tipo de poda recomendado principalmente para las variedades de porte alto. Cultivos establecidos con altas densidades de población no deben descoparse, por tanto hay que establecerlos con variedades que su productividad se destaque por planta.

Poda de renovación o producción

Busca mantener las plantas en su máxima producción mediante la renovación del tejido agotado. Existen diferentes tipos de podas de renovación que consisten en eliminar diferentes proporciones de la parte aérea de la planta (poda baja o zoqueo, poda a media altura o zoca pulmón, poda alta, rock and roll o descope leñoso y poda calavera) (Perez e Hilje, 1981).

La poda baja del tallo o zoca. Consiste en eliminar la parte aérea de la planta mediante el corte del tallo a 30 cm del suelo. Posteriormente, se seleccionan uno, dos o tres de los brotes emitidos, con el fin de incrementar la densidad de siembra, sin sobrepasar el número óptimo de plantas para cada sistema de producción (Cenicafé, 1992).

Por su característica de altura de corte puede considerarse como la poda más drástica.

Algunos investigadores brasileños indican que al eliminarse la parte aérea de la planta al cabo de algunas semanas puede ocurrir una muerte de raíces muy alta

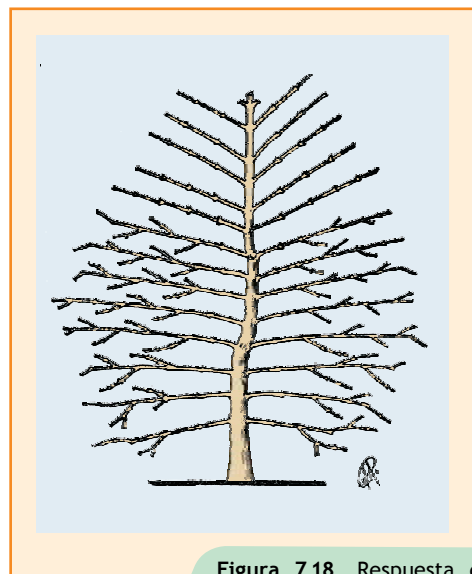


Figura 7.18. Respuesta de un cafeto al descope.

(Miguel *et al.*, 1984). Sin embargo, puede argumentarse que en el tallo y en las raíces mismas permanecen almacenadas algunas reservas que le permiten a una proporción de las raíces sobrevivir y recuperarse, hasta que se formen los nuevos brotes que van a proporcionar los asimilados necesarios para la recuperación del sistema radical. Este es un tema en estudio actualmente.

Zoca pulmón. En algunos sistemas de producción, la zoca se hace a 60 cm de altura y se dejan las ramas bajas completas o podadas parcialmente, a este caso se le denomina zoca pulmón (Figura 7.19). Según Ramírez (1997), esta práctica busca prevenir la muerte de raíces y argumenta que estas ramificaciones denominadas “pulmones” favorecen la precocidad del rebrote y su vigor.

La poda alta, rock and roll o descope leñoso. Consiste en eliminar la parte aérea de la planta a alturas variables (0,8 - 2,0 m), de acuerdo con el estado de deterioro



Figura 7.19. Zoca pulmón.



Figura 7.20. Poda calavera.

de la planta. Esta práctica se hace con el objetivo de aprovechar las ramas que quedan en el tallo y que aún presentan alguna capacidad productiva. En este grupo puede ubicarse la zoca pulmón (Cisneros, 1997).

Poda clavera. Existe un caso especial de renovación denominado poda calavera (Figura 7.20), que consiste en eliminar total o parcialmente las ramas primarias del tallo principal y dejar que se desarrollen a lo largo de éste todos los brotes ortotrópicos que se generen (Chebabi, 1975). Esta práctica, al igual que la zoca, tiene como desventaja, la baja producción de las plantas durante los primeros 18 meses después de su ejecución, pero en este caso se compensa con una alta producción en los dos años siguientes. Existen variaciones en la forma como se ejecuta la poda calavera, en unos casos puede eliminarse el brote terminal del tallo (descope) y dejar o no, una pequeña porción de las ramas primarias, con la aparente ventaja de que en estos muñones se produzcan ramas secundarias en las cuales se obtenga alguna producción en los dos primeros años y que además, la presencia de follaje favorezca un desarrollo más vigoroso y precoz de los brotes ortotrópicos.

Para realizar estas prácticas deben tenerse en cuenta: la edad de la plantación, el grado de deterioro de la planta y la densidad de siembra.

Resultados de investigaciones sobre sistemas de renovación de cafetales

Comparación de varios sistemas de renovación. En Cenicafé se llevó a cabo en distintas localidades y con diferentes distancias de siembra, la comparación de varios sistemas que incluyeron: siembra nueva, zoca a 30 cm, zoca a 60 cm dejando las ramas primarias (zoca pulmón) y dos formas de la poda calavera, una sin descope y sin muñones de rama y otra con descope y con muñones de rama de 10 cm (Cenicafé, 2001).

Con relación a las podas calaveras, no hubo diferencia significativa entre los dos sistemas. Éstas son muy productivas en las dos primeras cosechas, lo cual es una ventaja comparativa frente a la zoca común, para lograr buenos ingresos o como práctica transitoria para establecer el sistema de renovación por fracciones, en menor tiempo. Aunque las producciones subsiguientes son buenas se puede ver afectada la calidad física del café y ante la proliferación de ramas se dificultan las labores de recolección y manejo integrado de la broca, entre otras desventajas.

Entre el zoqueo normal y la zoca pulmón no se encontraron diferencias significativas. Es decir, además del zoqueo normal, la zoca pulmón también es una buena opción como práctica de renovación, por su

buen rendimiento y su comportamiento estable en las distintas localidades y las distancias de siembra. Aparte de esto, al quedar una parte de la planta con algún follaje, se espera una menor pérdida de tejido radical así como una disminución de las pudriciones radicales, lo que se traduce en un mayor número de sitios productivos por área.

Administración de los lotes y estabilización de la producción de la finca

La administración adecuada de una plantación de café debe perseguir que el promedio de la producción anual sea lo más alta posible y que ésta se mantenga con la menor variación entre años; así como reducir al mínimo el costo de la recolección y prolongar al máximo, el ciclo de producción económica del cafetal (Mestre y Ospina, 1994).

Ciclos y sistemas de renovación para estabilizar la producción de la finca

Las podas de renovación pueden practicarse en forma individual (poda selectiva de plantas o tallos) o en forma sistemática para grupos de plantas (poda sistemática) (por surcos, lotes o secuencial) (Fernie, 1960; Melles *et al.*, 1989; Figueiredo *et al.*, 1983; Campos, 1993; Ramírez, 1994, 1996; Barbosa *et al.*, 2001).

La aplicación de cualquier tipo de poda programada para establecer plantas de diferentes edades, en iguales proporciones en una plantación, se denomina sistema de manejo, y el tiempo en el cual se completa la edad a la cual se renueva cada grupo de plantas constituye el ciclo de renovación. La duración del ciclo depende de la edad, la densidad de siembra y la localidad (Pérez e Hilje, 1981; Ramírez, 1997).

Poda selectiva. Consiste en seleccionar cada año, aquellas plantas o ejes que presenten síntomas de agotamiento después de la cosecha. De acuerdo al grado de deterioro se determina el tipo de poda a aplicar (parcial o total). Como en este caso, las plantas de diferentes edades van a quedar dispersas y distribuidas irregularmente en la finca, aunque se generan grupos de plantas de diferentes edades, su proporcionalidad es variable y no contribuye a una producción estable, ya que se aumenta la fluctuación entre las cosechas. Este sistema puede emplearse en explotaciones pequeñas, con bajas densidades de siembra y con buena disponibilidad de mano de obra (Ramírez, 1997).

Poda sistemática. Consiste en aplicar a un grupo de plantas una poda de renovación como la zoca normal, la zoca pulmón, la poda rock and roll o la poda calavera, entre otras. Este grupo de plantas puede estar constituido por un surco o un lote. Si estas podas se practican en forma programada, cada determinado número de años, se establecen grupos de plantas de diferentes edades y en iguales proporciones en una plantación, con lo cual se estabiliza la producción en la finca (Pérez e Hilje, 1981; Njorge y Mwakha, 1988; Ramírez, 1997).

Los fundamentos de este tipo de manejo fueron establecidos desde los años 50 en Hawaii, por Beaumont y Fukunaga (1956), quienes desarrollaron dos sistemas de poda sistemática en plantas con varios ejes. En uno de los sistemas, se tenían simultáneamente en una misma planta ejes de 1, 2, 3 y 4 años y cada año, después de la cosecha, se podaba el eje de cuatro años. En el otro sistema, se tenían plantas zoqueadas sucesivamente a los 1, 2, 3 y 4 años, a las cuales en cada zoqueo se les dejaban cuatro ejes. No encontraron diferencias en producción entre ambos sistemas.

En otros ensayos, se evaluó este mismo principio, al zoquear por surcos en conjuntos de cuatro surcos. Los investigadores concluyeron que este sistema de manejo era una buena opción para aplicar en plantaciones comerciales y recomendaron aplicarlo en el lote, diferenciando los surcos en el siguiente orden 1-3-2-4, para evitar el autosombrío. Este es el origen de los sistemas de manejo de poda por surcos alternos (Beaumont y Fukunaga, 1958).

Existen varias modalidades para programar la poda sistemática en una finca (Pérez e Hilje, 1981; Ramírez, 1997), así:

Poda sistemática por surcos. Este sistema facilita la penetración de la luz y el desarrollo óptimo de las plantas.

Consiste en establecer un programa de podas ordenado, el cual comprende un período de renovación de una plantación definido en años (3, 4, 5 ó 6 años). Este es un sistema recomendado para cafetales con altas densidades de siembra, con el cual se consigue la renovación anual del 33, 25, 20 y 17% de la plantación, respectivamente.

Para aplicar el sistema es necesario hacer grupos de surcos según el número de años de duración del ciclo. En cada grupo se numeran los surcos, para definir el orden de intervención. Si la densidad de población es menor de 5.000 plantas/ha, pueden podarse los surcos individualmente, mientras que si la densidad es mayor, éstos deben numerarse y proceder a intervenir pares o ternas de surcos.

Las podas por surcos alternos no son apropiadas para cafetales con bajas densidades de siembra. Estas

plantaciones deben renovarse por lotes. Como la duración de estos cultivos está entre los 10 y los 12 años, los sistemas de manejo deben tener ciclos que correspondan a esas duraciones o sea, que se renueve la finca por décimas o doceavas partes.

Ciclo de tres años. Se forman grupos de tres surcos y anualmente se poda un surco, siguiendo el orden 1-2-3. Es un ciclo muy drástico, porque se poda la tercera parte de la plantación cada año. Éste puede modificarse siguiendo el mismo orden pero podando cada surco a los dos años.

Ciclo de cuatro años. Se forman grupos de cuatro surcos y se poda uno por año, siguiendo el orden 1-3-2-4. Mediante este ciclo se consigue la renovación anual del 25% de la plantación, respectivamente (Figura 7.21).

Ciclo de cinco años. Se forman grupos de cinco surcos y se poda uno por año, siguiendo el orden 1-3-5-2-4.

Mediante este ciclo se consigue la renovación anual del 20% de la plantación, respectivamente.

Ciclo de seis años. Se forman grupos de seis surcos y se poda uno por año, siguiendo el orden 1-3-5-2-4-6. Mediante este ciclo se consigue la renovación anual del 17% de la plantación, respectivamente.

Poda alterna con rock and roll en ciclos de tres años. Esta poda se originó en Costa Rica en la década de los años 60, a partir de estudios que tenían como objetivo de evaluar el efecto en la producción de las ramas que permanecían en el tallo después de efectuar podas altas. Con base en estos ensayos se diseñó un sistema basado en el ciclo de tres años, en el cual se alternaban la zoca a 30 cm con la poda rock and roll, en grupos de seis surcos, divididos en dos subgrupos de tres (Pérez e Hilje, 1981; Ramírez, 1997).

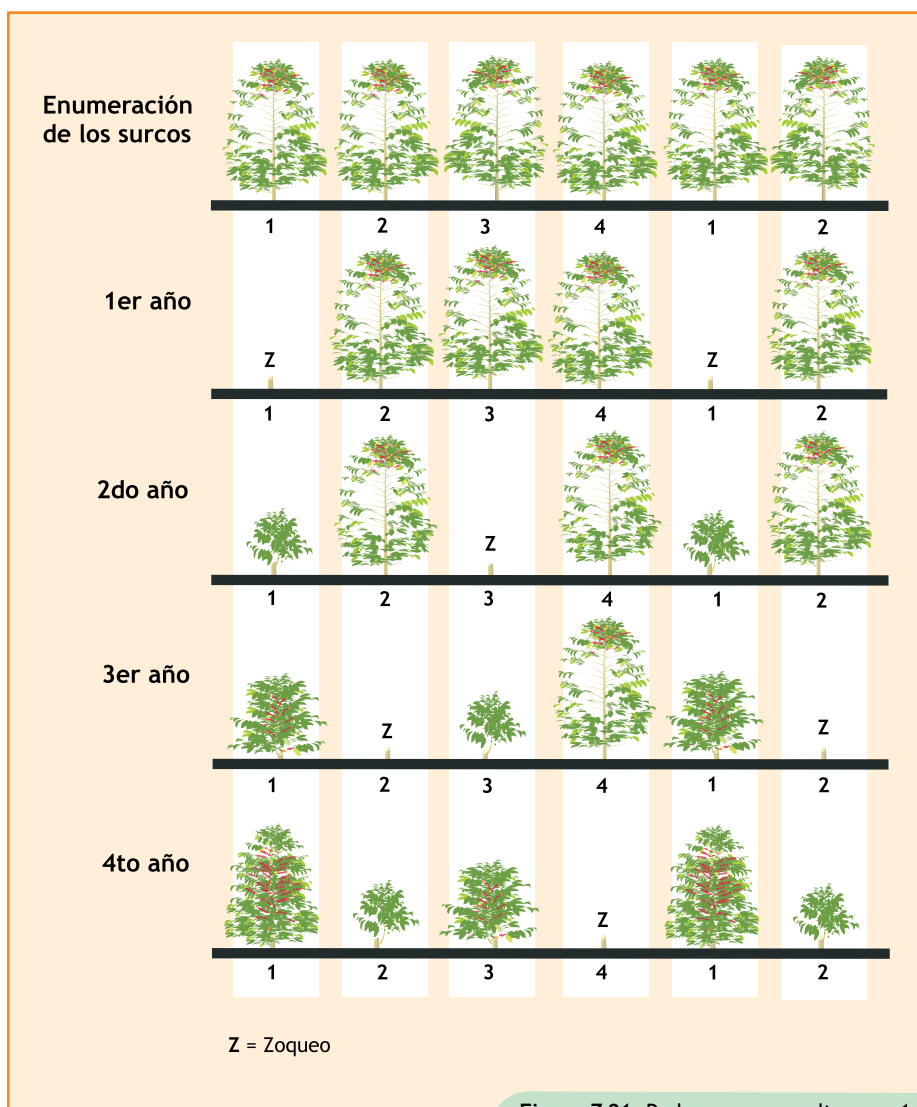


Figura 7.21. Poda por surcos alternos, 1-3-2-4. Ciclo de 4 años (Pérez e Hilje, 1981).

Durante los tres primeros años, las tres hileras del primer subgrupo se zoquean (una hilera por año) y las tres hileras del segundo subgrupo se manejan con la poda rock and roll, una hilera por año. Una vez se completa el ciclo se invierte el orden de poda, es decir que a las plantas zoqueadas se les hace poda rock and roll y a las que tuvieron rock and roll se zoquean. La densidad de siembra puede afectar el establecimiento de este sistema, debido a que la cantidad de ramas presentes en la parte baja del tallo es menor en los cafetales con altas densidades de siembra (Figura 7.22).

Poda sistemática por lotes. Este sistema se fundamenta en los mismos criterios de poda por surcos, pero en este caso la renovación se hace por lotes. De esta manera, la plantación se divide en partes iguales, es decir, en 3, 4, 5 ó 6 lotes, que se zoquean de acuerdo con la duración del ciclo establecido (Figura 7.23) (Mestre y ospina, 1994).

Este sistema de poda sistemática por lotes ofrece muchas ventajas como:

- Es fácil de realizar. Las plantas de las diferentes edades están concentradas. Una vez definido el lote para renovar no es necesario seleccionar el material a cortar ni se requieren podadores expertos.
- Permite la mecanización mediante el uso de motosierra o guadaña, con lo cual puede hacerse un ahorro en la mano de obra.
- Facilita un desarrollo adecuado de las resiembras.
- Permite la estratificación de la finca por edades de cafetal, para lograr así una producción estable y continua.
- Contribuye a una mayor eficiencia en las labores de desyerba y fertilización, debido a que se intervienen

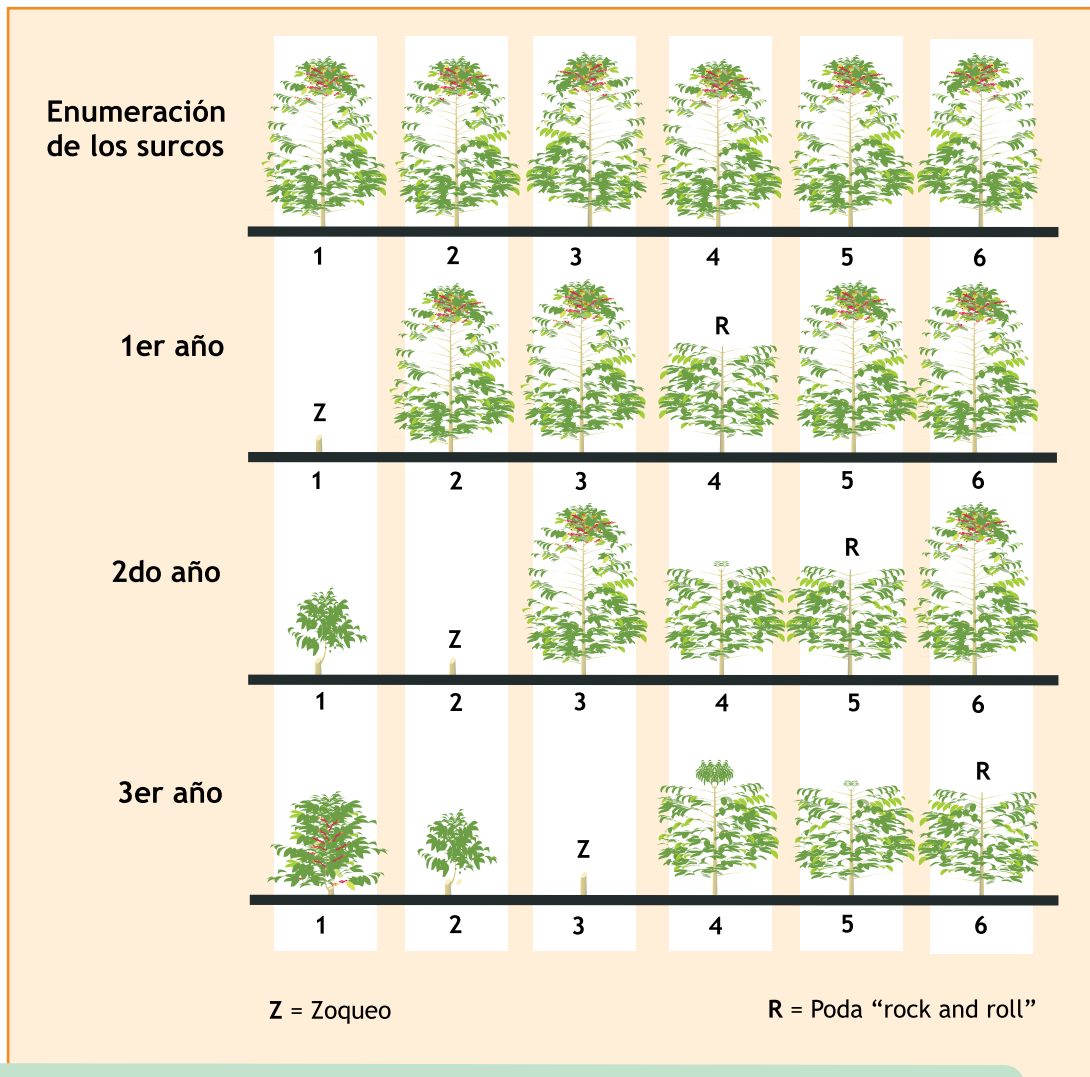


Figura 7.22. Sistema de zoca común alternada con poda alta (rock and roll), durante un ciclo de 3 años. A partir del cuarto año los surcos zoqueados llevarán poda alta y los de poda alta se zoquean (Pérez e Hijle, 1981).

- de igual manera todas las plantas del bloque.
- Permite el establecimiento de un cultivo intercalado en el bloque.

Al dejar el material de la poda en las calles, éste actúa como una cobertura vegetal o *mulch*, lo que disminuirá el crecimiento de arvenses y la erosión.

Por sus ventajas operativas y económicas, en Colombia se ha usado tradicionalmente como sistema de renovación el zoqueo a 30 cm, sin dejar ramas. Sin embargo, esta práctica tiene como desventaja la baja producción de las plantas renovadas durante los primeros 18 meses después de su ejecución, lo cual se compensa al programar anualmente el zoqueo de una proporción igual de cafetos de la finca, de acuerdo con la duración del ciclo.

¿Cómo se consigue la estabilización de la producción de la finca?

Para que en una finca puedan cumplirse los objetivos del manejo enumerados al inicio de este capítulo, es necesario mantener, en la misma proporción, plantas en todas las edades posibles dentro del sistema de manejo que se está empleando. Es decir, que para manejar la finca hay que dividir el número total de plantas en grupos de igual tamaño y cada año, debe renovarse uno de ellos. Este grupo de plantas lo puede constituir un surco o un lote. Los bloques o los grupos de plantas que se formen pueden estar diseminados por toda la finca (surcos alternos) o en bloques aislados (zoqueo total por lotes) (Mestre y Ospina, 1994).

A continuación se presenta una descripción de la forma como se puede proceder para el logro de estos

objetivos.
Procedimiento:

1. Establecer el período de duración del ciclo de renovación (5 - 8 años). Éste varía con las condiciones del sitio (clima, suelos, etc.) y de la plantación (densidad de siembra, manejo de arvenses y fertilización, entre otros), de tal manera que para este propósito debe contarse con los registros de producción de la finca. Si el caficultor no tiene los datos de producción de sus lotes, estos deben conseguirse ya sea con agricultores vecinos o de la misma región, en el Comité de Cafeteros de la zona o en Cenicafé, donde existen datos de cafetales establecidos en diferentes condiciones, dentro de las cuales pueden encontrarse algunos similares a los de la finca que se quiere planificar.

Con los datos puede construirse un gráfico (Figura 7.11), acumulando las producciones y dividiendo este dato por la edad, para cada edad del cultivo (Mestre y Ospina, 1994).

En la curva obtenida se observarán las siguientes características: un valor máximo en alguna de las edades, que representa la duración del ciclo. Esto corresponde también al número de cafetales con distintas edades que deben existir en la finca, desde cafetales recién sembrados hasta cafetales con la edad que determina la duración del ciclo.

2. Determinar el número de árboles a intervenir cada año (Número total de árboles/Número de años del ciclo)
3. Definir el sistema de renovación (surcos, lotes).

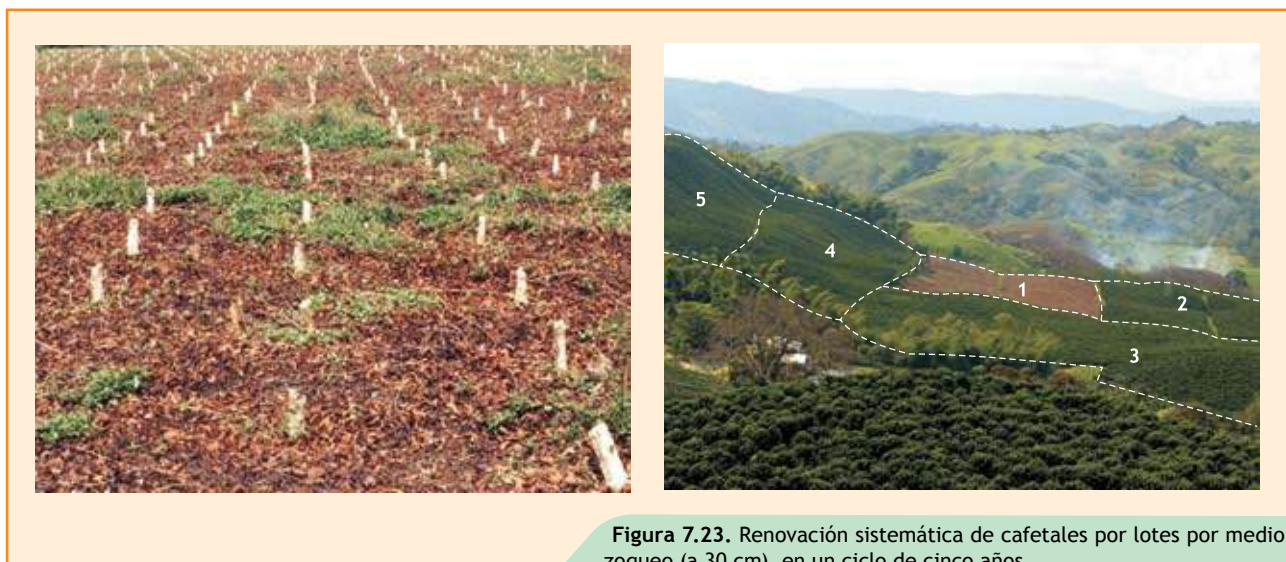


Figura 7.23. Renovación sistemática de cafetales por lotes por medio del zoqueo (a 30 cm), en un ciclo de cinco años.

Establecimiento de un ciclo de renovación en un cafetal establecido

Cuando en la finca, todos los cafetales se sembraron en un mismo año y actualmente se quiere establecer un sistema de renovación sistemática por lotes, pueden utilizarse algunas opciones de poda para establecer el sistema en un tiempo muy corto (Mestre y Salazar, 1998).

Para tal efecto, lo primero que se hace es establecer el período de duración del ciclo. Si se define que éste sea de cinco años, se procede a dividir la finca en cinco lotes con igual número de árboles.

Mediante la combinación del zoqueo y la poda calavera puede llegarse en forma rápida al establecimiento de un sistema de renovación por lotes, para un período de duración del ciclo de cinco años.

El procedimiento es el siguiente:

- En el primer año del establecimiento del sistema se renuevan dos lotes, uno por zoqueo y el otro por poda calavera. Los demás lotes no se intervienen.
- En el segundo año se renuevan otros dos lotes, uno por zoqueo y el otro por poda calavera.
- En el tercer año se renueva por zoqueo el lote que faltaba por renovar.
- En el cuarto año se zoquea el lote de la primera poda calavera.
- En el quinto año se zoquea el lote de la segunda poda calavera. En este momento queda establecido el sistema de renovación sistemática por quintas partes.
- De aquí en adelante cada año se seguirá renovando por zoca los lotes en el orden de intervención.

En la Figura 7.24 se ilustra el procedimiento utilizado.

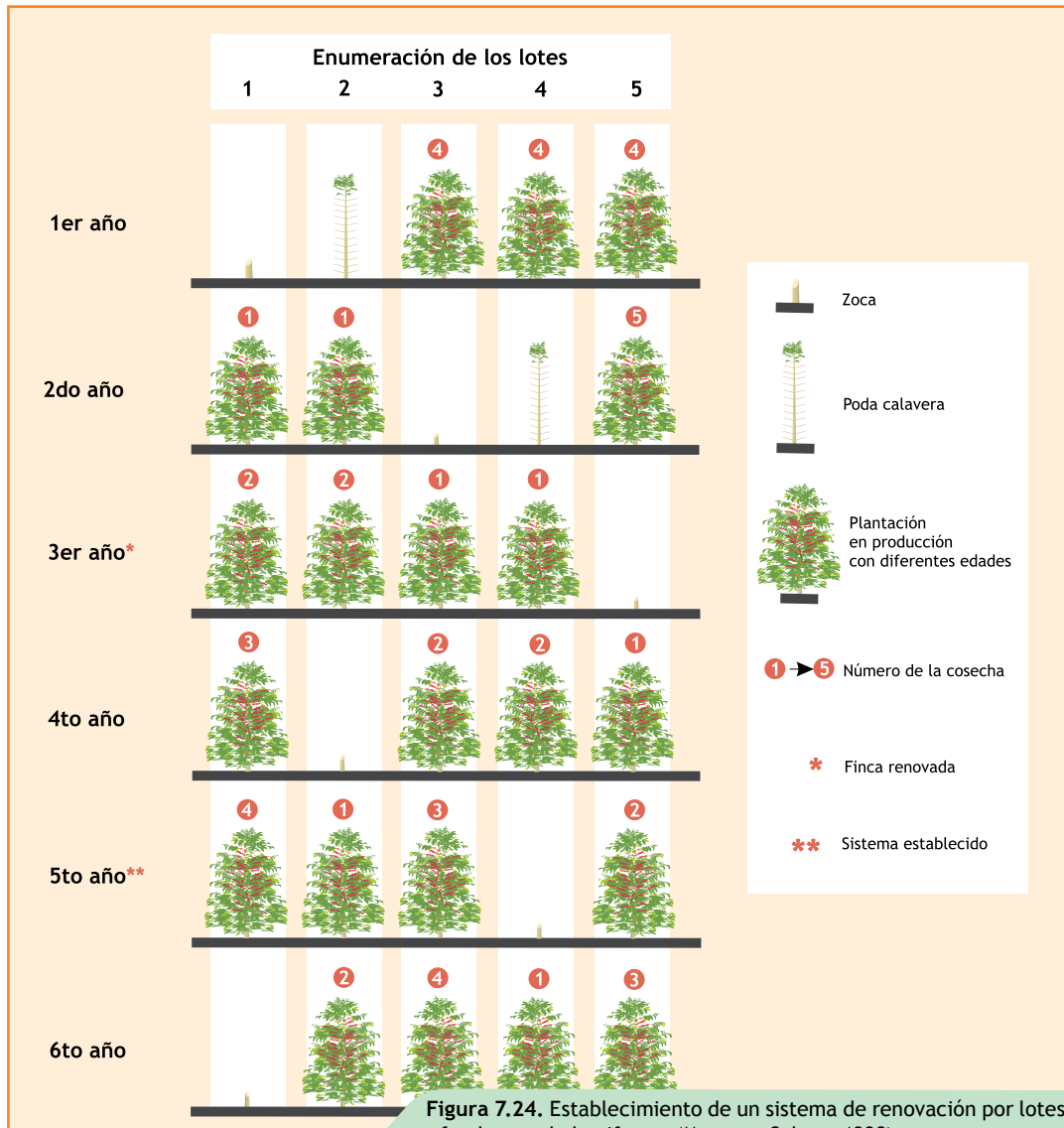


Figura 7.24. Establecimiento de un sistema de renovación por lotes, en un cafetal con edad uniforme (Mestre y Salazar, 1998).

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE LA RENOVACIÓN POR ZOCA

¿En qué épocas se recomienda renovar el cafetal? El zoqueo debe hacerse al terminar la cosecha principal y preferiblemente, en época seca.

Después de la poda y la selección de los chupones, con el fin de prevenir el desarrollo de hongos patógenos, debe aplicarse alguno de los siguientes fungicidas químicos o biológicos: Derosal, Benlate, Mertect o Bavistin (4 g/litro), y Tricho.D (10 g/litro). En el caso que llueva, debe repetirse la aspersión (Castro y Montoya, 1997).

¿Cuál es la primera operación del zoqueo? El desrame de los cafetos. Se recomienda distribuir en el lote las ramas y la hojarasca producidas en el desrame, con el fin de proteger el suelo de la erosión, así como para retardar el crecimiento de las arvenses (Cenicafé, 1992).

¿Con qué herramientas puede zoquearse el cafetal? Pueden utilizarse: machete, segueta, motosierra o guadaña con disco de 80 dientes. Para esta actividad, los equipos motorizados son más eficientes (Uribe y Salazar, 1976; Stranch y Mestre, 1972).

Altura del corte. Estudios realizados en Cenicafé han demostrado que a una altura de 30 cm sobre el suelo pueden producirse entre 15 y 20 brotes o chupones en las zocas (Cenicafé, 1992).

Ángulo del corte. La dirección del ángulo del corte de la zoca no tiene importancia (Cenicafé, 1992).

¿Cuándo y cómo hacer la selección de los chupones? Es necesario seleccionar los brotes para dejar solamente los más vigorosos y ubicados en la base del tallo, debido a que los brotes cercanos al corte se desgarran con facilidad (Cenicafé, 1992).

El número de brotes depende de la densidad de siembra; por tanto, para 2.500 plantas/ha pueden dejarse hasta tres brotes, para 5.000 plantas/ha dos brotes son suficientes y para 10.000 plantas/ha, solamente es adecuado seleccionar un brote. A los tres meses puede hacerse una preselección de los chupones, dejando dos o tres chupones más de la cantidad recomendada. Después de un mes se hará la selección definitiva de los brotes (Cenicafé, 1992).

El chupón se corta a ras del tallo con una navaja bien afilada o con tijeras podadoras. Si no se usan estas herramientas pueden producirse heridas que favorecen la entrada de enfermedades, como la llaga macana.

¿Cómo mantener la densidad de siembra original (resiembras)? Debido a que pueden ocurrir pérdidas de plantas, el zoqueo brinda la oportunidad de efectuar las resiembras necesarias o de compensar la densidad de siembra dejando dos o más tallos por zoca. Se aconseja que al momento del zoqueo se debe contar con un número de plantas de almácigo igual al 10% de las que se van a zoquear. Para la resiembra se recomienda utilizar plantas de la misma variedad (Mestre y Salazar, 1995).

¿Cuántas veces puede zoquearse un cafetal? Un mismo lote puede zoquearse varias veces. Lo importante es el estado de sanidad del tallo y que se lleven a cabo las resiembras necesarias para mantener la densidad de siembra original (Mestre y Salazar, 1995).

Zoqueo de cafetales viejos. Como se explicó, en el tallo se tiene suficiente cantidad de yemas para responder a la práctica del zoqueo en condiciones normales de cultivo.

¿Qué ocurre si se pospone el zoqueo? Se disminuye la productividad de la plantación, aumentan los costos de control de la broca, se dificulta la recolección y se pierde la programación de los ciclos de renovación.

Zoqueo y desarrollo de raíces. Algunos investigadores brasileños indican que al eliminarse la parte aérea de planta, al cabo de algunas semanas, puede ocurrir una muerte de raíces muy alta. Sin embargo, puede argumentarse que en el tallo y las raíces mismas, permanecen almacenadas algunas reservas que le permiten sobrevivir y recuperarse a una proporción de las raíces, hasta que se formen los nuevos brotes que van a proporcionar los asimilados necesarios para la recuperación del sistema radical (Miguel et al., 1984).

Manejo de la broca en el zoqueo. Antes del zoqueo deben recolectarse todos los frutos del cafetal. Además, deben dejarse surcos de árboles trampa y cosecharlos con frecuencia. Estos árboles permanecerán en el cafetal entre 45 y 60 días, tiempo después del cual se le retira la totalidad de sus frutos para tratarlos apropiadamente y proceder a zoquear los cafetos (Cenicafé, 1995; Bustillo, 2002).

Fertilización de los cafetales antes y después del zoqueo. La edad apropiada para fertilizar la zoca es a los tres meses de después del corte y la selección de los chupones. Debe establecerse un programa de fertilización con base en el análisis de suelos. No obstante, si no se cuenta con éste, inicialmente, pueden aplicarse 25-30 g de urea por sitio, esta dosis debe repetirse 4 meses después. En el caso que el suelo sea pobre en materia orgánica (contenidos menores de 6%) es recomendable aplicar pulpa descompuesta o cualquier fuente de abono orgánico. Si el suelo es deficiente en fósforo (contenidos menores de 30 ppm), deben adicionarse 15 g de DAP o superfosfato triple a los 6 meses. Cuando el calcio es deficiente (contenidos inferiores a 3 meq/100 g) es necesario adicionar 200 g de cal por planta a los 8 meses. A partir del segundo año los criterios para la fertilización son similares a los de los cafetales en producción (Uribe y Salazar, 1984; Cenicafé, 2005).

Utilización de la madera y otros residuos. Los promedios de producción de madera fresca de cafetales con 5.000 plantas/ha son 17,43 t/ha de materia seca. Si a estas producciones se sustrae el 8,4% correspondiente a la corteza, se obtendrían producciones en madera de 16 t/ha en peso seco (Romijn, 1981; Farfán, 1994).

¿Cuándo se obtiene la primera cosecha en un cafetal zoqueado? A los 18 meses, debido a que el ciclo de la formación de ramas y nudos no es diferente al de una planta proveniente de siembra nueva.

¿Es igual la producción a la del cafetal original? La producción de lotes renovados por siembra y zoqueados es igual (Mestre y Salazar, 1995).

Zoqueo de cafetales a la sombra. Los cafetos bajo sombrío también envejecen y por consiguiente también deben renovarse.

Producción de alimentos en los cafetales zoqueados. El zoqueo por lotes permite la obtención de ingresos adicionales mediante el establecimiento de cultivos de maíz, frijol o tomate. Durante la etapa de establecimiento del café, es posible: intercalar dos ciclos de maíz, frijol o tomate de mesa, iniciando la rotación de cultivos intercalados con maíz. No se afecta el rendimiento (Cenicafé, 2005).

Aspectos económicos del zoqueo de cafetales. La principal ventaja de la renovación por zoca es su menor costo (aproximadamente 50%) en relación con la renovación por siembra (Duque, 2004).

Cualquier estrategia de administración del cafetal debe proponer como objetivos básicos, la producción de cosechas abundantes de café, de óptima calidad, estables a través del tiempo y una finca ecológicamente sostenible.

Producción de café en sistemas agroforestales

Fernando Farfán Valencia



Agroforestería es el nombre genérico para describir un sistema de uso de la tierra en el cual los árboles se combinan temporal y espacialmente con pasturas (uso animal) o cultivos agrícolas; en la agroforestería se mezclan elementos de la agricultura con elementos forestales que se traducen en sistemas de producción sostenibles en la misma unidad de terreno (Durán, 2004).

En términos generales, la agroforestería es un sistema de manejo sostenible de los cultivos y del suelo mediante el cual se busca aumentar los rendimientos en forma continua combinando la producción de las especies arbóreas con cultivos de valor económico, entre los cuales se incluyen pastos para la producción animal, en una forma simultánea o secuencial en la misma unidad de terreno (Durán, 2004; Sánchez, 2003; Torquebiau, 2000), con aplicación de prácticas de manejo compatibles con las prácticas culturales de la población local (Duran, 2004).

La importancia relativa y el efecto de las diferentes interacciones entre los árboles de sombra y el café depende de las condiciones del sitio (suelo y clima), la selección del genotipo (especie, variedad y procedencia), las características bajo y sobre el suelo de los árboles y los cultivos, así como de las prácticas de manejo del cultivo principal (Beer *et al.*, 1998). Estas interacciones pueden afectar positiva o negativamente la producción del café (Cietto *et al.*, 1991; Herrera *et al.*, 1997; Ramírez, 1995).

La combinación de árboles y cultivos es una asociación entre entes diferentes que coexisten y comúnmente difieren en rendimientos económicos. En el caso de los cafetales en sistemas agroforestales, sería de los árboles de los cuales se esperaría la menor utilidad. Por tanto, la introducción de estos en los cultivos no debe causar pérdidas en la productividad por máspreciado que sea su servicio ambiental (Wadsworth, 1997). La tarea es conocer, identificar e integrar la forestería y la agricultura a las tecnologías forestales y agronómicas, apoyándose en el conocimiento de tradiciones sociales rurales y las destrezas en las relaciones humanas.

En Colombia, el café es un cultivo que se planta a plena exposición solar pero es común observar plantaciones establecidas con varios tipos y cantidades de cobertura arbórea. Es así como de las 869.158 ha cultivadas con café, cerca del 70% se cultiva bajo algún tipo de sombrío (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1997), dadas las diversas condiciones climáticas y de suelo de nuestras zonas cafeteras. Los árboles de sombrío en los cafetales permiten ejercer un control sobre la economía del agua lo que mitiga los efectos que los períodos de déficit hídrico imponen sobre la producción; también, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, ayudan

a reducir la erosión, reciclan nutrimentos y aportan gran cantidad de materia orgánica (Beer, 1987), además incrementan las poblaciones de plantas epífitas y aumentan la diversidad de las especies de aves, entre otros (Kiara y Naged, 1995).

Definición de sistemas agroforestales

Son muchas las definiciones que se han dado de agroforestería o sistemas agroforestales, entre éstas se pueden citar:

Somarriba (1987) indica que la agroforestería es una forma de uso de la tierra en la que se cumplen las siguientes condiciones fundamentales:

- Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente.
- Al menos una especie es una leñosa perenne.
- Al menos una de las especies tiene fines agrícolas.

La Organización para Estudios Tropicales (1986), la define como “formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales las especies leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal”.

Fassbender (1987) y Torquebiau (2000), indican que la Agroforestería son una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan o interactúan árboles con cultivos agrícolas (anuales o perennes), en función del tiempo y del espacio, para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida (Figura 8.1).

Las técnicas agroforestales son una opción para la utilización de tierras en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, basadas en la búsqueda de las prácticas que integren, sobre una misma superficie, diferentes modalidades de producción, con distintas especies y diferentes exigencias de nutrimentos, suelos y agua.

Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de los sistemas agroforestales es necesaria, y busca proveer un marco conceptual

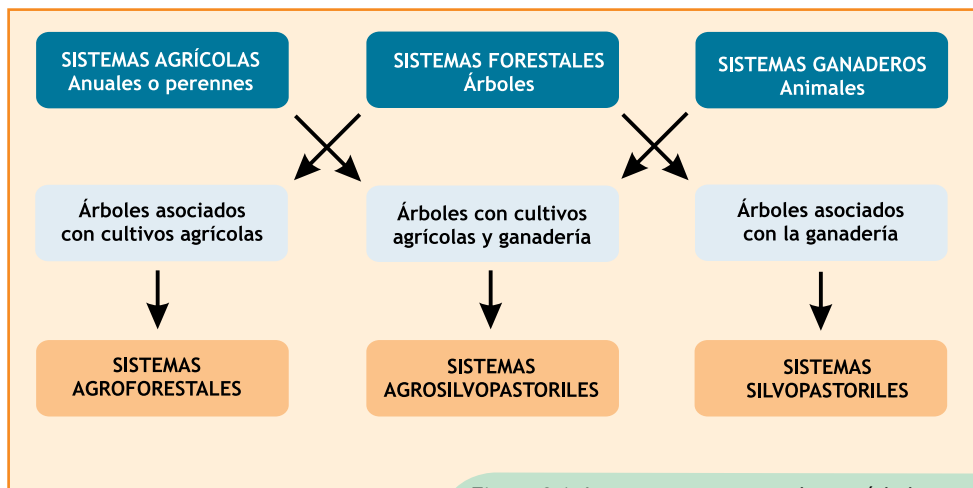


Figura 8.1. Interacciones entre cultivos, árboles y animales

para evaluarlos y desarrollar planes de acción para su mejoramiento. Dada la diversidad de los sistemas agroforestales su clasificación puede ser compleja o simple (Nair, 1985; Fassbender, 1987):

Las clasificaciones complejas se realizan según:

- a. La distribución del componente arbóreo en el tiempo y en el espacio.

En el tiempo la combinación puede ser permanente o temporal.

- La combinación es permanente si se mantiene durante una o más rotaciones el componente forestal. Esto incluye la renovación continua de los cultivos asociados.
- La combinación es temporal si el componente forestal dura menos de una rotación.

En el espacio la combinación puede ser regular (homogénea), irregular (heterogénea), o contigua.

- Regular. Si el componente forestal se halla mezclado entre el cultivo agrícola.
- Irregular. Si el componente forestal está situado al costado o alrededor del cultivo agrícola.

- b. La importancia relativa de sus componentes.

- c. La función de los diferentes componentes dentro del sistema.

- d. Según los objetivos de la producción y las características sociales y económicas que prevalecen.

- Producción de madera para exportación, construcción o leña, uso forrajero en ramoneo, de frutos, etc.

- Protección y servicios: mejoramiento del suelo, establecimiento de sombra, cercos vivos, cortinas rompevientos, etc.

Las clasificaciones simples se basan en las funciones de las asociaciones o las estructuras entre las especies, y pueden dividirse en tres grupos (Figura 8.2):

1. Sistemas agroforestales. Asociaciones de árboles con cultivos agrícolas.
2. Sistemas agrosilvopastoriles. Asociaciones de árboles, cultivos agrícolas y pasturas como alimento de animales.
3. Sistemas silvopastoriles. Asociaciones de árboles con pasturas. Los animales deben estar presentes físicamente cerca de los árboles y dentro del mismo terreno para calificar como tal.

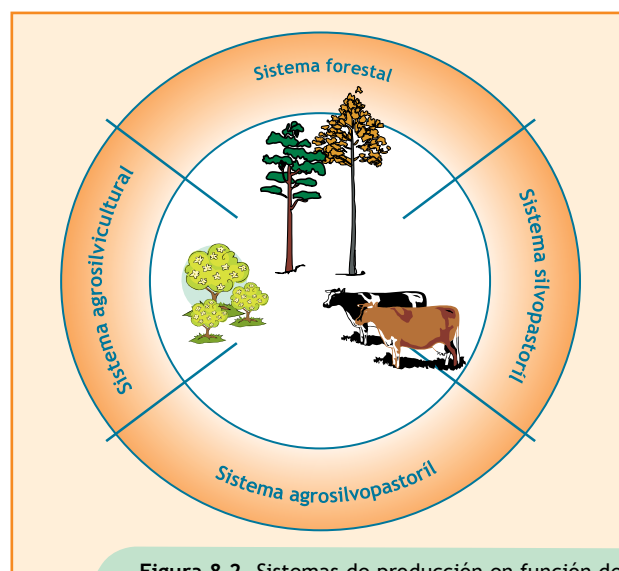


Figura 8.2. Sistemas de producción en función de las asociaciones o estructuras entre las especies.

Una tercera forma de clasificación de los sistemas agroforestales puede basarse en el tipo de componentes incluidos y en la asociación (espacial y temporal) que existe entre los componentes (Figura 8.3). Esta clasificación es descriptiva y al nombrar cada sistema, además de los componentes, se obtiene una idea de su fisonomía y sus principales funciones y objetivos.

Análisis estructural de los sistemas agroforestales

Sin importar el sistema de clasificación empleado en los sistemas agroforestales, es primordial realizar un análisis simple de los SAF, denominado **análisis estructural de los sistemas**. Este análisis se fundamenta en la presencia, el arreglo y la disposición de los componentes dentro del sistema (Figura 8.4) (Torquebiau, 2000). Nuevamente, dentro del análisis estructural se incluyen los sistemas de clasificación simple.

Presencia

Basada en la presencia de los tres principales componentes agroforestales, árboles, cultivos y pasturas (animales), se definen las siguientes categorías estructurales:

Sistemas agrosilvícolas.
Sistema silvopastoriles.
Sistema agrosilvopastoriles.

Arreglo

El arreglo se refiere al orden de los componentes en el espacio y en el tiempo. El arreglo espacial tiene que ver con la ubicación física de los componentes en el lote y el arreglo temporal (secuencia) describe si los componentes están al mismo tiempo en la parcela, si siguen uno a otro o si se superponen parcialmente en el tiempo. Los principales tipos de arreglos son:

Mixto. Los componentes no están arreglados o dispuestos geoméricamente en el lote, es decir aparecen de manera irregular; como ejemplo, puede mencionarse la caficultura tradicional (Federación Nacional de Cafeteros, 1997), donde no hay arreglo espacial ni del sombrío ni del café, es decir los componentes fueron establecidos en forma deliberada en los lotes (Rice, 1997; Perfecto *et al.*, 1996) (Figura 8.5).

Zonal. Los diferentes componentes están arreglados geoméricamente dentro del lote. Para citar como ejemplo, en los cafetales se establece la sombra de una forma sistemática, con arreglos espaciales definidos, buscando un nivel de sombrío óptimo para el café

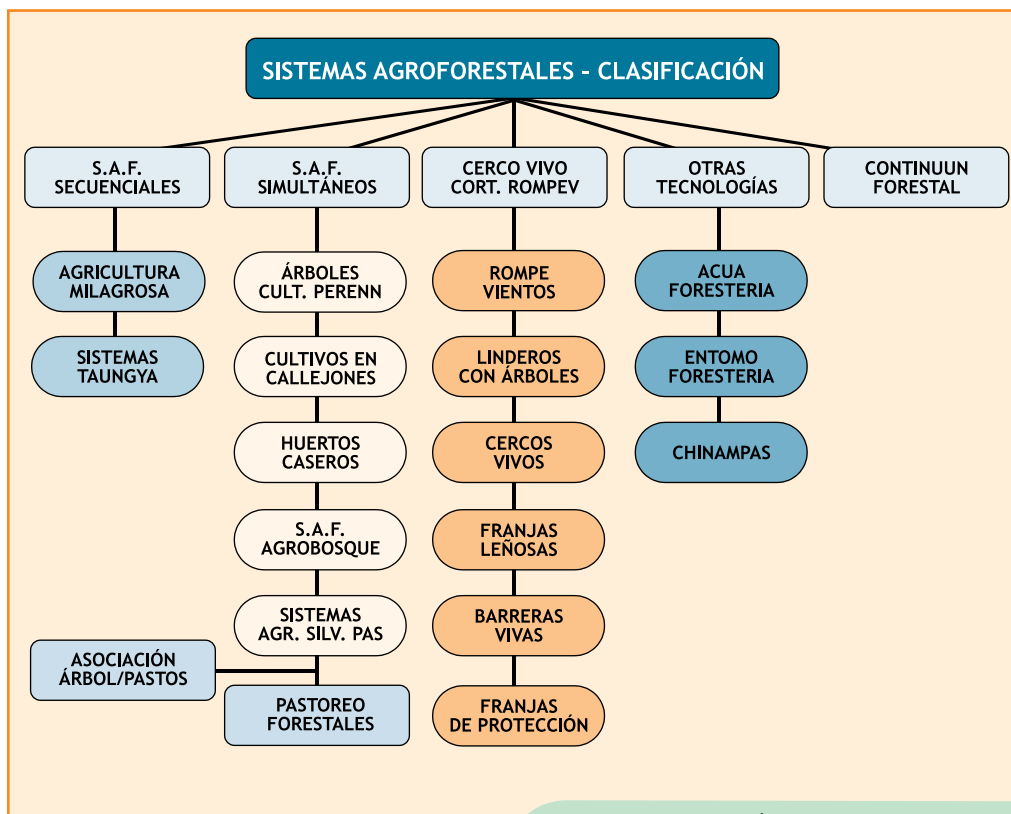


Figura 8.3. Clasificación de los Sistemas Agroforestales - SAF.

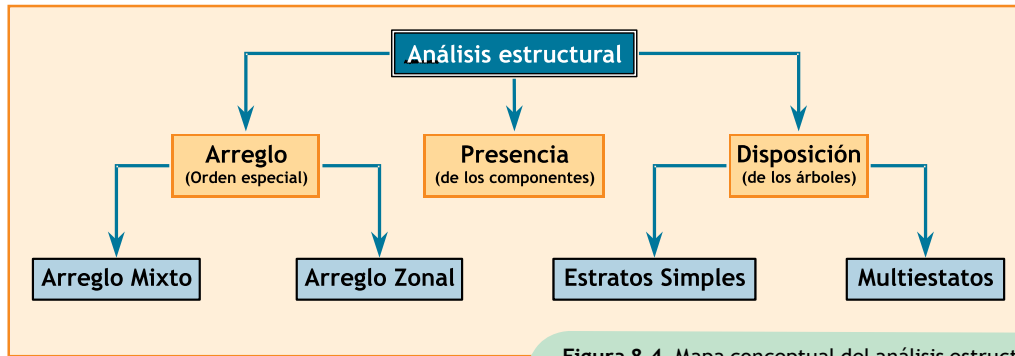


Figura 8.4. Mapa conceptual del análisis estructural de los sistemas agroforestales.



Figura 8.5. Cultivo de café con sombrero tradicional diverso.



Figura 8.6. Cultivo de café con sombrero diverso tecnificado.

(Figura 8.6) (Federación Nacional de Cafeteros, 1997). Las especies arbóreas comúnmente empleadas como sombrero pertenecen a los géneros *Inga*, *Albizia* y *Erythrina* (Rice, 1997; Federación Nacional de Cafeteros, 1958).

Disposición

La disposición o estratificación de los componentes puede ser simple o estar dispuesta en varios estratos (multiestratos).

Estratos simples. Sólo hay una capa de árboles; por ejemplo, café con sombrero solamente de guamo, carbonero o cámbulo, etc (Figura 8.7).

Multiestratos. En la disposición estratificada hay varias capas de árboles, en el caso del café el sombrero puede establecerse con diversas especies simultáneamente (Figura 8.8).

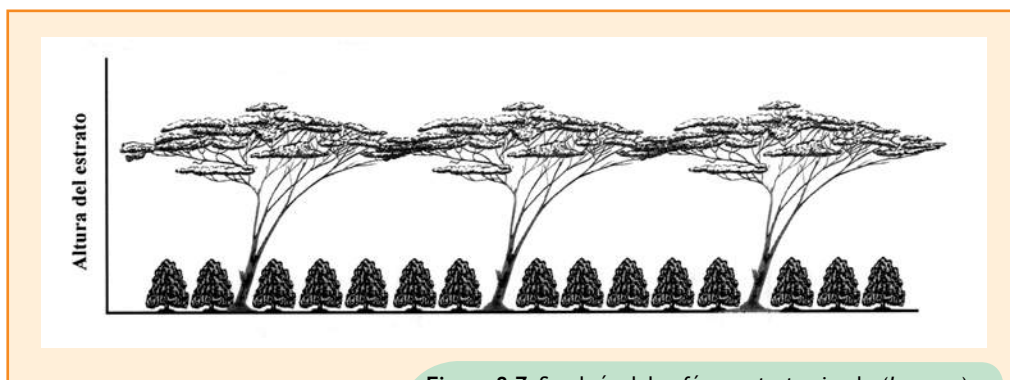


Figura 8.7. Sombrero del café en estrato simple (*Inga* sp.).

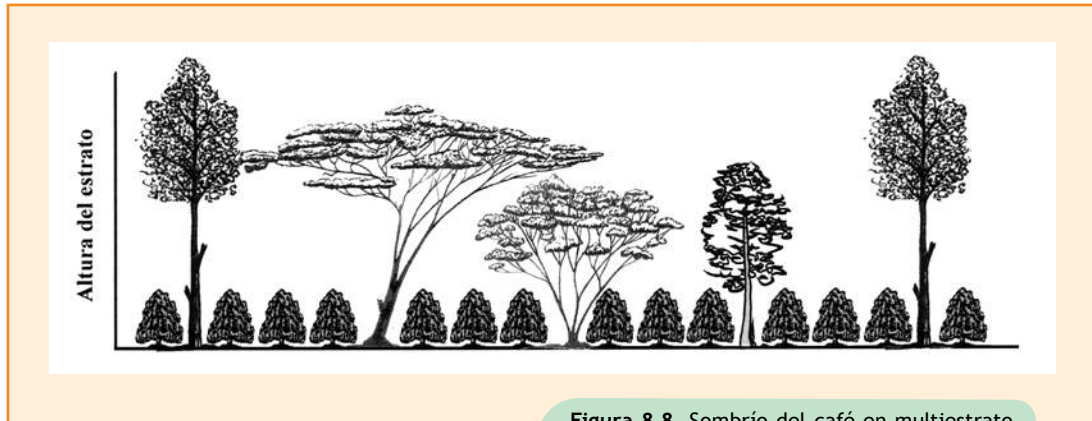


Figura 8.8. Sombrero del café en multiestrato (*Inga* sp. + *Albizia* sp. + *Erythrina* sp., otros).

Existen otras disposiciones de los componentes dentro de los sistemas como:

Densa. Los componentes están juntos estrechamente en la parcela.

Dispersa. Los componentes están lejos unos de otros.

Simultánea. Los componentes están presentes al mismo tiempo en la parcela.

Secuencial. Los componentes no están presentes simultáneamente en la parcela, uno va detrás del otro.

Categorías de los sistemas agroforestales

Después de la clasificación de los sistemas agroforestales, es necesario establecer categorías que reúnan elementos comunes articulados y jerárquicos (Nair, 1985), de manera que se facilite el conocimiento de las funciones de los sistemas. Estas categorías son:

Sistema agroforestal (Categoría superior). Asociaciones o arreglos agroforestales conformados por el componente arbóreo y el agrícola de interés económico.

Tecnología agroforestal (Categoría intermedia). Arreglo definido de los componentes del sistema con ciertas disposiciones en el espacio y el tiempo.

Práctica agroforestal (Categoría inferior). Asociación específica de componentes con disposiciones detalladas de especies, arreglo espacio-temporal y manejo agronómico, entre otros.

Sistemas agroforestales

Componentes abióticos y bióticos de los sistemas

Los componentes abióticos son climáticos, fisiográficos, edafológicos y geológicos, y los bióticos relacionan todos los organismos vivos que participan en los sistemas. El esquema de sistemas (Figura 8.9), ayuda a enfocar la finca como una unidad compleja y dinámica, y a comprender los efectos de los cambios que se introducen en ella; lo que resulta particularmente útil en el estudio y la puesta en práctica de sistemas agroforestales, pues la presencia del componente arbóreo introduce nuevas interacciones y una dinámica diferente.

Las tecnologías agroforestales más comunes son:

Árboles asociados con cultivos perennes. Los sistemas agroforestales con café, comunes en las zonas cafeteras colombianas, pueden clasificarse como simultáneos (Organización para Estudios Tropicales, 1986). En contraste con los sistemas agroforestales secuenciales o con interacción cronológica, en los sistemas simultáneos (con interacción directa), los componentes agrícolas y arbóreos se encuentran en el mismo terreno durante toda la duración del sistema. El objetivo principal de los S.A.F. simultáneos es la diversificación de la producción, aunque también pueden lograrse aumentos en la productividad a través de algunas interacciones con el componente arbóreo.

A esta categoría pertenecen todas las combinaciones de árboles y cultivos perennes donde el componente arbóreo crea un piso superior y cubre los cultivos (Figura 8.10). La cubierta del árbol puede ser muy abierta o casi cerrada como los árboles de sombra de algunas

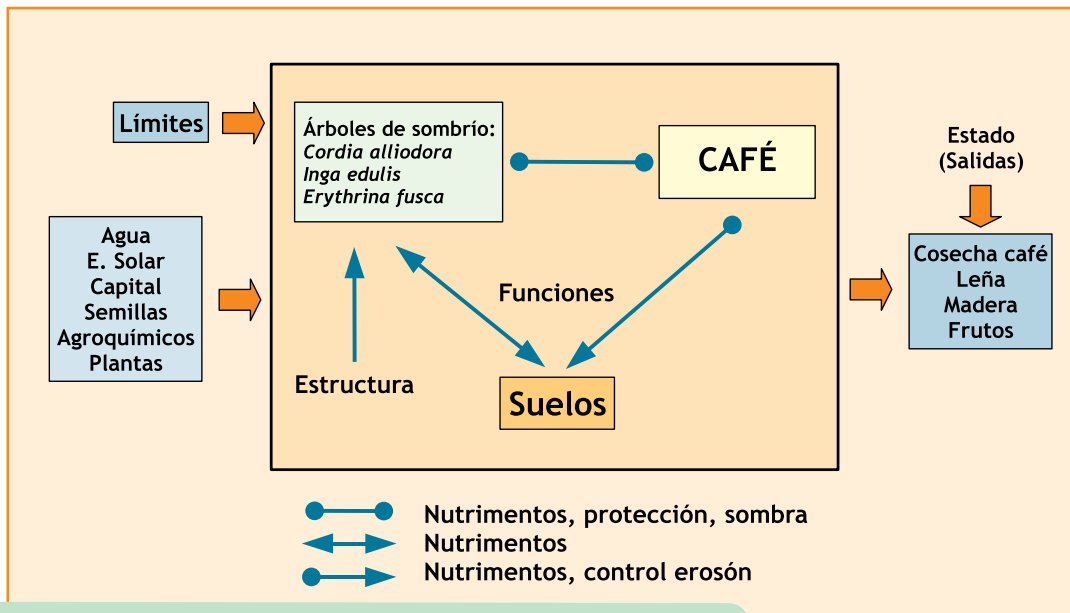


Figura 8.9. Representación esquemática de un sistema agroforestal con café.

plantaciones de café o de cacao. El cultivo del café constituye la base para muchos sistemas simultáneos, especialmente en las tierras altas y fértiles.

Las plantaciones comerciales intensivas en asociación con árboles de múltiples usos, también pertenecen a la categoría de cultivos bajo cubierta arbórea. Entre los casos más conocidos se encuentra el café cultivado bajo sombra de *Erythrina* sp., *Inga* sp. y *Cordia alliodora*, entre otros.

A pesar que el café tiene mayores rendimientos en monocultivo o plantaciones sin el empleo de sombrío, cerca del 70% del área cultivada con café tiene al

menos una especie arbórea para sombra. Esto se debe a diversos factores restrictivos para la producción como deficiencias hídricas, altas temperaturas, alta radiación solar, baja fertilidad de los suelos, entre otros. El uso de árboles como sombrío en cafetales se debe también a la necesidad de obtener otros productos como leña, madera o frutas, es decir, diversificar la plantación de productos necesarios para el autoabastecimiento en la finca (Beer *et al.*, 1989; Beer, 1987; Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

Árboles en asociación con cultivos anuales (Cultivos en callejones). Consiste en la asociación de hileras de plantas o cercas de árboles en parcelas donde los cultivos se encuentran en callejones entre los surcos de los árboles (Figura 8.11). En estas asociaciones, las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo son similares a las del caso anterior. Estos sistemas se establecen para especies anuales tolerantes a la sombra, en caso contrario se trataría de sistemas Taungya¹ (Figura 8.3).

El concepto de cultivo en callejón, fue desarrollado en Nigeria, con el fin de tratar de resolver de una manera espacial y simultáneamente con el crecimiento del cultivo el problema de la disminución de la fertilidad del suelo, observado en la agricultura migratoria y tradicionalmente, resuelto con el barbecho.

Aunque se pierde algún espacio por la siembra de árboles, se espera que este sistema se equilibre con un aumento en el rendimiento del cultivo por unidad de

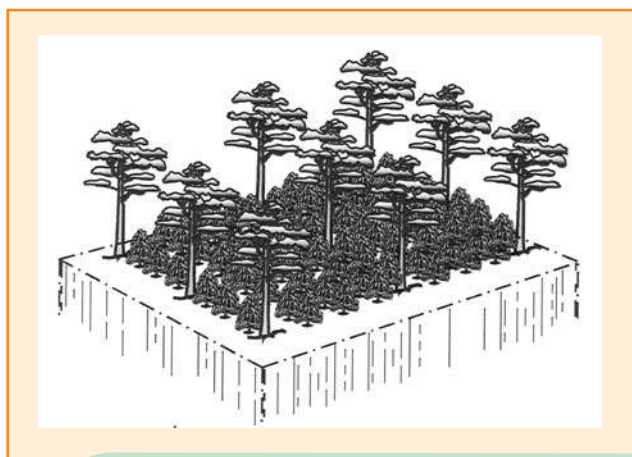


Figura 8.10. Árboles en asociación con cultivos perennes.

¹ Taug: colina y ya: cultivo = cultivo de colina. En los sistemas "Taungya" los árboles y cultivos crecen de manera simultánea durante el período de establecimiento de la plantación forestal (OTS, 1986; Fassbender, 1987; Somarriba, 1987; Torquebiau, 1993; Wadsworth, 2000).

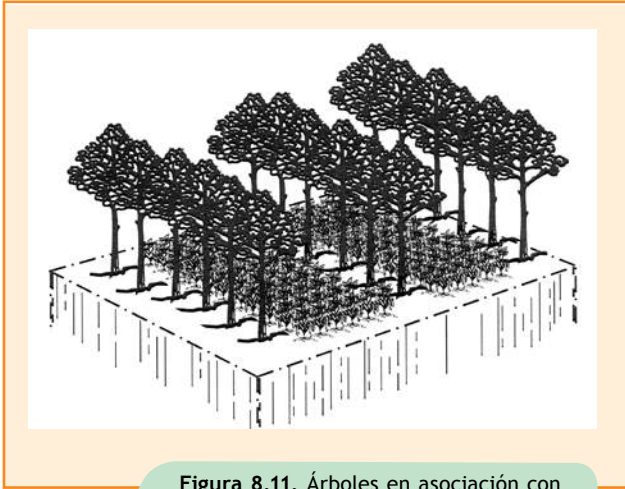


Figura 8.11. Árboles en asociación con cultivos anuales o cultivos en callejón.

área (Van Noordwijk, 2000), obtenido por el efecto de la fertilización del material orgánico proveniente de los árboles.

Sistemas silvopastoriles. Estos sistemas y los silvoagrícolas tienen las mismas características estructurales: los árboles cubren el piso inferior constituido por pastos, el piso inferior y algunas veces también el superior está dedicado a la producción animal. (Figura 8.12). La producción de forraje bajo la cubierta arbolada puede dedicarse a los sistemas de corte y carga. En estos sistemas pueden incluirse diferentes tipos de animales silvestres.

Estos sistemas son practicados a diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complemento a la agricultura de subsistencia.

Cortinas rompevientos. Son usadas para la protección de cultivos y animales, incluso donde la agricultura es intensiva. Además de jugar un papel protector, los

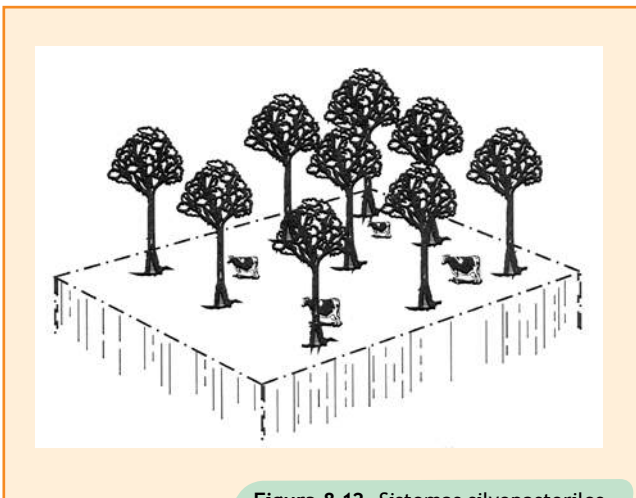


Figura 8.12. Sistemas silvopastoriles.

árboles empleados como cortinas rompevientos producen madera, abono verde, leña y frutos, entre otros (Figura 8.13). Las barreras rompevientos están constituidas por una o varias hileras de árboles.

Plantaciones con árboles en los linderos. Se usan para delimitar parcelas o fincas y para separar áreas con diferentes cultivos; también son usados para incorporar árboles a los paisajes agrícolas (Figura 8.14). Los árboles pueden ser explotados con fines comerciales.

Cercas vivas. Es una plantación de árboles que sirven de postes para delimitar una propiedad, un lote, etc. El objetivo básico es la delimitación y protección de los terrenos; de los árboles también pueden obtenerse beneficios como producción de leña, forraje, postes y madera. Generalmente unidas con alambre de púas, redes de alambre y tablonés (Figura 8.15).

Agrobosques o fincas forestales. Esta categoría emplea tecnologías agroforestales derivadas o semejantes a los huertos caseros mixtos² (Figura 8.3), y que dan origen

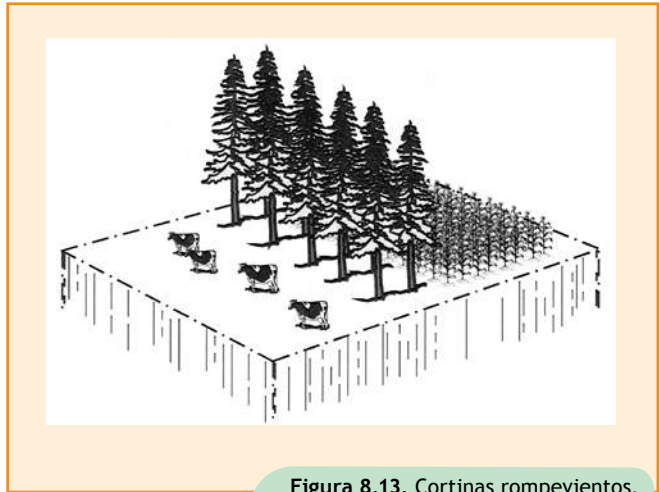


Figura 8.13. Cortinas rompevientos.

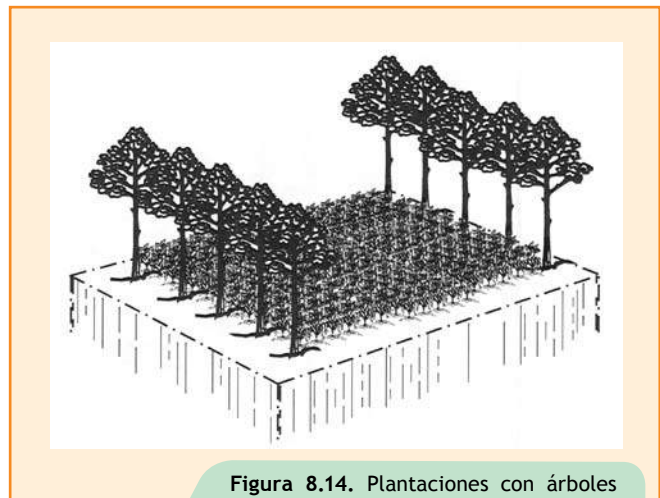


Figura 8.14. Plantaciones con árboles en los linderos.

a cultivos que se asemejan a los bosques, de aquí el nombre de agrobosque.

Frecuentemente, son pequeñas parcelas con una estructura típica de los bosques, debida a la presencia de árboles grandes y por que son generalmente de multiestratos. A menudo existe gran diversidad de especies en un arreglo no zonal de grandes árboles coexistiendo con otros más pequeños y plantas arvenses que son, generalmente, tolerantes a la sombra. En el agrobosque los árboles y los cultivos se manejan individualmente con distintas prácticas.

Otro aspecto importante de los huertos boscosos o agrobosques, es que su estructura, generalmente o algunas veces, cubren áreas muy grandes y por su tamaño y distancia de las fincas están generalmente orientados hacia la explotación como cultivos comerciales mas que hacia cultivos de subsistencia.

Uno de los principales productos de los agrobosques es la madera, aunque también pueden aprovecharse otros productos que generan altos ingresos como caucho y resinas, entre otros. En algunos casos la silvicultura social puede incluirse en la categoría de agrobosques, debido a que es un tipo de plantación silvícola que involucra la participación de la población rural.

Si el propósito tiene un objetivo específico, como producir madera, entonces es a menudo una plantación mono-específica y no un agrobosque (Figura 8.16). Sin embargo, si el bosque social es de usos múltiples (madera, leña, resinas, etc.) o está constituido por diferentes especies, entonces puede pertenecer a la categoría de agrobosque.

Denominaciones del componente arbóreo de los SAF con café

En los sistemas agroforestales con café pueden encontrarse diversas estructuras formadas por el componente arbóreo, estas denominaciones son diferentes a las mencionadas anteriormente y dependen del arreglo espacial, las especies involucradas y del arreglo espacial del café (Federación Nacional de Cafeteros, 1958; Muschler, 2000; Sylvain, 1977; Rice, 1997; Perfecto *et al.*, 1996; Wilkinson y Elevitch, 2000). Básicamente son tres tipos de estructuras:

² Los huertos caseros mixtos o familiares se caracterizan por tener múltiples estratos con gran variedad de árboles, cultivos y algunas veces animales. Son sistemas que producen durante todo el año y juegan un papel primordial en la alimentación básica a nivel familiar. Este tipo de SAF es el más complicado y el más antiguo, ya que involucra especies como árboles frutales, para leña, leguminosas (multipropósito), árboles maderables, animales, cultivos, pastos y plantas ornamentales, entre otros. También involucra árboles y arbustos en asociaciones cercanas con cultivos anuales cultivados intensivamente para la alimentación animal (OTS, 1986; Fassbender, 1987; Somarriba, 1987; Torquebiau, 1993; Wadsworth, 2000).

Sombrío diverso tradicional, sombra rústica, policultivo tradicional o caficultura tradicional

Los sistemas agroforestales con estructura diversa o caficultura tradicional, presentan un manejo menos intensificado y se caracterizan por que el café se establece con dos o más especies de sombrío y con poca alteración de la vegetación presente, lo cual da como resultado una alta diversidad de especies en comparación con otros sistemas. Las especies arbóreas empleadas corresponden a los géneros *Inga* sp., *Erythrina* sp. y *Albizia* sp., entre otras, y se establecen deliberadamente en los lotes con café (Figura 8.17) (Rice, 1997; Perfecto *et al.*, 1996).

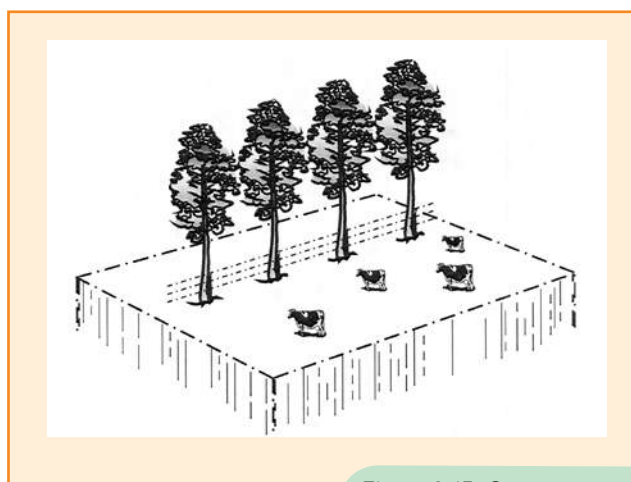


Figura 8.15. Cercas vivas.

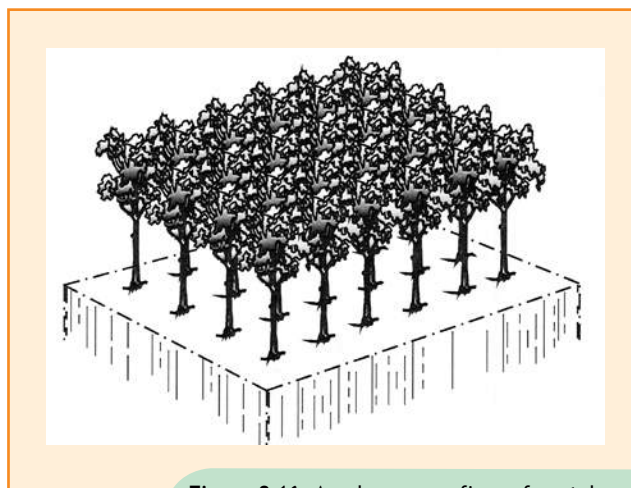


Figura 8.16. Agrobosques o fincas forestales.

Sombrío diverso plantado, policultivo moderno o sombrío tecnificado

En estos sistemas de cultivo el sombrío se establece sistemáticamente con arreglos espaciales definidos, en la búsqueda de un nivel de sombra óptimo para el café (Figura 8.18). Se asemeja al sistema anterior porque emplea dos o más especies arbóreas en su estructura (*Inga* sp., *Albizia* sp., *Erythrina* sp.) (Rice, 1997; Federación Nacional de Cafeteros, 1958).

Sombrío simple plantado, policultivo moderno, policultivo comercial o sombrío tecnificado

La estructura del componente arbóreo en este sistema de cultivo está compuesta de una sola especie, generalmente *Inga* sp., establecida en arreglos espaciales sistemáticos y/o definidos tanto para la especie de sombra, como para



Figura 8.17. Cultivo de café con sombrío tradicional diverso.



Figura 8.18. Cultivo de café con sombrío diverso tecnificado.

el café, lo cual le confiere la denominación de cultivo tecnificado bajo sombrío (Figura 8.19) (Federación Nacional de Cafeteros, 1958).

Selección y diseño de sistemas agroforestales con café

¿Por qué establecer café con sombrío?

Como una tendencia general en la zona cafetera ocurren dos períodos secos y dos húmedos en el año. Los meses de exceso hídrico son abril - mayo y octubre - noviembre. En las regiones Norte, Sur y Oriente del país la tendencia es la de presentar en el año una sola estación húmeda (Jaramillo, 2005).

En la región cafetera Norte de Colombia (10° 25' Latitud Norte y 73° 34' Longitud Oeste) (Subestación Experimental de Pueblo Bello - Cesar) a pesar que los valores anuales de precipitación son de 1.481 mm y que la cantidad de agua que cae en el primer semestre es el 35% (642 mm) del total anual, ocurre una estación seca pronunciada de enero a abril, con un déficit hídrico de 238 mm (Cenicafé, 2004; Jaramillo, 2005).

En la región Sur (1° 15' Latitud Norte y 77° 29' Longitud Oeste) (Estación Ospina Pérez, Consacá - Nariño), ocurre una precipitación anual de 1.204 mm (Cenicafé, 2004), cantidad que podría ser suficiente si tuviera una distribución uniforme en el año, pero hay una estación seca marcada de julio a septiembre, presentándose un déficit hídrico de 266 mm en tres meses continuos (Tabla 8.1) (Cenicafé, 2004).

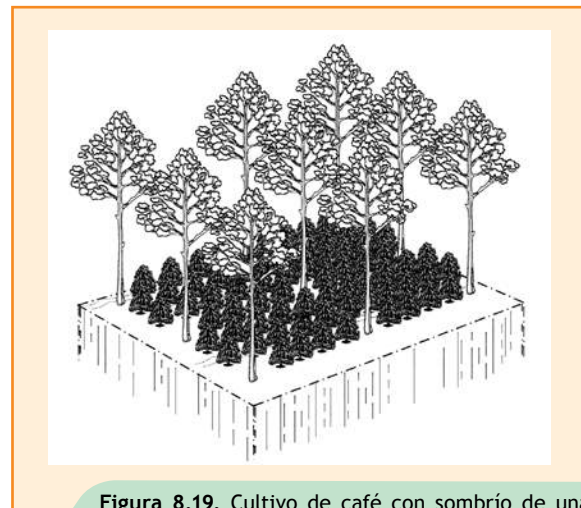


Figura 8.19. Cultivo de café con sombrío de una sola especie y tecnificado.

Tabla 8.1. Características climáticas de tres localidades ubicadas en tres regiones cafeteras de Colombia.

Información climática	Zona Norte (Cesar)	Zona Centro (Caldas)	Zona Sur (Nariño)
Estación meteorológica	Pueblo Bello	E. C. Naranjal	Ospina Pérez
Temperatura media	21,0 °C	21,6 °C	19,7 °C
Humedad relativa	75,1%	74,8%	71,2%
Precipitación total	1.481,1 mm	2.322,1 mm	1.203,8 mm
Días con lluvia	119	223	145
Brillo solar	2.441,7	1.829,3	1.812,9
Deficiencia hídrica	238 mm (enero - abril)	-	266 mm (julio - sept.)

El límite de deficiencia hídrica para el café es de 150 mm en tres meses continuos (Camargo y Pereira, 1994); dadas las condiciones impuestas por estas deficiencias hídricas, es común observar, en estas regiones sistemas de cultivo de café bajo cobertura arbórea o en sistemas agroforestales, con el propósito de conservar la humedad del suelo en épocas secas y disminuir los efectos que el déficit hídrico impone sobre el cultivo como: aumentar la tasa de crecimiento, evitar el “marchitamiento” de las plantas y reducir la pérdida de hojas, entre otros (Muschler, 2000; Orozco y Jaramillo, 1978).

Debe establecerse café con árboles si el relieve es fuertemente quebrado con pendientes fuertes (>50%), los suelos son susceptibles a la erosión, poco profundos y poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica, baja fertilidad natural, mal drenaje, baja permeabilidad y baja retención de humedad (Beer *et al.*, 1998).

También es necesario establecer café con sombrío si el objetivo de la producción es la participación en algunos mercados de cafés especiales, por ejemplo: cafés orgánicos, cafés amigables con las aves, cafés aliados de los bosques o cafés de conservación, entre otros.

Diseño del sistema agroforestal con café

La selección y el diseño del SAF a establecer en la unidad de producción puede resumirse en siete pasos, como se muestra en la Figura 8.20 (Wilkinson *et al.*, 2000; Haggard *et al.*, 2001).

¿Cuál especie arbórea debe establecerse como sombrío?

Al seleccionar la especie arbórea para emplearla como sombrío del café debe tenerse en cuenta (Organización

para Estudios Tropicales, 1986; Guharay *et al.*, 2001; Muschler, 2000; Perfecto *et al.*, 1996; Wilkinson y Elevitch, 2000):

a. ¿Cuáles servicios y productos se esperan de los árboles? El diseño de los sistemas de producción con café se inicia con la definición de los objetivos de producción. Debe hacerse un listado de los productos y servicios que espera obtener de los árboles empleados como sombrío en el cafetal, por ejemplo: protección del cultivo, recuperación del suelo, aporte de materia orgánica, reciclaje de nutrientes, conservación de la humedad del suelo, control de la erosión y producción de cafés especiales, entre otros.

b. Identificar la características del sitio donde se establecerán los árboles. Características de suelos, condiciones climáticas, altitud, uso y manejo del suelo, y topografía, entre otros. Diferentes investigaciones en Colombia y otros países cafeteros sugieren que el sombrío presenta una serie de ventajas principalmente en climas cálidos y secos, y en suelos con baja retención de humedad y baja fertilidad, condiciones que limitan el crecimiento y desarrollo del cultivo. Es importante considerar que el sombrío no es universalmente benéfico y que en algunas condiciones se registran desventajas asociadas especialmente con la restricción de la incidencia de la radiación solar que es el principal factor determinante de la productividad (Beer *et al.*, 1998; Farfán y Mestre, 2004 a; Haggard *et al.*, 2001; Jaramillo, 1982; Muschler, 2000; Orozco y Jaramillo 1978). Para apoyar la decisión de cuando es necesaria la sombra en los cafetales deben analizarse varias situaciones:

- **Establecer en cuáles ambientes se espera mayor beneficio de los árboles de sombrío.** De acuerdo a la Figura 8.21, en condiciones ambientales ideales para café, el cultivo a plena exposición solar puede tener un mayor rendimiento que bajo árboles que

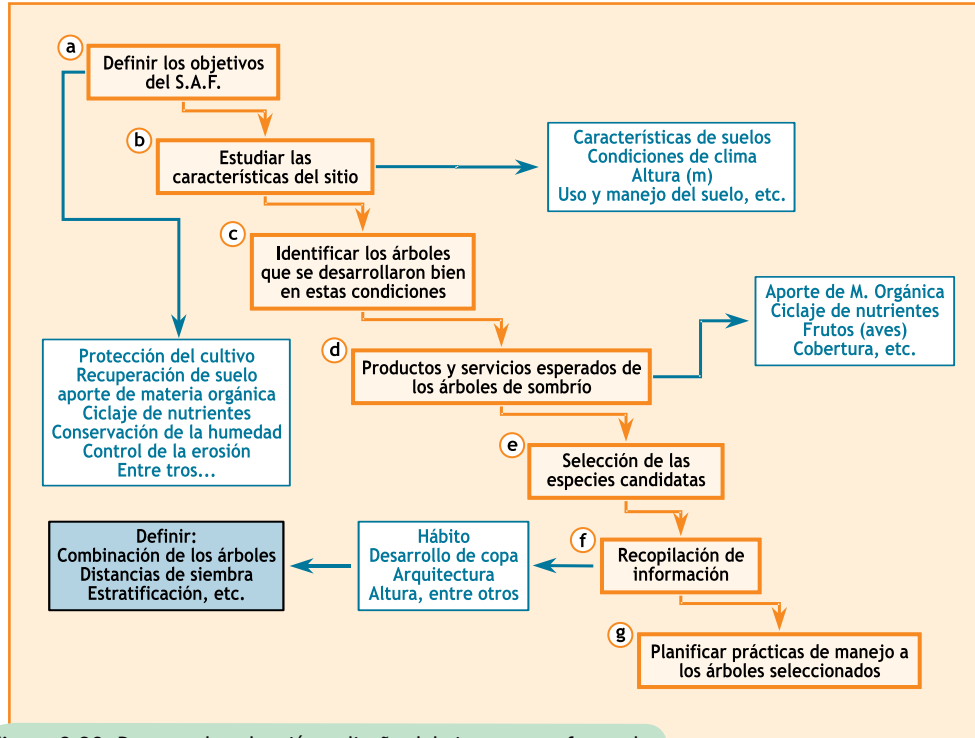


Figura 8.20. Proceso de selección y diseño del sistema agroforestal.

proyectan 50% de sombra; sin embargo, en zonas marginales muy bajas el estrés hídrico y térmico es mayor para las plantas de café y por consiguiente, a largo plazo la producción a plena exposición solar tiende a ser menor que en las altitudes óptimas. Esto obedece a que los árboles de café no toleran los extremos ambientales, los cuales aumentan conforme el cultivo se aleja de la zona óptima (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

En contraste con la situación anterior, en los cafetales establecidos en zonas con deficiencias hídricas y suelos con limitaciones físicas y baja disponibilidad de los nutrientes necesarios para el desarrollo normal de la planta, el aporte de la sombra puede ser muy importante debido a que los árboles ayudan a moderar el estrés del café sometido a este ambiente, por su efecto de atenuación de las condiciones hídricas y de microclima, al reciclaje de nutrientes y por la acomodación de la planta de café a un nivel de producción compatible con

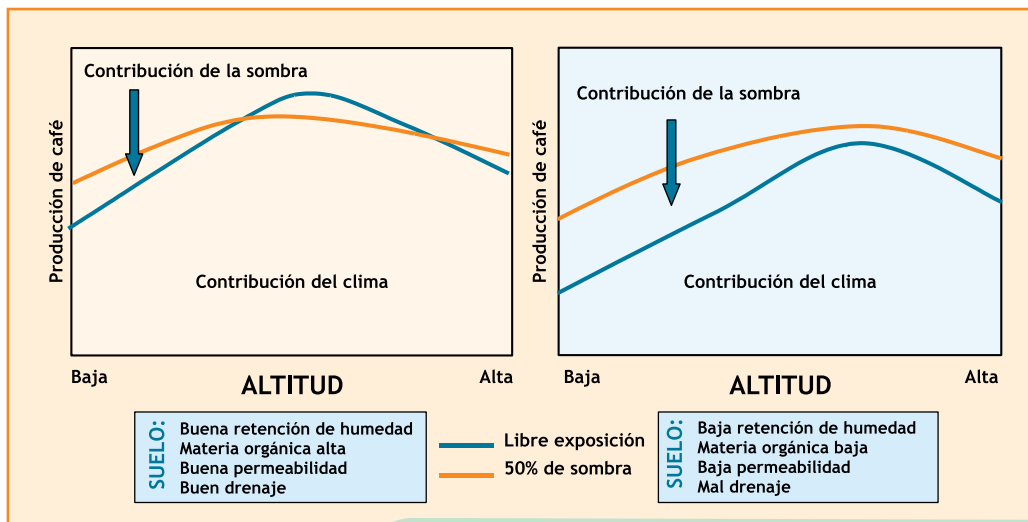


Figura 8.21. Producción de café bajo sombrío y a libre exposición solar en función de la altitud y el tipo de suelo (Tomado de Beer *et al.*, 1998).

los recursos disponibles (agua, luz y nutrimentos) (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

- **Analizar cuáles lotes de la finca reciben mayor beneficio de la asociación con los árboles.** En la finca pueden presentarse variaciones en las condiciones de los lotes que la conforman, por tanto en algunos de estos lotes puede ser útil establecer algún tipo de sombrío o prescindir de este.

c. Identificar los árboles que se desarrollan adecuadamente en las condiciones de la finca. Una vez caracterizado el sitio donde se establecerá el SAF es necesario hacer un listado (preselección) de árboles que podrían adaptarse o que se desarrollen bien en estas condiciones. Es importante investigar si existen sitios con ambientes similares y qué especies de árboles se desarrollan allí (Cenicafé, 2004; Cordero *et al.*, 2003). Debe tenerse en cuenta que una misma especie no se desarrolla igual en condiciones diferentes de clima y suelo.

d. Realizar un listado de las especies a elegir. Acompañar este listado con toda la información posible acerca de: altura de los árboles, diámetro de la copa, diámetro del tronco, forma de la copa (Figura 8.22), tasa de crecimiento del árbol, permanencia de las hojas en el árbol, forma del tallo, follaje denso o ralo, etc.

e. Planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados. De las decisiones tomadas con la información obtenida se planificarán todas las prácticas de manejo de los árboles que fueron seleccionados para conformar el sistema; es decir, definir las prácticas agroforestales (Categoría inferior) (Rice, 1997). Toda esta información facilita el diseño eficiente del sistema de cultivo del café bajo sombrío, el cual permitirá tener rangos de sombrío adecuados y niveles de producción óptimos.

Distribución y manejo de la sombra

Desarrollo y forma del dosel de las especies arbóreas empleadas como sombrío

Para satisfacer las diferentes necesidades de sombra se pueden utilizar diferentes especies arbóreas con sus características específicas de competitividad o compatibilidad; entre los atributos más importantes que determinan la compatibilidad de un árbol están: la tasa de crecimiento, los cambios fenológicos y la arquitectura de la copa (Muschler, 2000).

La forma del dosel o la corona de los árboles tiene importantes consideraciones al momento de ser

seleccionados para los sistemas agroforestales; algunos árboles tienden a desarrollar el dosel en capas, otros conforman un dosel pequeño y alto, y otros en forma columnar, en contraste con aquellos que desarrollan una copa densa, esparcida o cónica (Figura 8.22). En general, es muy amplia la gama de formas del dosel de los árboles (Wilkinson *et al.*, 2000; Wilkinson y Elevitch, 2000).

El grado o nivel de sombra en el cafetal depende de factores ambientales como la precipitación, las horas luz, la humedad relativa, la nubosidad, como también de la arquitectura o las características de la especie vegetal seleccionada como sombrío (tasa de crecimiento y densidad de copa), de características edáficas y de la competencia por nutrientes y agua que la especie arbórea ejerza sobre el cafetal (Beer *et al.*, 1998; Federación Nacional de Cafeteros, 1958; Guharay *et al.*, 2001; Muschler, 2000; Wilkinson y Elevitch, 2000). En zonas con limitaciones ambientales para el desarrollo del cafeto éste requiere de más sombra y consecuentemente, de un mayor número de árboles o mayor porcentaje de sombra y en condiciones ideales para café, el cultivo puede establecerse a plena exposición solar o con un menor número de árboles por hectárea o un menor grado de sombrío.

Distribución de la sombra

En sistemas de café con sombrío, es común observar algunas áreas con muy poca sombra y otras con demasiado sombrío, o que el cultivo en su totalidad presente poco sombrío en su inicio o demasiada sombra en estados avanzados de desarrollo de los árboles. Este hecho está determinado por las dos dimensiones de la sombra: la intensidad del sombrío, relacionada con el grado de sombrío, el nivel de sombra o el porcentaje de cobertura; y la distribución de la sombra (Figura 8.23), la cual depende de la estructura del árbol, de su arquitectura, de la forma y el desarrollo de las copas, la distancias de siembra y del manejo dado a los árboles, entre otros (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

Como ejemplo práctico; con bajas densidades de siembra de los árboles o en los primeros años de desarrollo de los mismos o con la selección de una especie inadecuada para el sitio de establecimiento del sombrío del café, o un manejo excesivo de los árboles, o con ataques de plagas en determinadas épocas del año, pueden obtenerse niveles de sombreamiento deficientes o muy bajos para el desarrollo del cultivo (sombrio del 10 al 20%) en lugares que así lo requiera; igualmente con densidades altas de siembra de los árboles o debido a su mal manejo (sin podas de mantenimiento y sin podas de formación), o una inadecuada distribución de los árboles en el campo, en corto tiempo se presentarán niveles de sombreamiento excesivos (>50%) limitantes para la producción del café (Figura 8.23).

Por tanto es requisito básico en los sistemas de cultivo de café con sombrío determinar el porcentaje de sombrío óptimo o grado de sombreado adecuado, el cual dependiendo de la localidad y de las necesidades del cultivo, será el reflejo de las reducciones o incrementos de la producción al establecer el café en asocio con árboles.

En estudios desarrollados por Farfán (2003), en la Estación Central Naranjal y la Subestación Experimental Pueblo Bello, se establecieron cafetales con sombrío de guamo santafereño (*Inga edulis*), en tres distancias de siembra 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m (278, 123 y 70 árboles de guamo.ha⁻¹), y se realizaron mediciones

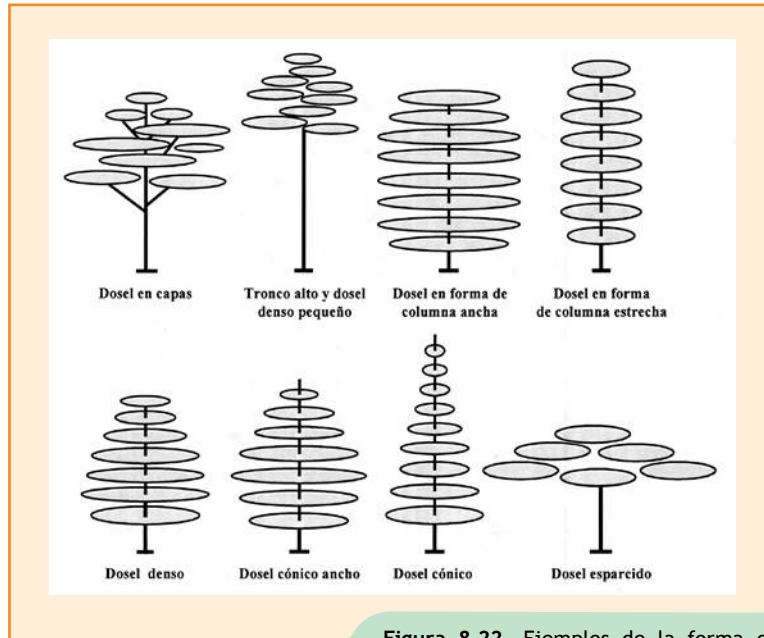


Figura 8.22. Ejemplos de la forma de la copa de árboles a emplear como sombrío del café.

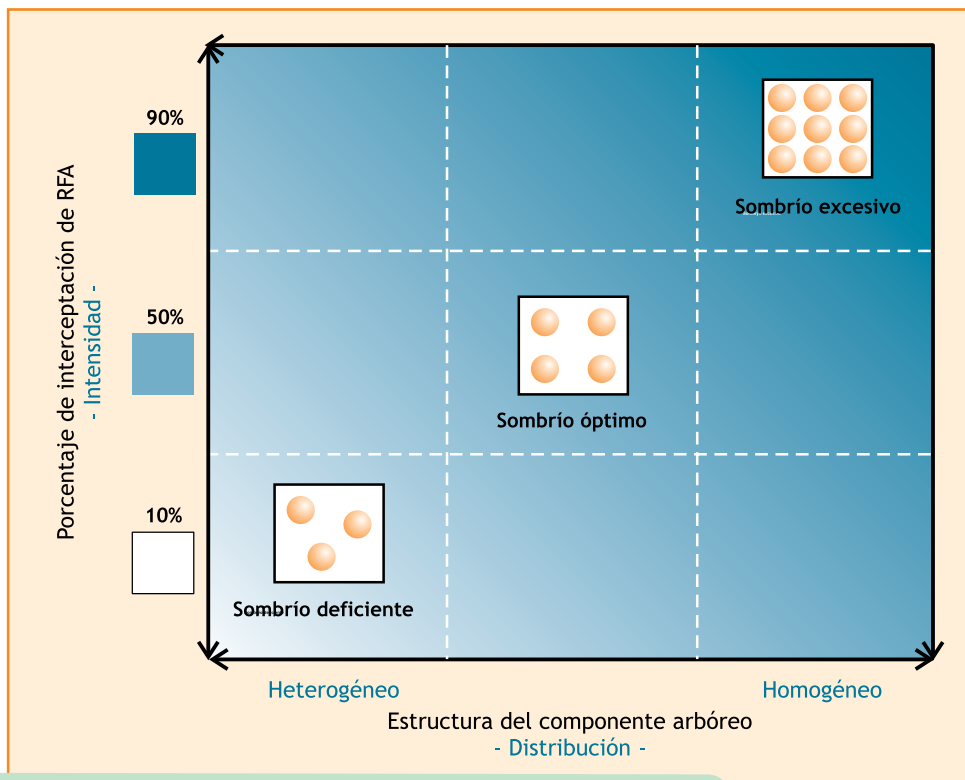


Figura 8.23. Patrón de sombra: Las dos dimensiones de la sombra (intensidad y distribución), definen las zonas de sombrío óptimo del café (Adaptado de Muschler, 2000).

del porcentaje de sombrío de los árboles desde los 3 hasta los 5 años de edad en Naranjal y desde los 2 hasta los 5 años en Pueblo Bello (Figura 8.24).

En la Estación Central Naranjal, a los tres años de establecido el sombrío de guamo a 6,0 x 6,0 m, los niveles de sombra fueron superiores al 50% (sombrío denso), mientras que con los árboles establecidos a 9,0 x 9,0 m (123 guamos.ha⁻¹) el sombrío fue adecuado y a 12,0 x 12,0 m (70 guamos.ha⁻¹) se observó que éste era ralo o heterogéneo. Al cuarto año de edad de los árboles en los cafetales establecidos con 278 y 123 guamos.ha⁻¹, el grado de sombra fue superior al 50% (sombrío homogéneo), mientras que con 70 plantas.ha⁻¹ el porcentaje de sombra fue adecuado para el café. A los cinco años, el grado de sombra fue homogéneo e igual para las tres densidades de siembra del sombrío (70%) (Farfán, 2003).

En la Subestación Pueblo Bello, se observó que a los dos y tres años de establecido el sombrío de guamo, los niveles de sombra con 278 y 123 árboles.ha⁻¹ fueron adecuados para el desarrollo del cafetal y con 70 guamos.ha⁻¹ el sombrío fue ralo o heterogéneo. A los cuatro años sólo con el sombrío a 12,0 x 12,0 m se obtuvo el nivel de sombra adecuado, y con 278 y 123 árboles.ha⁻¹ se superó el 50% de sombrío (sombrío denso). Finalmente, al quinto año, bajo las tres distancias de siembra del guamo toda la sombra era densa (>55%) (Figura 8.24) (Farfán, 2003).

En otro estudio realizado en la Subestación Experimental Pueblo bello, se establecieron cinco especies leguminosas como sombrío del café, a distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m (278, 123 y 70 árboles.ha⁻¹), y se realizaron mediciones del grado de sombra desde los dos hasta los cinco años de edad de los árboles (Farfán et al., 2003) (Figura 8.25).

Con el guamo santafereño establecido a 6,0 x 6,0 m, se obtuvo solamente el 30% de sombra a los dos años, y a partir del tercero la proyección de la sombra fue superior al 50%. Con 123 árboles.ha⁻¹ se registró una densa intensidad de sombra (>50%) desde los dos años, y con 70 plantas.ha⁻¹ un grado de sombra bajo a los dos años y adecuado al quinto año (Farfán, 2003).

El sombrío de cámbulos establecido a 6,0 x 6,0 m proyectó un grado de sombra adecuado en el segundo y el tercer año de edad, pero excesivo tanto al cuarto como al quinto año. Con 123 y 70 árboles.ha⁻¹ el grado de sombra fue adecuado en el primer caso y bajo o ralo en el segundo, durante todo el ciclo evaluado.

El porcentaje de sombra dado por el carbonero fue excesivo, prácticamente desde los dos años, cuando éste se estableció con 278 y 123 plantas.ha⁻¹, mientras que al establecerlo a 12,0 x 12,0 m se obtuvo un nivel de sombra mayor del 50% a partir del quinto año de edad.

Con frijol rojo y leucaena la proyección de la sombra se mantuvo entre adecuada y baja durante los cuatro años de evaluaciones y con las tres densidades (Farfán, 2003).

Interacciones árbol-suelo-cultivo

En algunas ocasiones el empleo de árboles como sombrío del café presenta ventajas y desventajas relacionadas con su desarrollo y su fisiología, que están especialmente asociadas a la interceptación de la radiación solar. Estas ventajas y desventajas también son denominadas como interacciones, las cuales, dependiendo del sistema,

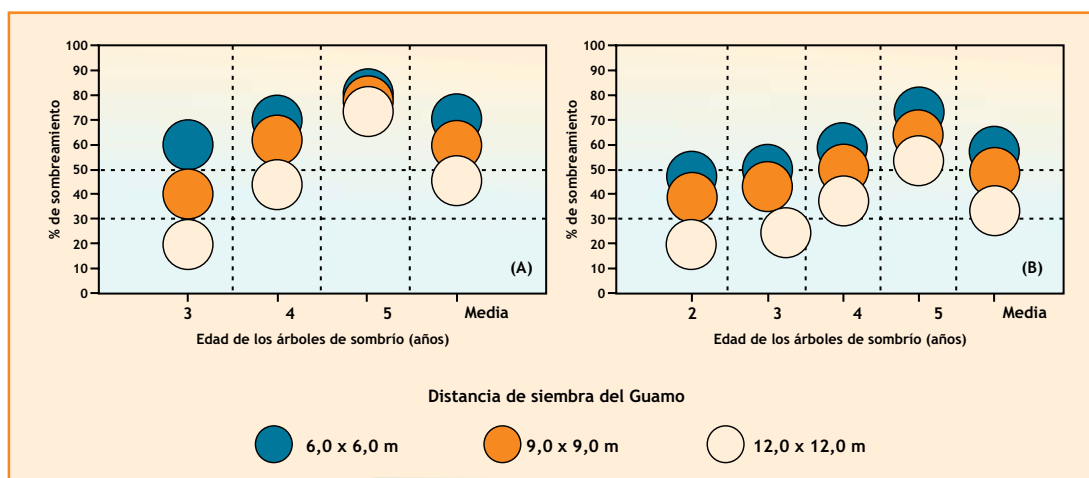


Figura 8.24. Patrón de distribución del sombrío de *Inga edulis* en tres densidades de siembra y en dos localidades diferentes: (A) Estación Central Naranjal-Chinchiná, (B) Subestación Experimental de Pueblo Bello-Cesar (Farfán, 2003).

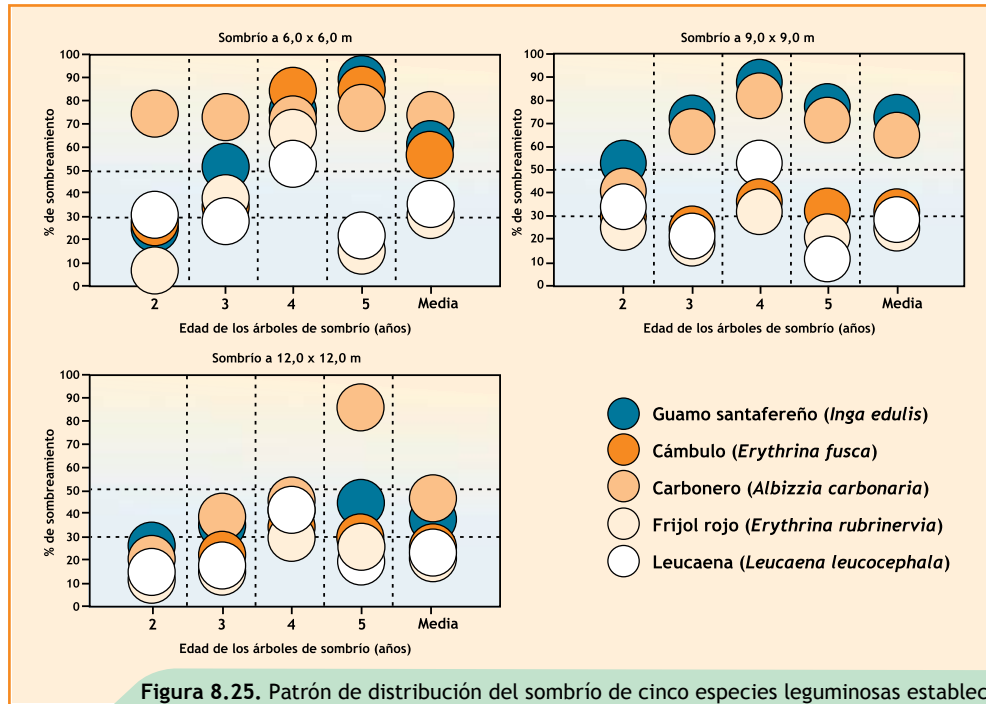


Figura 8.25. Patrón de distribución del sombrero de cinco especies leguminosas establecidas a tres densidades de siembra en la Subestación Experimental de Pueblo Bello (Cesar) (Farfán, 2003).

pueden ser positivas, neutras o negativas (Beer *et al.*, 1998; Beer, 1987; Federación Nacional de Cafeteros, 1958; Guharay *et al.*, 2001; Hagggar *et al.*, 2001; Van Noordwijk, 2000; Ong y Huxley, 1996). Cuando la interacción es positiva hay complementariedad entre los componentes (Figura 8.26a), si es negativa ocurre competencia (Figura 8.26c) y cuando no se afecta ninguno de los componentes se dice que hay suplementariedad (Figura 8.26b). En sistemas agroforestales, una especie arbórea de sombra puede incrementar, disminuir o no tener efecto alguno sobre la productividad del cultivo asociado (Anderson, 1993). En la Tabla 8.2 se presenta un análisis de las posibles interacciones entre dos poblaciones (A y B).

Interacciones positivas

En la interacción entre el sombrero y el café pueden observarse las siguientes interacciones positivas:

Reciclaje de nutrientes. Puede basarse en:

- La toma de nutrientes por las raíces del árbol en las capas superficiales del suelo, sin entrar en competencia con el cultivo.
- Las raíces de los árboles pueden tomar nutrientes lixiviados a las capas profundas del suelo, y posteriormente éstos pueden ser devueltos a las superficiales.
- Los árboles que toman nutrientes de las capas profundas del suelo, pueden actuar como “bomba de nutrientes”.

Producción de residuos vegetales. Si los residuos vegetales son de buena calidad (baja relación C:N, bajos contenidos de lignina y polifenoles), estos se descomponen

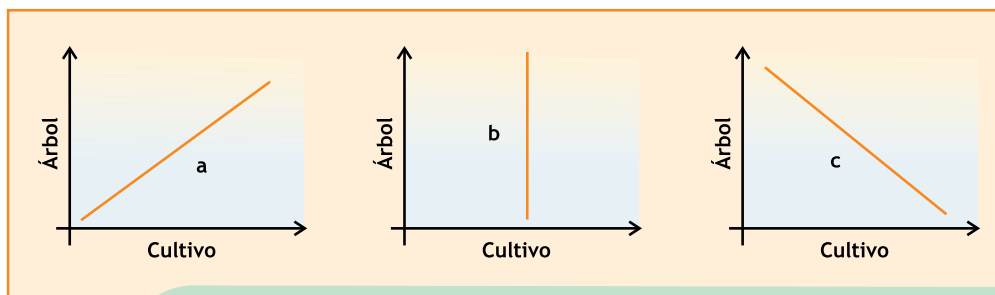


Figura 8.26. Esquema de la relación árbol-cultivo en sistemas agroforestales (a) Complemento entre especies; (b) Suplemento y (c) Competencia entre especies (Van Noordwijk, 2000).

Tabla 8.2. Análisis de las interacciones entre dos poblaciones A y B (Van Noordwijk, 2000).

Tipo de interacción	Efecto de la interacción		Naturaleza de la interacción	Ejemplo en SAF
	A	B		
Mutualismo	+	+	Interacción favorable a las dos poblaciones	Micorrizas, Rhizobium, Leguminosas
Facilitación	+	0	Interacción favorable para A, pero no obligatoriamente. B no es afectada	Cortinas rompevientos, árboles de sombra, cultivos en callejones
Comensalismo	+	0	Interacción obligatoria para A. B no es afectada	Árboles para soporte de la vid, rastrojos mejorados
Neutralismo	0	0	Ninguna de la poblaciones es afectada	Árboles dispersos
Parasitismo/ predación	+	-	Interacción obligatoria para A. B es inhibida	Plagas y enfermedades
Amensalismo	-	0	A es inhibida. B no es afectada	Alelopatía
Competencia e interferencia	-	-	Ambas poblaciones son inhibidas	Cultivos en callejones mal manejados

0: No hay interacción significativa; +: Favorable para la población en mención (crecimiento, supervivencia, reproducción, etc.); -: Desventaja para la población en cuestión.

rápidamente y los nutrientes estarán disponibles para el cultivo y los árboles.

Cobertura muerta (mulch). Los residuos vegetales de baja calidad (alta relación C:N, altos contenidos de lignina y polifenoles), se descomponen muy lentamente actuando como cobertura muerta, que puede conservar la humedad del suelo durante los períodos secos. El mulch es importante donde el suministro de agua para los cultivos es un problema especialmente si son suelos arenosos.

Los árboles son fuente de nitrógeno. Tanto las raíces de los árboles como de los cultivos pueden ser fuente de N, por fijación, nodulación y muerte de raíces, entre otros.

Control de arvenses. El sombrero brindado por los árboles y el cultivo contribuyen a la reducción en el número y el porcentaje de cobertura de arvenses.

Reducción de plagas y enfermedades. La combinación de árboles y cultivos reduce la presión de plagas y enfermedades, y facilita el establecimiento de controladores biológicos.

Efectos microclimáticos. Los árboles reducen la velocidad del viento, regulan la humedad y la temperatura dentro del cultivo, reducen la evapotranspiración de árboles y el cultivo, y disminuyen el daño causado por el granizo y la lluvia.

A largo plazo, el efecto combinado de árboles-cultivo, reduce los procesos erosivos, mantienen la estructura del suelo y conservan los contenidos de materia orgánica. Además, el sistema radical de los árboles puede mejorar el drenaje y la aireación del suelo, debido a que remueven los excesos de humedad del suelo.

Diversificación de la producción. Producción de frutas, explotación de la madera, aprovechamiento de árboles para la producción de otros cultivos por ejemplo flores y pimienta.

Adicionalmente, se incrementa la humedad del sistema de producción por interceptación horizontal (neblina), se promueve la actividad de organismos benéficos, se reduce la utilización de productos químicos, sirven como refugio de aves migratorias, ofrecen oportunidades de investigación en biodiversidad, dan la oportunidad para participar en mercados de cafés especiales: amigables con las aves, cafés de conservación y cafés orgánicos, entre otros.

Interacciones negativas

- La caída natural de ramas y árboles pueden afectar las plantas del cultivo.
- La defoliación inesperada de los árboles de sombra, causada por insectos o enfermedades, puede dejar desprotegidas las plantas.

- Se requiere mano de obra adicional para otras labores, como las podas.
- Los árboles pueden ser un obstáculo para el establecimiento de estructuras contra la erosión.
- Algunos cultivos requieren libre exposición.
- Un sombrío muy denso puede reducir la productividad del cultivo.
- Las raíces de los árboles pueden competir por humedad durante épocas secas y por oxígeno durante épocas húmeda.
- Los árboles de sombra pueden competir por nutrientes con el cafeto.
- Las gotas de lluvia pueden coalescer en el dosel de los árboles, ocasionando una redistribución adversa de la lluvia e incrementando la erosión.
- La producción de frutos y madera puede convertirse en sumidero de nutrientes.
- Tanto los árboles como los cultivos pueden ser hospederos, entre sí, de plagas y enfermedades.

Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA)

Los estudios de interceptación de la RFA, la cual está comprendida entre 400 y 700 nm de longitud de onda, suministran la base para el manejo práctico de los cultivos, por ejemplo, para seleccionar los árboles por su tamaño, el arreglo espacial del cultivo principal, el número de plantas por hectárea y la optimización de la producción de los asimilados y su conversión. Para planificar el establecimiento de un sistema agroforestal debe buscarse la máxima interceptación de la radiación y su óptima distribución en el follaje e interceptación en los diferentes niveles de la planta (Castillo *et al.*, 2004; Jaramillo *et al.*, 1980; Weaver y Clements, 1944), en nuestro caso del café.

Factores que afectan la interceptación de RFA.

- **La altitud:** Afecta la nubosidad y la calidad de la luz.
- **La latitud:** Afecta el ángulo de incidencia de la luz y la longitud del día.

- Concentración de partículas atenuantes en el aire.
- Factores inherentes al equipo y las metodologías de evaluación.

Factores que determinan el grado de interceptación de la RFA.

- Arquitectura de los árboles y del cultivo.
- Heterogeneidad del componente arbóreo: Diversidad, dimensión y orientación.
- El número de estratos verticales.
- Tamaño de las hojas y duración del follaje.
- Índice de área foliar del componente arbóreo y del cultivo.
- Densidad del follaje.
- Ángulo inserción de las ramas y de las hojas.
- Estructura y edad de la hoja.
- Distribución del área foliar.
- Distribución de la RFA en el follaje.
- Arreglo espacial, manejo del sombrío y características del sitio donde fue establecido.

Interceptación de la RFA por diferentes especies de sombrío en café

En cada una de las ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, se evaluó la interceptación de RFA. Las mediciones de la interceptación de RFA se iniciaron cuando los árboles de sombrío, en cada experimento, tenían entre 2 y 3 años de establecidos y se prolongaron hasta cuando estos cumplieron entre 6 y 7 años. Las evaluaciones se realizaron en las parcelas experimentales o unidades de medición.

Para medir la cantidad de RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café se aplicó la metodología propuesta por Farfán *et al.* (2003), donde cada unidad de medición se dividió en cuadrantes y a éstos se le asignaron puntos de medición, de acuerdo al tamaño de la unidad (Figura 8.27); el punto de medición correspondió al sitio donde está ubicado un árbol de café. Por ejemplo, unidades de medición con el componente arbóreo a 6,0 x 6,0 m estuvieron compuestas de 16 cuadrantes y 25 puntos de medición, aquellas establecidas a 9,0 x 9,0 m, tuvieron 36 cuadrantes y 49 puntos de medición y las parcelas

de árboles a 12,0 x 12,0 m tuvieron 64 cuadrantes y 45 puntos de medición.

Se empleó una barra integradora de medición LI-191 SA (Line Quantun Sensor LICOR Lincoln NE, USA) conectada a un colector de datos LAI 2000; la barra se colocó por encima del cafeto (punto de medición) para efectuar mediciones instantáneas (N° 1 en la Figura 8.28). Para medir la RAF incidente sobre la fronda del componente arbóreo se instaló un sensor LI-190 SA (Line Quantun Sensor LICOR Lincoln NE, USA) en un área descubierta adyacente a la parcela experimental (N° 2 en la Figura 8.28) y se conectó a un registrador automático de datos LI-1000, almacenando información cada minuto; la información contenida en cada uno de los registradores de datos se procesó mediante el software LI-900. Las mediciones se realizaron entre las 11:00 y 13:00 horas, momento en el cual el ángulo de inclinación solar es cercano o igual a los 90°. La orientación de los recorridos para el registro de la información fue de Oriente a Occidente, mas un recorrido de verificación Sur - Norte.

Evaluaciones:

a. En el experimento, **Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes**, en el cual el componente arbóreo fue *Inga edulis* establecido a distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m; y el café establecido a 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas.ha⁻¹), en la Estación Central Naranjal y en la Subestación Experimental Pueblo Bello, se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Estación Central Naranjal, el porcentaje de interceptación de RFA registrada en cada una de las distancias de siembra del sombrío de *Inga edulis*, durante tres años, mostró que a 6,0 x 6,0 m el porcentaje de interceptación media fue del 70%, a 9,0 x 9,0 m del 60% y a 12,0 x 12,0 m del 45% (Figura 8.29) (Farfán y Mestre, 2004 a).

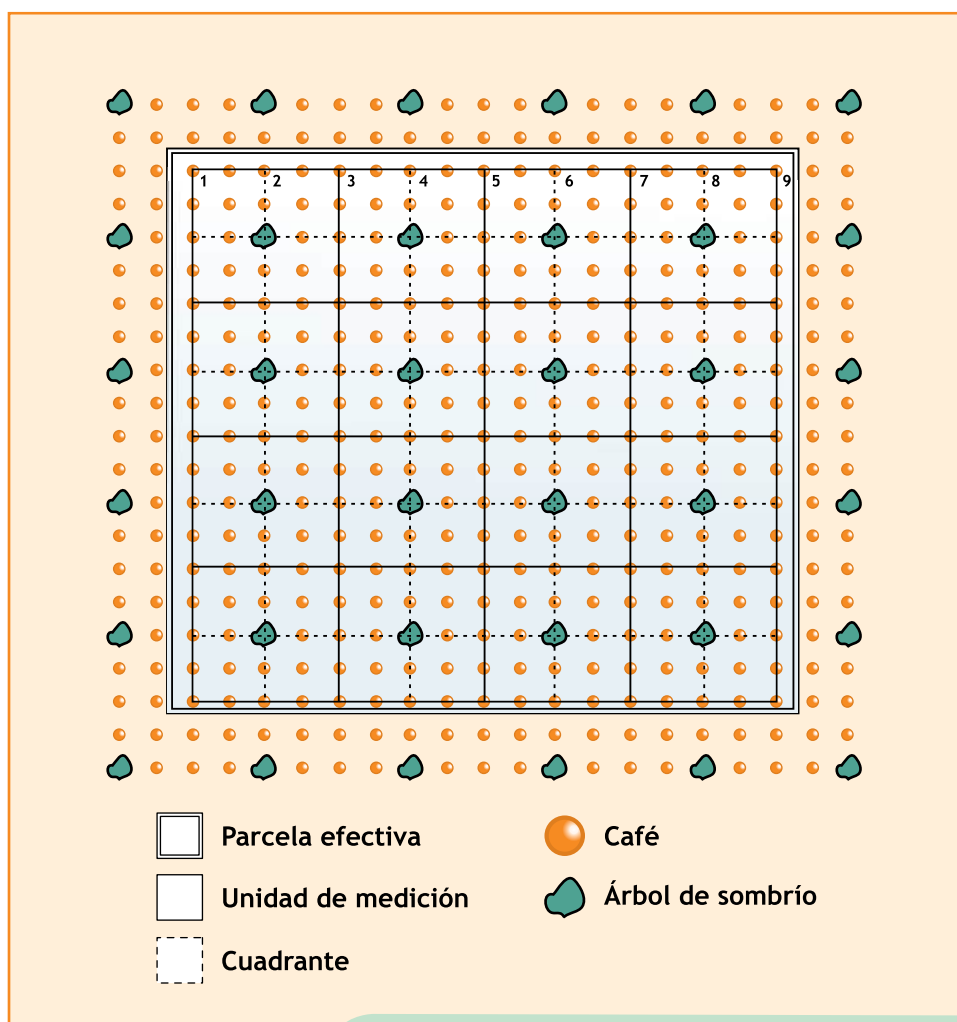


Figura 8.27. Disposición de las plantas de sombrero y café en el campo y numeración secuencial para su medición (Farfán, et al. 2003).

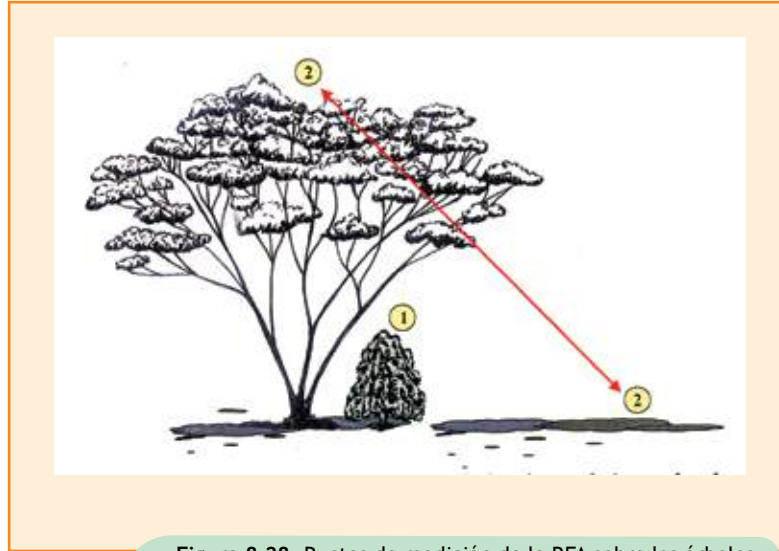


Figura 8.28. Puntos de medición de la RFA sobre los árboles de sombrero y sobre las plantas de café.

En la Subestación Experimental de Pueblo Bello (Cesar), los registros de interceptación de la RFA indican que el nivel de sombrero aumenta con la edad del componente arbóreo. El nivel medio de sombra (1998 a 2001) en que se desarrolló el cultivo del café, fue del 58% con 278 árboles de *Inga*.ha⁻¹, del 50% con 123 árboles.ha⁻¹ y del 34% con 70 árboles.ha⁻¹ (Figura 8.30) (Farfán y Mestre, 2004 b).

b. En el experimento, **Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrero e influencia en la productividad del café**, los componentes de sombrero se establecieron a distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m y el café a 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas.ha⁻¹), en la Subestación Experimental Paraguaicito (Quindío).

Las evaluaciones del porcentaje de interceptación de RFA de cada especie de sombrero, durante el período 1998 a 2001, fluctuaron entre 61,0 y 75,7% con *Cordia alliodora* (Figura 8.31a); entre 29,3 y 69% con *Pinus oocarpa* (Figura 8.31b) y entre 58,7 y 58,5% con *Eucalyptus grandis* (Figura 8.31c) (Farfán y Urrego, 2004).

c. En el experimento, **Efecto del sombrero con especies leguminosas a diferentes densidades de siembra sobre la producción de café**. El estudio se realizó en la Subestación Experimental Pueblo Bello, en cafetales establecidos a 1,5 x 1,5 m, con sombrero de *Erythrina fusca* (cámbulo), *Erythrina rubrinervia* (fríjol rojo), *Inga edulis* (guamo santafereño), *Leucaena leucocephala* (leucaena) y *Albizia carbonaria* (carbonero) establecidos a 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m.

Los porcentajes de sombra en promedio, bajo los cuales se desarrollaron los cafetales en cada subsistema

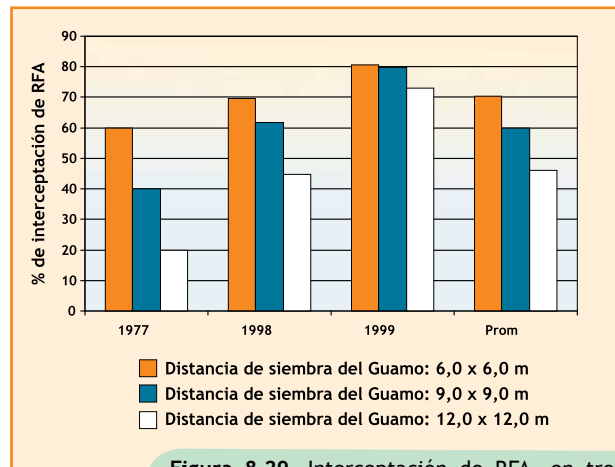


Figura 8.29. Interceptación de RFA, en tres densidades de siembra del sombrero de *Inga edulis*. Estación Central Naranjal, 1997 a 1999.

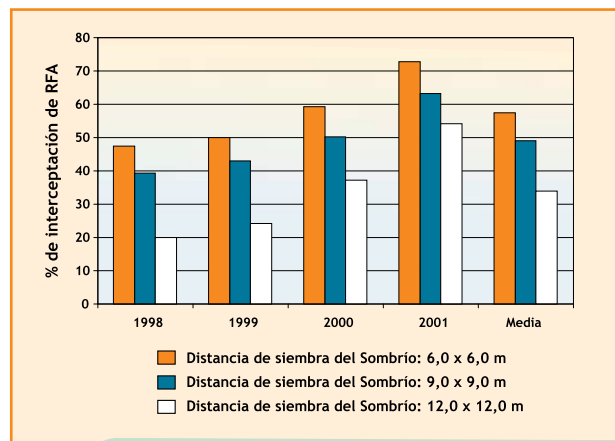


Figura 8.30. Interceptación de RFA, en tres densidades de siembra del sombrero de *Inga* sp Subestación Experimental de Pueblo Bello, 1998 a 2001.

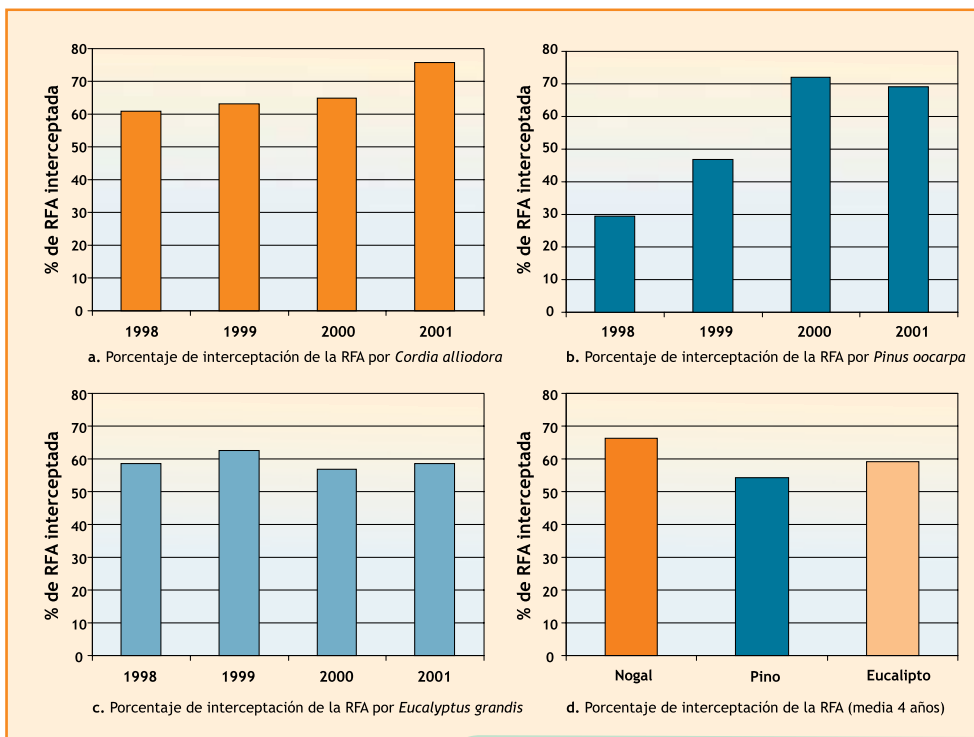


Figura 8.31. Porcentaje de Interceptación de RAF de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis* y *Pinus oocarpa*, empleadas como sombrío en café (Farfán y Urrego, 2004).

(Figura 8.32), fueron: con *E. fusca* del 57,6; 29,9 y 25,3%; con *E. rubrinervia* de 32,2; 25,3 y 20,9%; con *I. edulis* del 60,8; 72,5 y 37,4%; con *L. leucocephala* del 35,5; 29,8 y 24,0% y con *A. carbonaria* del 74,6; 65,6 y 47,0%, para las densidades de siembra de 278, 123 y 70 árboles.ha⁻¹, respectivamente (Farfán, 2003).

¿Cuál es el porcentaje de sombra adecuado para el café?

Existe un efecto negativo directo entre el incremento en la densidad de siembra de los árboles de sombra y la producción de café. Por tanto, la incidencia de la luz es sustancial y debe mantenerse en límites razonables no mayores al 50% (Beer *et al.*, 1998; Vaz, 1967).

Para la producción y comercialización de algunos cafés especiales como los amigables con las aves, los aliados de los bosques y los cafés de conservación, las normas establecen que el café debe cultivarse estrictamente bajo sombra y que el grado de cobertura o de sombrío no debe ser inferior al 40% (Rainforest Alliance, 2004; Smithsonian Migratory Bird Center, 2001).

De acuerdo con investigaciones realizadas por Cenicafé en la Estación Central Naranjal y Subestaciones

Experimentales de Pueblo Bello, Paraguaicito y El Tambo (Farfán y Mestre, 2004 a; Farfán y Mestre, 2004 b; Farfán y Urrego, 2004), se ha podido determinar que al sembrar café con árboles de sombrío, el grado de cobertura o de sombra debe estar entre el 35 y 45%. Porcentajes de sombra por encima del 45% afectan negativamente la producción del café (Tabla 8.3).

¿Cuándo iniciar la regulación del sombrío?

Es importante determinar el momento en que debe regularse el sombrío para mantener los porcentajes de sombra dentro de los rangos óptimos, para evitar la reducción de la producción del café (Siebert, 2002). Para cumplir con este propósito, además de tener presente las condiciones ambientales, de suelos, la arquitectura de las especies arbóreas y la densidad de siembra, entre otros, es fundamental llevar los registros de la producción anual de café y de las evaluaciones de los porcentajes de cobertura del sombrío para establecer las correlaciones entre estas dos variables y determinar el año de inicio del manejo de los árboles de sombra.

Se citan como ejemplos los resultados presentados por Farfán y Mestre (2004 a, 2004 b), en la Estación Central Naranjal (Chinchiná - Caldas) y en la Subestación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar).

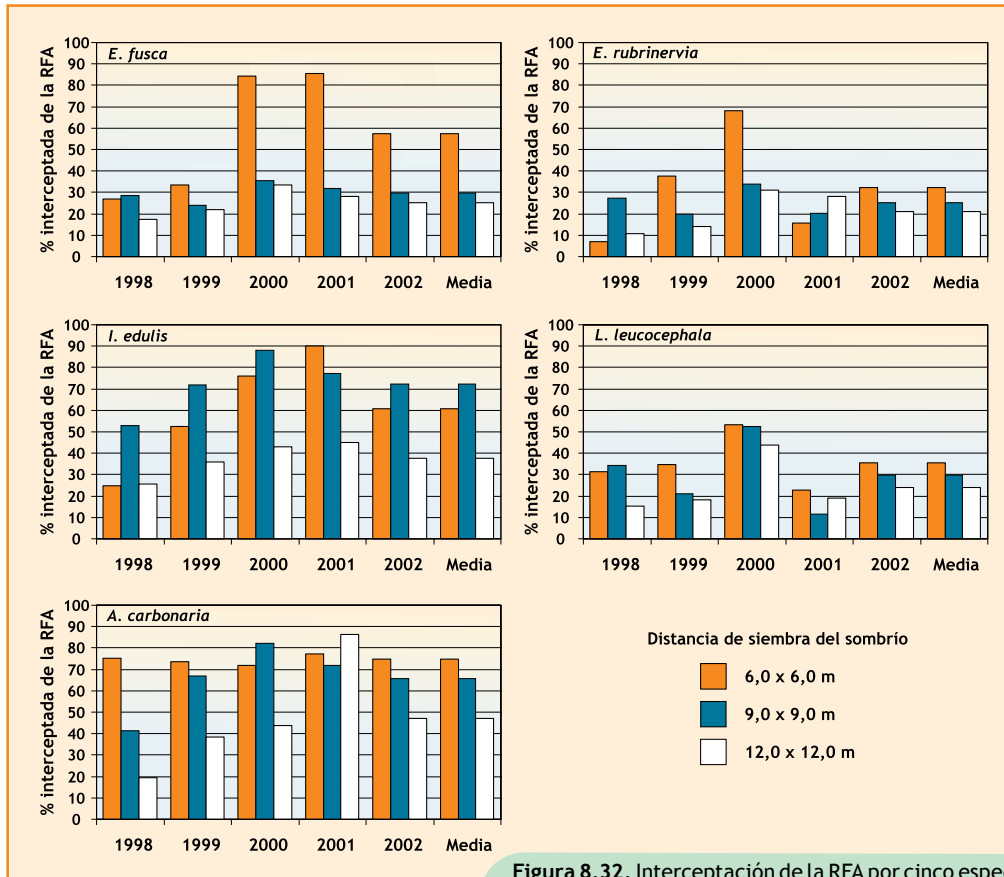


Figura 8.32. Intercepción de la RFA por cinco especies leguminosas, en tres densidades de siembra en el período 2000 a 2001, en la Subestación Experimental de Pueblo Bello (Farfán, 2003).

Tabla 8.3. Comportamiento productivo del café y su respuesta a diferentes grados de sombra con guamo santafereño (*Inga edulis*), en dos localidades de la zona cafetera colombiana (Farfán y Mestre, 2004(a) y 2004 (b)).

Estación Central Naranjal, Chinchiná (Caldas)		
Distancia de siembra del sombrío	Porcentaje de sombra (%)	Producción del cafetal (kg cps.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
Guamo santafereño a 12,0 x 12,0 m	45%	2.419
Guamo santafereño a 9,0 x 9,0 m	60%	1.606
Guamo santafereño a 6,0 x 6,0 m	70%	959
Cambio en la densidad de siembra	Incremento en el % de sombra	Reducción de la producción (%)
Pasar de 70 a 123 guamos.ha ⁻¹	15%	50,0
Pasar de 123 a 270 guamos.ha ⁻¹	10%	67,4
Pasar de 70 a 270 guamos.ha ⁻¹	25%	152,0
Subestación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar)		
Distancia de siembra del sombrío	Porcentaje de sombra (%)	Producción del cafetal (kg cps.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
Guamo santafereño a 12,0 x 12,0 m	34%	1.617
Guamo santafereño a 9,0 x 9,0 m	50%	1.455
Guamo santafereño a 6,0 x 6,0 m	58%	1.026
Cambio en la densidad de siembra	Incremento en el % de sombra	Reducción de la producción (%)
Pasar de 70 a 123 guamos.ha ⁻¹	16%	11,1
Pasar de 123 a 270 guamos.ha ⁻¹	8%	41,9
Pasar de 70 a 270 guamos.ha ⁻¹	24%	57,7

La distribución del sombrío o la luminosidad del café puede resumirse así:

Porcentaje de sombreado			
0%	Menor del 35%	Entre el 35% y 45%	Mayor del 45%
Libre exposición solar	Sombrío ralo o heterogéneo	Sombrío óptimo o adecuado	Sombrío denso u homogéneo

- Estación Central Naranjal.

La Figura 8.33, muestra la producción anual del café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹), con sombrío de *Inga edulis* en tres densidades de siembra (70, 123 y 278 árboles.ha⁻¹), en la Estación Central Naranjal, desde 1996 hasta 1999.

Caramori *et al.* (1995), indican que existe una respuesta cuadrática de la producción de café como una función de la distancia de siembra de los árboles de sombrío. En este estudio, el análisis mediante el ajuste de ecuaciones lineales simples (Figura 8.33), indica que la estabilización y mínima producción del café bajo las tres densidades de siembra del sombrío, como efecto de la nivelación de la sombra en los tres sistemas de siembra evaluados ocurrió al 5° año de establecimiento del sombrío (1999) (Figura 8.33d); y que es en el año 4° de plantados los árboles cuando debe regularse el sombrío, para las condiciones donde se desarrolló el estudio.

- Subestación Experimental Pueblo Bello

En la Figura 8.34, se presenta la producción anual del café en kilogramos de café pergamino seco.ha⁻¹, con sombrío de *Inga sp.*, en tres densidades de siembra, en (a) 1997, (b) 1998, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2001, (f) 2002 y (g) 2003, en la Subestación Experimental de Pueblo Bello.

El análisis mediante el ajuste de ecuaciones lineales simples (Figura 8.34), muestra una reducción de la producción de café cercana al 57,0%, en el subsistema con 70 árboles de *Inga sp* por ha en el año 2000 (Figura 8.34d), y con tendencia a mantener esta producción hacia el año 2001, a pesar de presentarse significancia estadística ($p < 0,05$) al comparar la producción media bajo las tres densidades de siembra del sombrío. Por tanto, se puede inferir, de acuerdo a las condiciones climáticas y a las condiciones en esta localidad que al cuarto año de establecidos los árboles de *Inga sp.* debe regularse el sombrío para evitar reducciones en la producción.

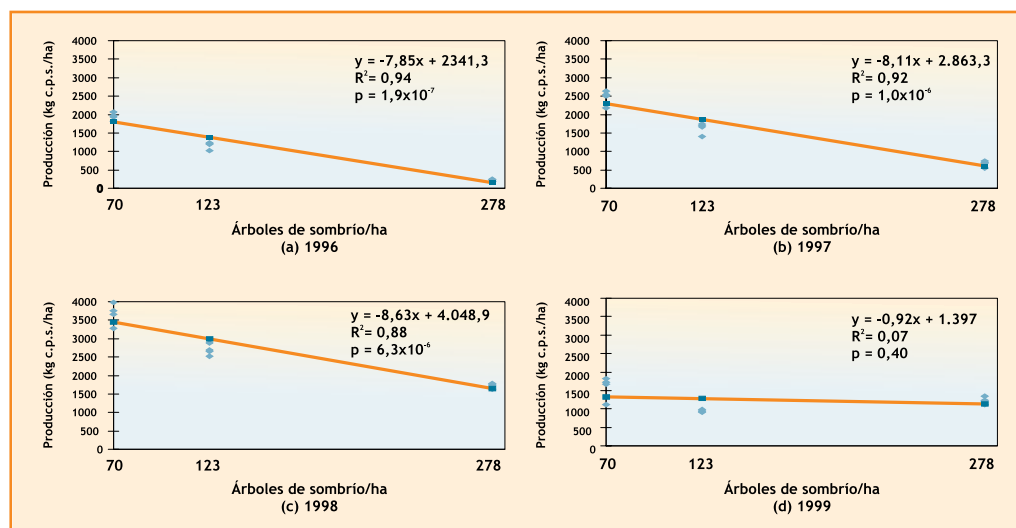


Figura 8.33. Producción anual del café bajo sombrío de *Inga edulis* en tres densidades de siembra. (a) 1996, (b) 1997, (c) 1998 y (d) 1999. Estación Central Naranjal (Farfán y Mestre, 2004(a)).

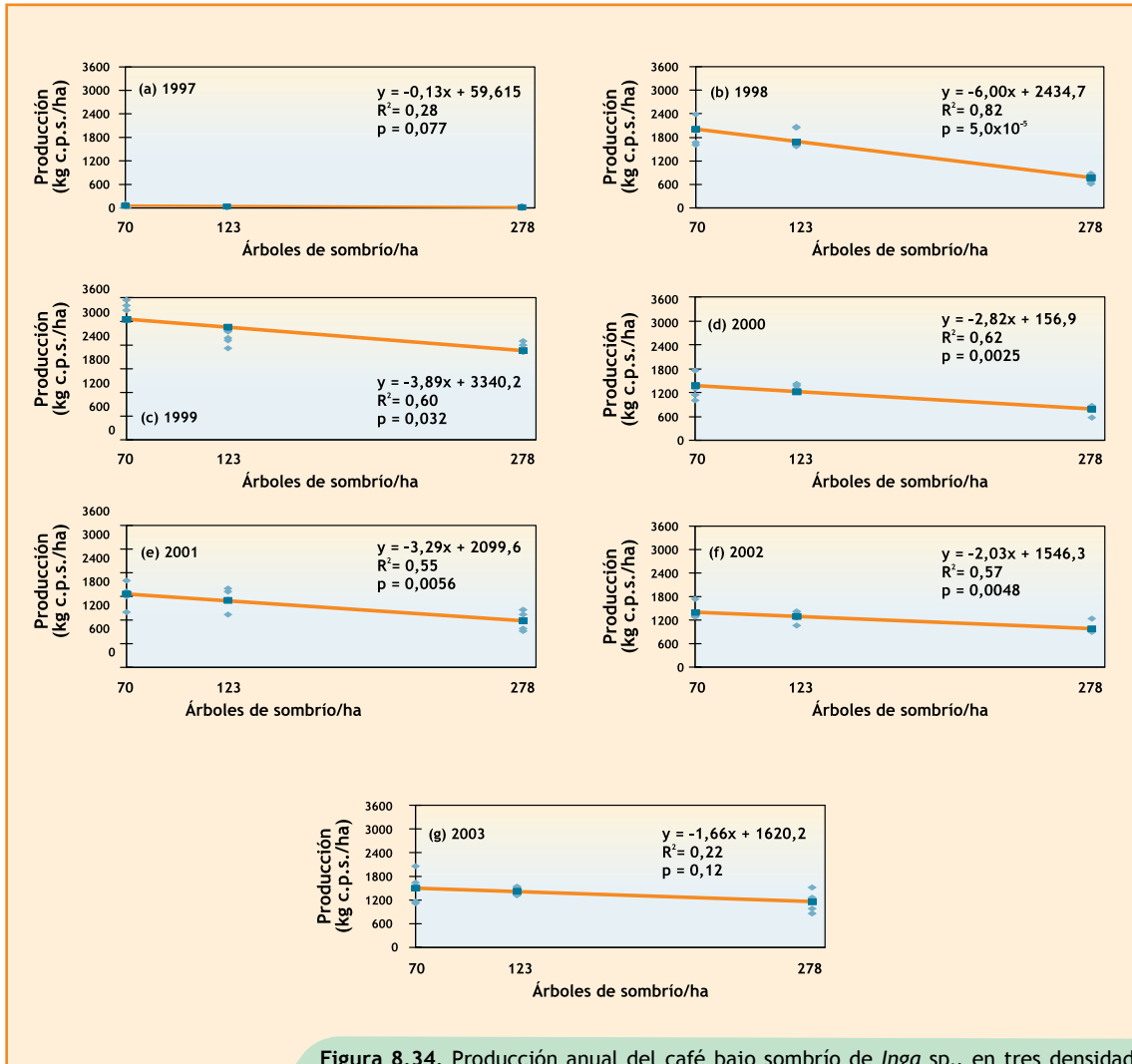


Figura 8.34. Producción anual del café bajo sombrío de *Inga* sp., en tres densidades de siembra en la Subestación Experimental Pueblo Bello. (a) 1997, (b) 1998, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2001, (f) 2002 y (g) 2003 (Farfán y Mestre, 2004(b)).

Efecto de la sombra sobre la producción de café

La fronda o copa de los árboles de sombrío afecta negativamente la cantidad y la calidad de luz disponible para los cultivos. Para café, el límite de sombra aceptable está entre el 40 y el 70%.

La sombra no es universalmente benéfica, y las necesidades de utilizarla están en función del clima. Así mismo, bajo sombrío ocurre una reducción de la producción del café, la cual es compensada con un incremento en la longevidad del cultivo (Beer *et al.*, 1998; Perfecto *et al.*, 1996; Sivetz, 2001; Soto *et al.*, 2000).

Algunos de los resultados obtenidos en Cenicafé en estudios de la producción de café bajo árboles de sombrío se presentan a continuación:

Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes

Sistema agroforestal: Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Inga edulis* (Guamo Santaferenseño)

Estructura: Simple

Arreglos espaciales: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m; 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas. ha⁻¹)

Niveles del fertilizante: 0, 25, 50 y 75% de la dosis recomendada en el análisis de suelos, aplicados al café, para cada distancia de siembra del sombrío

Tratamientos: Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra del componente arbóreo y cuatro niveles de fertilización del café.

Localización: Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas) Subestación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar)

Resultados. En la Tabla 8.4, se presentan los promedios de las producciones de café, en kilogramos de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹, en la Estación Central Naranjal, durante 4 cosechas y Subestación Experimental Pueblo Bello, durante 7 cosechas.

Estación Central Naranjal. Los análisis estadísticos realizados (Tukey al 5%) para comparar los promedios generales obtenidos en los subsistemas 1, 2 y 3 (959,1; 1.605,6 y 2.419,3 kg de café pergamino seco.ha⁻¹), indican que entre los tres hubo diferencia significativa (Tabla 8.4). La máxima producción de café se obtuvo con el sombrío de *Inga edulis* plantado a 12,0 x 12,0 m, con un promedio de producción 50,7% mayor que la obtenida con el componente arbóreo a 9,0 x 9,0 m, y 152,2% mayor que la registrada con esta misma especie sembrada a 6,0 x 6,0 m. La producción media de café con sombrío establecido a 9,0 x 9,0m fue 67,4% mayor que la obtenida con el sombrío plantado a 6,0 x 6,0 m, debido a la reducción de la sombra.

Puede concluirse, que pasar de una distancia de siembra del sombrío de 6,0 x 6,0 m a 9,0 x 9,0 m significa aumentar la producción de café en 67,4% y al ampliarla a una distancia de 12,0 x 12,0 m la producción aumenta en 152%. Pasar de una distancia de 9,0 x 9,0 m a una de 12,0 x 12,0 m significa aumentar la producción en un 50,0% (Farfán y Mestre, 2004 a).

Subestación Experimental de Pueblo bello. La prueba de comparación (Tukey al 5%) de los subsistemas 1, 2 y 3 (1.025,8; 1.455,2 y 1.617,3 kg de café pergamino seco.ha⁻¹, respectivamente), mostró que entre estas tres medias hay diferencias significativas (letras mayúsculas en la Tabla 8.4). La mayor producción se obtuvo con el componente arbóreo establecido con 70 árboles por hectárea, esta producción fue 11,1% más alta que la obtenida con sombrío plantado con 123 árboles.ha⁻¹ y 57,7% superior a la producción registrada con sombrío de 278 árboles.ha⁻¹. La diferencia en producción a 9,0 x 9,0 m vs. 6,0 x 6,0 m fue del 41,9% a favor del primero.

Tabla 8.4. Producción de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹, en las Estaciones Experimentales Naranjal y Pueblo Bello (Farfán y Mestre, 2004(a) y 2004 (b)).

Fertilización	E.C. Naranjal	S.E. Pueblo Bello
Distancia de siembra del sombrío 6,0 m x 6,0 m		
0	948,9 a	1.108,6 a
25%	1.018,0 a	918,6 a
50%	933,8 a	971,7 a
75%	935,8 a	1.104,3 a
Media	959,1 C	1.025,8 C
C. V. (%)	19,0	96,1
Distancia de siembra del sombrío 9,0 m x 9,0 m		
0	1.517,1 a	1.509,6 a
25%	1.635,5 a	1.440,7 a
50%	1.639,7 a	1.305,9 a
75%	1.630,2 a	1.564,6 a
Media	1.605,6 B	1.455,2 B
C. V. (%)	26,5	86,8
Distancia de siembra del sombrío 12,0 m x 12,0 m		
0	2.101,8 a	1.439,6 b
25%	2.487,1 a	1.618,7 b
50%	2.562,6 a	1.443,1 b
75%	2.525,6 a	1.967,7 a
Media	2.419,3 A	1.617,3 A
C. V. (%)	13,4	14,1

* Medias con letra diferente indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%

Pasar de una distancia de siembra del sombrío de 6,0 x 6,0 m a 9,0 x 9,0 m significa aumentar en 41,9% la producción de café, y al ampliarla a una distancia de 12,0 x 12,0 m aumenta la producción en 57,7%. Cuando se pasa de una distancia del sombrío de 9,0 x 9,0 m a una de 12,0 x 12,0 m significa aumentar la producción en un 11,1% (Farfán y Mestre, 2004 b).

Respuesta del café bajo sombra a la fertilización (Mestre, 1996)

Sistema agroforestal: Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Inga edulis* (Guamo Santafereno)

Estructura: Simple

Arreglos espaciales: Zonal o sistemático (12,0 x 12,0 m)

Arreglo espacial del café: 2,0 x 2,0 m (2.500 plantas por hectárea) y 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas por hectárea)

Tratamientos: Niveles del fertilizante: 0, 200, 400 y 600 g por planta.año⁻¹ de un fertilizante completo.

Localización: Estación Central Naranjal

Subestación Experimental Supía (Caldas)

Subestación Experimental El Rosario (Antioquia)

Subestación Experimental Líbano (Tolima)

Subestación Experimental Albán (Valle)

Subestación Experimental Paraguaicito (Quindío)

Resultados. En la Tabla 8.5, se observan los promedio de producción de café en arrobas (@) de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹, en las seis localidades evaluadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Mestre (1996), puede concluirse que en cafetales bajo sombra no se justifica aplicar más de 200 gramos de fertilizante completo del grado 17-6-18-2 por planta y por año (500 kg.ha⁻¹); cantidad con la cual se suministra a las plantas los elementos N, P y K y las dosis similares a aquellas con las cuales se obtuvieron los mejores resultados en la seis localidades del ensayo.

Los resultados obtenidos, hacen referencia a cafetales bajo las mismas condiciones de sombra en las cuales se realizó el experimento. Así mismo, cabe resaltar que la

respuesta del café puede favorecerse con un manejo de la densidad del sombrío en la plantación mediante podas de los árboles, que permitan la recirculación del aire y una mayor penetración de la luz. Además, de promover la formación de nuevo crecimiento vegetativo al intervenir los árboles de café, utilizando los distintos sistemas de poda conocidos.

Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café

Sistema agroforestal: Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Cordia alliodora* (Nogal Cafetero), *Pinus oocarpa* (Pino) y *Eucalyptus grandis* (Eucalipto)

Estructura: Diversa

Arreglo espacial: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas por ha)

Tratamientos: Los tratamientos fueron: (I) Café a libre exposición; (II) café con sombrío de nogal; (III) Café con sombrío de pino y (IV) café con sombrío de eucalipto.

Localización: Subestación Experimental Paraguaicito (Buenavista, Quindío)

Resultados. En la Tabla 8.6 se presenta la producción de café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹), promedio de seis cosechas, en la Subestación Experimental Paraguaicito.

El análisis de producción media de 6 cosechas, de los cuatro tratamientos (2.193,5; 1.337,1; 1.840,1 y 1.865,9 kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹), mostró que no hay diferencia significativa entre las medias de las producciones de café obtenidas bajo cobertura arbórea con nogal, pino y eucalipto; tampoco es evidente esta diferencia entre la media de la producción registrada en café a libre exposición y café bajo cobertura de pino y eucalipto. Hubo diferencia significativa entre el promedio de la producción del café a libre exposición y el café con sombrío de nogal, siendo ésta del 39,0%

Tabla 8.5. Promedio de la producción de café bajo sombrío de *Inga edulis* como respuesta a la fertilización (Mestre, 1996).

Fertilizante g.planta ⁻¹ .año ⁻¹	Promedio de la producción café (@ de café pergamino seco.ha ⁻¹ .año ⁻¹)					
	Naranjal	Albán	El Rosario	Paraguaicito	El Líbano	Supía
0	188	164	208	232	116	90
200	271	211	234	249	142	115
400	284	217	277	266	148	124
600	291	234	293	263	149	132

Tabla 8.6. Producción media de café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹) con sombrío de tres especies forestales y a libre exposición solar en la Subestación Experimental Paraguaicito (Farfán y Urrego, 2004).

Producción	Café a libre exposición solar	Café sombrío <i>C. alliodora</i>	Café sombrío <i>P. oocarpa</i>	Café sombrío <i>E. grandis</i>
Media	2.193,5 a	1.337,1 b	1.840,1 ab	1.865,9 ab

Medias con letra diferente indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%.

a favor del primero, con un promedio de sombra con nogal superior al 60% (Figura 8.22c).

No obstante, si el nivel de sombrío es menor del 60%, como se registró en pino y eucalipto, la reducción en la producción de café con sombra de las dos especies es del 15,5% (1.853,3 kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹), comparada con la de café en monocultivo (Farfán y Urrego, 2004).

Efecto del sombrío con especies leguminosas en diferentes densidades de siembra sobre la producción de café.

Sistema agroforestal: Simultáneo (árboles con cultivos perennes).

Componente arbóreo: *Erythrina fusca* (cámbulo), *Erythrina rubrinervia* (frijol rojo), *Inga edulis* (guamo santafereño), *Leucaena leucocephala* (leucaena), *Albizia carbonaria* (carbonero).

Estructura: Simple (dentro de cada sistema).

Arreglos espaciales: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m).

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas.ha⁻¹).

Niveles del fertilizante: La dosis recomendada en el análisis de suelos, aplicados al café en cada distancia de siembra del sombrío.

Tratamientos: Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra del componente arbóreo y cinco especies leguminosas.

Localización: Subestación Experimental Pueblo Bello.

Resultados. En la Tabla 8.7, se observa el promedio de la producción de café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹), en la Subestación Experimental de Pueblo Bello (6 cosechas) (Cenicafé, 2004).

Con sombrío a 6,0 x 6,0 m, el promedio de la producción en todo el ciclo productivo (1998 a 2003) fue 32,1% mayor con sombrío de *L. leucocephala* en comparación con *E. fusca* e *I. Edulis*. El promedio del porcentaje de cobertura arbórea bajo esta densidad de siembra del sombrío fue del 57,6% con *E. fusca*, 32,2% con *E. rubrinervia*, 60,8% con *I. Edulis*, 35,5% con *L. leucocephala* y 74,6% con *A. carbonaria*.

Con sombrío a 9,0 x 9,0 m, no hubo diferencias estadísticas para el promedio de la producción de café en el ciclo productivo (1998 a 2003). El promedio del porcentaje de cobertura arbórea, fue del 29,9% con *E. fusca*, del 25,3% con *E. rubrinervia*, del 72,5% con *I. Edulis*, del 29,9% con *L. leucocephala* y del 65,6% con *A. carbonaria*.

Con sombrío a 12,0 x 12,0 m, los análisis estadísticos indican que las especies leguminosas empleadas como

Tabla 8.7. Producción media de café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹) durante seis cosechas, con sombrío de cinco especies leguminosas en la Subestación Experimental Paraguaicito (Cenicafé, 2004).

Componente arbóreo	Distancia de siembra del sombrío		
	6,0 x 6,0 m	9,0 x 9,0 m	12,0 x 12,0 m
<i>E. fusca</i>	1.927,1 b	3.269,5 a	2.888,1 a
<i>E. rubrinervia</i>	2.354,1 ab	2.930,8 a	3.682,6 a
<i>I. edulis</i>	1.989,5 b	2.681,3 a	3.002,3 a
<i>L. leucocephala</i>	2.588,6 a	2.630,7 a	2.626,6 a
<i>A. carbonaria</i>	2.504,5 ab	2.809,4 a	2.825,6 a

* Promedios con letras distintas indican diferencias estadísticas según la prueba Duncan al 5%

sombrío no tuvieron efecto significativo sobre la producción de café, en los años 1998 a 2002 ni sobre la media de la producción registrada durante el ciclo productivo (1998 a 2003). El promedio del porcentaje de cobertura arbórea bajo esta densidad de siembra del sombrío fue del 25,3% con *E. fusca*, del 20,9% con *E. rubrinervia*, del 37,4% con *I. Edulis*, del 24,0% con *L. leucocephala* y del 47,0% con *A. carbonaria*.

Análisis de la producción del café, especie de sombrío por distancia de siembra. En la Figura 8.35, se presenta la producción de café bajo una misma especie de sombrío en diferentes distancias de siembra (Cenicafé, 2004).

Erythrina fusca. La producción de café fue 69,7% superior con 123 plantas.ha⁻¹ que con 278 árboles de sombrío.ha⁻¹; para esta misma especie no hubo diferencia estadística entre las producciones de café con densidades de siembra del sombrío de 278 y 70 árboles.ha⁻¹. Con ***Erythrina rubrinervia*** la producción de café fue 56,4% mayor con 70 plantas.ha⁻¹ que con 278 árboles de sombrío.ha⁻¹. Entre las producciones de café con densidades de siembra del sombrío de *E. rubrinervia* a 123 y 278 árboles.ha⁻¹, no hubo diferencias estadísticas.

Inga edulis. Con esta especie la producción de café fue 50,9% superior con 70 plantas.ha⁻¹ que con 278 árboles de sombrío.ha⁻¹; entre las producciones de café con densidades de siembra del sombrío de *I. edulis* con 123 y 278 árboles.ha⁻¹, no hubo diferencias estadísticas.

Con ***Leucaena leucocephala*** y ***Albizia carbonaria***, la producción de café no es afectada por el incremento en la densidad de siembra (de 70 a 278 árboles.ha⁻¹) de ninguna de estas dos especies de sombrío.

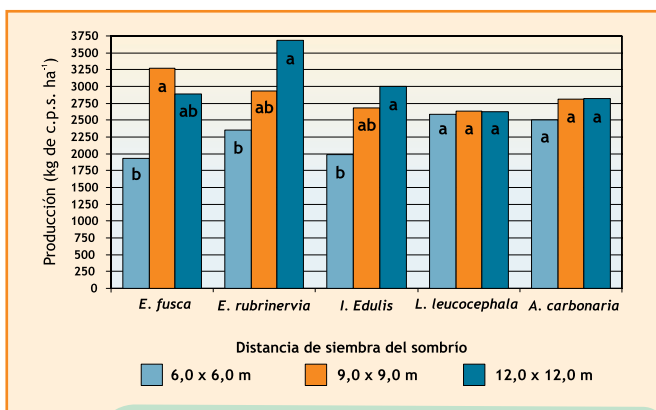


Figura 8.35. Producción del café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹), bajo sombrío de una misma especie en diferentes distancias de siembra (Cenicafé, 2004).

Sombrío transitorio

Efecto del intercalamiento del plátano (*Musa AAB, Simmonds*) c.v. dominico hartón sobre la producción del café (*Coffea arabica*, L.)

Arreglo espacial plátano: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m)

Arreglo espacial del café: 2,0 x 1,0 m (5.000 plantas.ha⁻¹)

Tratamientos: Los tratamientos estuvieron conformados por un factorial 2³, con el Factor A: la fertilización del café, Factor B: intercalamiento de plátano y Factor C: aplicación del mulch de plátano (Tabla 8.8)

Niveles del fertilizante:

Dosis recomendada en el análisis de suelos, aplicados al café en cada una de las distancias de siembra del sombrío

Localización: Subestación Experimental La Catalina (Risaralda)

Respuesta en producción del café a la aplicación de fertilizante, al intercalamiento de plátano y a la aplicación de la biomasa seca de plátano. Los resultados de la producción de café (kg de café pergamino seco.ha⁻¹.año⁻¹), se presentan en la Tabla 8.9. En este estudio el análisis de varianza indicó que las interacciones: Fertilización* Intercalamiento de plátano, Fertilización* Aplicación de mulch, Intercalamiento de plátano* Aplicación de mulch y Fertilización* Intercalamiento de plátano* Aplicación de mulch, no tuvieron efecto significativo sobre la producción de café ni en cada año de evaluación, ni en la producción media de los cuatro ciclos; lo que indica que los factores fueron independientes entre si.

Efecto de la aplicación de mulch de plátano sobre la producción de café. Las diferencias estadísticas se representan con letras minúsculas entre paréntesis en la Tabla 8.9. Los resultados de estos análisis indican que la cobertura vegetal muerta (mulch), producida por el plátano (c.v. Dominico Hartón), no tuvo efecto significativo sobre la producción de café en los años 2000 a 2003, ni en la producción media de las cuatro cosechas de café.

Efecto del intercalamiento de plátano sobre la producción de café. Las diferencias estadísticas se representan con letras minúsculas en la Tabla 8.9. Los resultados de los análisis indican que en los años 2000 a 2003 y en la producción media de cuatro ciclos productivos, hubo efecto del intercalamiento de plátano sobre la producción de café, siendo mayores las producciones en el cafetal solo. La producción media del café sin intercalamiento de plátano fue 28,7% mayor que en el sistema café con plátano y el café sin fertilizar, en los dos casos; esta diferencia fue 25,2% más alta en el

Tabla 8.8. Descripción de los tratamientos resultantes de la interacción de los factores y niveles evaluados.

Nº	Factor	Descripción
01	A ₀ B ₀ C ₀	Café sin fertilizar, sin intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
02	A ₀ B ₀ C ₁	Café sin fertilizar, sin intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch
03	A ₀ B ₁ C ₀	Café sin fertilizar, con intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
04	A ₀ B ₁ C ₁	Café sin fertilizar, con intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch
05	A ₁ B ₀ C ₀	Café fertilizado, sin intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
06	A ₁ B ₀ C ₁	Café fertilizado, sin intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch
07	A ₁ B ₁ C ₀	Café fertilizado, con intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
08	A ₁ B ₁ C ₁	Café fertilizado, con intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch

Tabla 8.9. Producción de café pergamino seco (kg.ha⁻¹.año⁻¹), en cafetales asociados con plátano en la Subestación Experimental La Catalina. Años 2000 a 2003 (Farfán 2005).

Sistemas de cultivo			Media
Café sin fertilización	Café solo	Sin mulch	2.715,1 B a (a)
		Con mulch	3.000,8 B a (a)
	Café // Plátano	Sin mulch	1.877,8 B b (a)
		Con mulch	2.196,3 B b (a)
Café con fertilización	Café solo	Sin mulch	4.319,7 A a (a)
		Con mulch	4.696,2 A a (a)
	Café // Plátano	Sin mulch	3.312,4 A b (a)
		Con mulch	3.434,0 A b (a)

* Valores con letra diferente en las columnas indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%.

café solo si es comparada con el café con plátano y el café fertilizado en ambos casos.

Efecto de la fertilización sobre la producción de café.

Las diferencias estadísticas se representan con letras mayúsculas en la Tabla 8.9. Los resultados indican que la fertilización tuvo un efecto significativo sobre la producción del café, tanto en los años de evaluación 2000 a 2003, como en la producción media de los cuatro años estudiados. El promedio de la producción de café sin fertilizar fue de 2.447,5 kg de cps.ha⁻¹ y la del café con fertilización de 3.940,5 kg de cps.ha⁻¹; los resultados estadísticos permiten inferir que la fertilización incrementó la producción en un 61,0% (Farfán, 2005).

Efecto del sombrío y la cobertura vegetal muerta de especies leguminosas sobre la disponibilidad de agua en el suelo

De acuerdo con Sylvain (1958), Cassol *et al.* (2004) y Bull (1963), la cobertura vegetal producida por los árboles

de sombra y el mulch aplicado pueden tener un efecto benéfico en la conservación de la humedad en el suelo, ya que indirectamente disminuyen la acción del viento y la temperatura de la capa superficial, lo que da como resultado una menor evaporación, además del aporte de materia orgánica. No obstante, en comunidades arbóreas el número de especies y la cantidad de biomasa producida por las plantas es un determinante importante de las características del ecosistema, y estos dos factores dependen en alto grado de la cantidad y la distribución espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas (Breshears y Barnes, 1999).

Algunos autores sostienen que los árboles de sombra también consumen agua por transpiración y por tanto, pueden competir con el café por ese aspecto. Al establecer una relación entre los resultados de los trabajos de Franco (1952) y Franco e Inforzato (1951), en el Brasil, se encuentra que la transpiración de una planta de *Inga* sp. es equivalente a la transpiración de 10 plantas de café. Según Gutiérrez (1958), Sylvain (1958) y Erenstein (2003), se puede aumentar la disponibilidad de agua en el suelo con el mulch y con las prácticas de conservación que disminuyen la velocidad y la energía de escorrentía, y que aumentan la infiltración.

En Cenicafé se desarrolló una investigación en la cual se evaluó el efecto que dos especies leguminosas empleadas como sombrío, así como su producción de “mulch” y su efecto sobre la disponibilidad y la distribución de agua en el suelo

Localización: Subestación Experimental Pueblo Bello
Subestación Experimental El Tambo

Sistema agroforestal: Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Inga edulis* (Guamo Santefereño) y *Erythrina fusca* (Cámbulo) en Pueblo Bello; en El Tambo se empleó la misma especie de *Inga* y *Erythrina poeppigiana* (Písamo).

Estructura: Diversa

Arreglo espacial: Zonal o sistemático (9,0 x 9,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas por ha)

Tratamientos: Los tratamientos sobre el suelo fueron: la siembra del café bajo tres niveles de sombra (café al sol, con sombrío de *Inga* sp. y con sombrío de *Erythrina* sp.) y dos tratamientos de cobertura muerta o mulch (sin y con cobertura vegetal muerta).

Para cuantificar la humedad del suelo se utilizó el sistema de “bloques de resistencia eléctrica (Bouyoucos)”. Se emplearon sensores tipo “Soil Block, Model A-71”, que consisten en un bloque de yeso que contiene dos electrodos localizados en el interior del material poroso; los electrodos que pueden ser cilíndricos, de placas lisas o placas perforadas de metal, van unidos a cables eléctricos, los cuales se entierran en el suelo a diferentes profundidades. El principio de su funcionamiento se basa en la conductividad eléctrica, así cuánto más húmedo el suelo mayor es la conductividad, por ejemplo, un suelo saturado tiene una resistencia que varía entre 440 y 450 ohms, en capacidad de campo el valor es de 650 ohms y cuando está próximo al punto de marchitez permanente es de 25.000 ohms (Challenge Agriculture, 1990).

Para registrar y almacenar la información, se empleó un medidor de corriente alterna “Digital Soil Moisture Meter, Model A-75”, el cual es específico para esta finalidad y donde se conectan los cables que unen los electrodos de los Bloques de resistencia eléctrica: Estos registros son expresados en “Porcentajes de agua en el suelo”

El sistema se instaló en enero de 1998 en cada localidad y en cada unidad experimental a tres profundidades del suelo (20, 40 y 80 cm) y distanciados a 2,25; 3,75 y 4,25 m del árbol de sombrío, cuando los árboles tenían 3,5 años de edad. Una vez instalados los sistemas, se inició el registro de la humedad del suelo cada 10 días, durante tres años.

Se realizaron comparaciones de la humedad volumétrica entre los tratamientos en cada localidad. De acuerdo

con el análisis de varianza y las pruebas de comparación (Tukey 5%), de los primeros 20 cm de profundidad del suelo y durante tres años (Tabla 10).

Al comparar la disponibilidad de agua en suelo bajo cada uno de los tratamientos, en todo el período de evaluaciones (enero de 1998 a diciembre de 2000), se encontró que en la S. E. Pueblo Bello, la mayor probabilidad de deficiencias hídricas pueden ocurrir cuando se cultiva el suelo con café bajo sombrío de *Erythrina fusca* y se aplica al suelo cobertura vegetal muerta; de acuerdo con Bussiere y Cellier (1994), el LAI (Leaf Area Index) del mulch tiene una gran influencia sobre la evaporación y la temperatura del suelo, y que a mayor LAI, por ejemplo de 4,0 se limita la evaporación e intercepta mas precipitación que un LAI de 1,0, lo cual afecta la humedad del suelo. El asocio de café con sombrío, puede producir un descenso en la producción del cafeto como consecuencia de la competencia por luz, agua y nutrientes por parte de los árboles (Nicholas, 1988; Schroth *et al.*, 2001).

Opara y Lal (1987), observaron que la aplicación de mulch en la zona de raíces de *Manihot esculenta* y su incorporación en los 10 primero cm del suelo, forma un “sello superficial” que afecta la tasa de infiltración y por ende, se tiene una menor cantidad de agua disponible en el suelo. Como solución a esta deficiencia, Vicente *et al.* (1969), sugieren que la cobertura muerta en café solo debe aplicarse en algunas áreas cultivadas, en café a libre exposición solar y en períodos de sequía definidos.

En la Subestación Experimental de El Tambo y de acuerdo a los resultados obtenidos se estableció que los árboles de sombrío y la cobertura vegetal muerta no tuvieron efecto sobre la humedad volumétrica del suelo, es decir en SAF con café no se presentaron diferencias hídricas.

En sistemas agroforestales, la cantidad y la distribución espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas, depende en alto grado del número de árboles y de la cantidad de biomasa producida (Breshears y Barnes, 1999).

■ Efecto del sombrío de especies forestales sobre algunas propiedades químicas del suelo

Diversos estudios confirman las bondades de especies leguminosas para ser empleadas como sombrío para el café, pero muy poco o nada se ha estudiado sobre las interacciones biofísicas de sistemas agroforestales los cuales involucran a especies forestales como componente arbóreo, estas especies pueden tener

Tabla 8.10. Comparaciones de la humedad volumétrica (mm), registrada en los tratamientos. Subestaciones Experimentales Pueblo Bello y El Tambo.

Comparación entre tratamientos							
Localidad	1	2	3	4	5	6	C,V,
S. E. de Pueblo Bello	53,7 a	52,7 abc	53,3 ab	52,4 bc	51,7 c	49,4 d	9.0%
S. E. de El Tambo	79,6 a	80,2 a	80,5 a	80,3 a	79,8 a	80,0 a	4.4%

1. Café a libre exposición solar, sin mulch
2. Café a libre exposición solar, con mulch
3. Café con sombrío de *Inga edulis*, sin mulch
4. Café con sombrío de *Inga edulis*, con mulch
5. Café con sombrío de *Erythrina* sp, sin mulch
6. Café con sombrío de *Erythrina* sp, sin mulch

* promedios con letras distintas indican diferencias estadísticas según la prueba Tukey al 5%

potencial biológico y económico para ser empleadas con los mismos propósitos. Son muchas las especulaciones sobre los efectos que estas especies tendrían sobre los suelos y sobre los cultivos; algunos autores como Chang, *et al.* (2002) y Dijkstra (2001), afirman que éstas utilizan toda el agua del suelo, acidifican y esterilizan el suelo, reducen la biodiversidad y son inhóspitas para la fauna, afectando además el clima. Con el propósito de estudiar cómo interactúan los componentes de un sistema agroforestal, café - especies forestales, y su efecto en los cambios químicos del suelo, en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, se estableció un estudio que permitiera analizar estos cambios al plantar el café bajo sombrío de tres especies de valor comercial.

Título de la Investigación: Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de tres especies forestales

Localización: Subestación Experimental Paraguaicito
Sistema agroforestal: Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: Nogal cafetero (*Cordia alliodora*), eucalipto (*Eucalyptus grandis*) y pino (*Pinus oocarpa*)

Estructura: Diversa

Arreglo espacial: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas por ha)

Tratamientos: Los tratamientos fueron la siembra de: (I) Café a libre exposición; (II) Café con sombrío de nogal; (III) Café con sombrío de pino y (IV) Café con sombrío de eucalipto.

Comparación de los requerimiento del café vs. valores encontrados hasta el año 2005 en los sistemas evaluados. Los valores para cada variable evaluada al inicio del estudio (1995) y al final de éste (2005), así como

los rangos óptimos reportados por Valencia y Carrillo (1983) para el café, se comparan en la Tabla 8.11.

Al comparar los valores recomendados y los encontrados en el campo experimental, se observó que:

- El pH disminuye en cualquier sistema de cultivo del café. Al final del período, el pH no es limitativo para la productividad del café y, por el contrario, se mantiene dentro de los rangos óptimos definidos para el cultivo.
- Los valores iniciales de materia orgánica y fósforo, se encontraron por debajo de los rangos óptimos establecidos para el desarrollo del café, condición que no obedece al cultivo del café, sólo o en asocio con las especies forestales, sino a las propiedades químicas naturales de los suelos donde se realizó el estudio.
- Los niveles de potasio en el suelo, al final del período, disminuyeron sus concentraciones significativamente (entre el 42% y 59%), en las parcelas establecidas con café y sombrío de especies forestales, y esta disminución fue más crítica con sombrío de pino, donde los valores de potasio estuvieron por debajo del nivel mínimo establecido para café; condición preocupante, dadas las funciones que este elemento cumple en la planta, entre otras: participa en procesos fotosintéticos (p.e., mayor asimilación de CO₂) y en la formación de glucósidos, mejora la migración de estos hacia los órganos de reserva, lo que influye sobre la calidad del grano; aumenta la elaboración de prótidos a partir del N mineral permitiendo una mejor utilización de los abonos nitrogenados; reduce la transpiración y contribuye a mantener la turgencia celular, dando a la planta cierta resistencia al marchitamiento (Van Noordwijk, 2000; Valencia, 1999).

Tabla 8.11. Condiciones físico - químicas de suelos aptos para café, y condiciones medias registradas después de 11 años en los primeros 30 cm de profundidad del suelo (Valencia y Carrillo, 1983).

Característica	Condición de alerta	Condición apta	Problema aparente	Condición registrada*							
				Café		Nogal		Pino		Eucal	
				Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin
pH (unidades)	4,0-4,9	5,0-5,5	>5,6	5,73	5,50	5,80	5,40	5,70	5,40	5,70	5,30
Materia orgánica (%)	9,0-11,4	>11,5		6,48	6,10	6,53	6,80	6,65	7,30	7,50	6,00
Fósforo (mg.kg ⁻¹)	0,0-6,0	6,0-14,0	>14,0	1,25	10,0	2,50	6,0	1,25	5,0	3,00	5,0
Potasio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0,0-0,29	0,30-0,40	>0,41	0,54	0,58	1,07	0,46	0,45	0,26	1,04	0,43
Calcio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0,0-1,6	1,6-4,2	>4,2	7,95	5,40	7,68	4,80	5,98	4,20	6,10	4,30
Magnesio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0,0-0,5	0,-1,4	>1,4	1,20	1,00	1,28	1,00	0,90	0,60	1,18	0,90
Aluminio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)		0,0-1,0	>1,1	0,10	0,20	0,05	0,30	0,08	0,30	0,05	0,30
C.I.C. (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	2.0-5.0	6.0-10		18,0	17,0	16,5	17,0	18,3	15,0	18,3	19,0

*En los primeros 30 cm de profundidad del suelo y en un período de 10 años

- Las concentraciones de calcio y magnesio disminuyeron en el período de evaluación (10 años), tanto en los suelos establecidos con café como en aquellos con café y especies forestales; sin embargo, al final del período las concentraciones registradas no indicaron limitación aparente para el desarrollo del café.
- Si bien las concentraciones de aluminio aumentaron, éstas en ningún caso llegaron a estar por encima de los niveles máximos tolerables.

Descripción de algunos árboles utilizados como sombrío del café

(Acero, 1985; Cordero *et al.*, 2003; Cenicafé, 2004; Espinal, 1986; Noguera, 1982; Toro, 2000; Vargas, 2002; CONABIO, 2006; Nair, 1980).

• *Inga edulis* (Vell) Mart.

Guamo rabo de mico, guamo santafereño, guajinicuil, guabo, guaba chilillo, mecate, guamo, rabo de mono, guamo churimo, guabillo.

Hábito: Alcanza alturas hasta 30 m.

Tallo: Recto, cilíndrico, con corteza marrón claro.

DAP: 30-60 cm.

Copa: Densa, ancha, aparasolada. Alcanza diámetros de 15 m.

Hojas: Compuestas, de 15 a 25 cm de longitud, de ápice agudo y base obtusa, haz glabro y verde oscuro, con envés pubescente y amarillento.

Flores: Blancas.

Frutos: Legumbres de 40 a 180 cm de largo. Frutos café verdusco, profundamente estriados, carnosos, con numerosas semillas negras en su interior y rodeadas por un arilo blanquecino, algodonoso y comestible.

Otros caracteres: Las semillas no requieren de tratamiento pregerminativo.

Distribución geográfica: Especie originaria de la Amazonía y se distribuye desde los 26° Sur en Brasil y Ecuador, hasta los 10° Norte en Honduras (América Central). Crece desde los 0 hasta los 1.800 m de altitud, en zonas con precipitaciones de 800 a 1.200 mm anuales, con una estación seca de hasta 4 meses y temperaturas de 20 a 26°C.

DE ESTE ESTUDIO SE CONCLUYÓ QUE:

- Para los suelos donde se realizó el estudio, de alta fertilidad natural, las concentraciones de nutrientes observados después de 10 años, a excepción de la parcela en asocio con pino, no afectan las necesidades nutricionales del café.
- Basados en los cambios observados en las concentraciones de las bases cambiables (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), al final del período, se pone de manifiesto que las especies forestales son grandes consumidoras de nutrientes, principalmente de K^+ .
- La solución a esta situación de competencia impuesta por las especies forestales por el potasio, es mantener con ayuda de los análisis de suelos, por lo menos cada dos años, los contenidos del potasio en el suelo en unos niveles que no afecten los requerimientos nutricionales del café.



Figura 8.36. *Inga edulis* (Vell) Mart. Guamo santafereño (Ilustración tomada de Manual del Cafetero Colombiano, 1958. p 218).

Otros usos: Maderable, construcción, artesanal, combustible.

Aspectos etnobotánicos: Es común encontrarla a la orilla de caminos y ríos en formaciones de bosque secundario. Tolera suelos semipermeables y con altos contenidos de aluminio. Especie con abundante floración cada cuatro meses. Fructifica en la estación húmeda. El período óptimo para la recolección de frutos es entre julio y agosto. Los frutos se recolectan directamente del árbol o del suelo. Es difícil de trabajar.

Sistema agroforestal: Se emplea principalmente como sombrío en cultivos perennes, como en café y cacao. Es de fácil germinación por semilla, rápido crecimiento, posee la capacidad de fijar nitrógeno y se adapta a una amplia variedad de suelos incluyendo los ácidos y mal drenados. Su hojarasca produce abundante materia orgánica lo que contribuye al control de arvenses, la transferencia de nutrientes y la conservación de la humedad del suelo. Es un árbol que tiene la capacidad de atraer hormigas que la defienden contra animales herbívoros y tiene la posibilidad de combinarse con otras especies del mismo género, lo que contribuye a la diversidad genética. Además, tiene gran potencial para emplearse como cultivo en callejones, para

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

- Debe establecerse café con árboles de sombrío en zonas donde ocurran deficiencias hídricas en períodos largos, así como en regiones donde el relieve es fuertemente quebrado con pendientes fuertes (>50%), con suelos susceptibles a la erosión, poco profundos y poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad natural. Además que presenten mal drenaje, baja permeabilidad y baja retención de humedad. También es necesario establecer café con sombrío si el objetivo de la producción es la participación en algunos mercados de cafés especiales, por ejemplo: cafés orgánicos, cafés amigables con las aves, cafés aliados de los bosques y cafés de conservación, entre otros.

- Al establecer sistemas agroforestales con café debe tenerse en cuenta: (1) Cuál es el objetivo de plantar árboles de sombrío en el cafetal; (2) Cuál especie arbórea debe establecerse como sombrío; (3) Cuáles servicios y productos se esperan de los árboles; (4) Identificar la características del sitio donde se establecerán los árboles; (5) Establecer en cuáles ambientes se espera mayor beneficio de los árboles de sombrío; (6) Identificar aquellos árboles que se desarrollan bien en las condiciones de la finca; (7) Realizar un listado de las especies a elegir; (8) Planificar las prácticas de manejo de los árboles seleccionados.

- El grado o nivel de sombra depende de parámetros ambientales como la precipitación, las horas luz, la humedad relativa y la nubosidad, entre otros, así como de parámetros edáficos o de la capacidad de competencia por nutrientes y agua, que la especie arbórea pueda tener con el café. En condiciones ideales, el cafetal puede establecerse a plena exposición solar o con un menor número de árboles por hectárea que le proporcionen un menor grado de sombra; sin embargo, en zonas con limitantes para su crecimiento el cafetal requiere de un mayor número de árboles o mayor porcentaje de sombra.

- De acuerdo a la investigaciones realizadas en Cenicafe en la Estación Central Naranjal y las Subestaciones Experimentales de Pueblo Bello, Paraguaicito y El Tambo, ha podido establecerse que al sembrar café con árboles de sombrío, el grado de cobertura o de sombra debe estar entre el 35 y 45%. Porcentajes de sombra por encima del 45% afectan negativamente la producción.

- Es importante determinar el momento en qué debe iniciarse la regulación del sombrío, para mantener los porcentajes de sombra dentro de los rangos óptimos, y así prevenir la reducción de la productividad del café. Cabe resaltar que es el porcentaje de sombra el que afecta la producción del café y no el tipo de sombrío empleado, por tanto, es fundamental tener los registros por año de producción de café y de las evaluaciones de los porcentajes de cobertura para poder establecer las correlaciones entre esta dos variables y determinar el año de inicio del manejo del sombrío.

la producción de leña y para madera de pequeñas dimensiones; plantada en este sistema esta especie ha demostrado ser una de las más adaptables y productivas del género.

Producción de biomasa: El guamo santafereño en asociaciones con café como sombrío y establecido a 12,0 x 12,0 m, pueden aportar cerca de 11,0 t.ha⁻¹.año⁻¹ de materia seca, 199,0 kg de N; 7,7 de P; 48,9 de K; 158 de Ca y 27,3 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de Mg (Cardona y Sadeghian, 2005).

- ***Inga densiflora* (Benth).** Guamo macheto

Hábito: Árbol de 5 a 8 m de altura

Tallo: Recto, ramificado

DAP: 10-20 cm.

Copa: Copa arbórea un poco extendida.

Hojas: Follaje verde oscuro, brillante y denso.

Flores: Blancas .

Frutos: Vainas verdes, anchas, planas y retorcidas de hasta 40 cm de longitud. En el interior poseen semillas negras cubiertas por una carnosidad o arilo blanco que es comestible.

Otros caracteres: La semilla inicia la germinación directamente en el fruto maduro.

Distribución geográfica: Nativa de América tropical, se encuentra en las cordilleras de Colombia en altitudes entre 1.000 y 1.500 m y zonas con temperatura entre 19,5 a 22,5 °C.

Otros usos: Alimenticio, conservacionista, ornamental y maderable.

Aspectos etnobotánicos: Cultivada en el paisaje cultural. Crece bien en suelos profundos, bien aireados y bien drenados. Ha sido una especie apta para la recuperación de suelos y se vende por sus frutos comestibles. Se encontraba asociada a los cafetales como sombrío, pero ha sido desplazada. Son pocos los individuos que se encuentran cultivados.

Sistema agroforestal: En sistemas agroforestales además de ser útil como sombrío para el café, puede establecerse como cortina rompimiento. En sistemas agroforestales cumplen las mismas funciones para este género.

Producción de biomasa: El guamo macheto establecido como sombrío de café a 6,0 x 6,0 m, aporta cerca de 6,0 t.ha⁻¹.año⁻¹ de materia seca, 115,8 kg de N; 3,0 de P; 32,4 de K y 9,0 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de Mg³.

- ***Erythrina poeppigiana* (Walp.) Cook.** Písamo, cachimbo, bucayo, búcaro, cámbulo saivo, cámbulo.

Hábito: Árbol mayor de 20 m

Tallo: Recto y mayor de 10 m.

DAP: 50-100 cm.



Figura 8.37. *Inga densiflora* (Benth). Guamo macheto (Ilustración de Alvaro Fernández, tomada del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). www.darnis.inbio.ac.cr).

Copa: Extendida, follaje denso que alcanza alturas hasta de 30 m

Hojas: Foliolos ovalados con venas prominentes por el envés e impresas en el haz. Hojas alternas trifoliadas.

Flores: Flores rojas. Las flores son como gallitos y en algunas regiones se come a manera de legumbre. Vistosa floración roja lo cual la hace inconfundible desde lejos.

Frutos: Los frutos son vainas de 10 cm de largo que guardan unas seis semillas de color café - rojizo.

Otros caracteres: Espinas en el tallo, inflorescencias péndulas.

Distribución geográfica: Originaria de los Andes tropicales, se encuentra cultivado y espontáneo en altitudes de 600 a 1.400 m y zonas con temperaturas de 20,5 a 24,5°C.

Otros usos: Conservacionista, ornamental, medicinal y maderable.

Aspectos etnobotánicos: Cultivado en el paisaje cultural y espontánea en el lecho de ríos. Su follaje sirve como abono y forraje. Es una especie fijadora de nitrógeno y apta para la recuperación de suelos, además de servir como especie para cercas vivas y sombrío para ganado. La madera es útil para Tablas de pisos. Crece en suelos de textura franco arcillosa a franca, con drenaje regular a algo excesivo. Es poco exigente en

³ Experimento Fit 1710, Subestación Experimental El Tambo; resultados preliminares agosto de 2004 a agosto de 2005.



Figura 8.38. *Erythrina poeppigiana* (Walp) Cook. Písamo (Ilustración tomada de GARIBALDI, C. Department of Botany, University of Panamá, Panamá. www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726)

la fertilidad, se desarrolla también en suelos pobres, arenosos profundos y arcillosos.

Sistema agroforestal: Se emplea en sistemas agroforestales de todo tipo: agrosilvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles. En estos sistemas siempre hay evidencia de una mejora de la fertilidad del suelo tras plantar esta especie. En América Central es una de las especies más importantes para sombra en café y cacao. También es valorada por la producción de abono verde y “mulch”, posee gran tolerancia a podas frecuentes durante largo tiempo, lo que permite ajustar la sombra del cultivo principal. Se usa para intercultivos con frijol y maíz, puede cultivarse en asocio con pasto para la producción de forraje y a la vez de separación de potreros. Se emplea frecuentemente en cercas vivas o como sombra o forraje para el ganado y las cabras. En las plantaciones de café proporciona una sombra homogénea y fácilmente manejable, mejora el crecimiento y la producción de café y reduce el establecimiento de las arvenses.

Producción de biomasa: Como sombrío, el písamo tiene el potencial de producir 39,1 t de materia seca.ha⁻¹.año⁻¹ y transferir al suelo 114,8 kg de N.ha⁻¹.año⁻¹, 51,4 kg.ha⁻¹ de P, 237,0 kg de K y 433,5 y 118,4 kg.ha⁻¹ de Ca y Mg (Fassbender *et al.*, 1988).

- *Erythrina fusca* Willd. Cámbulo, cantagallo, písamo calentano, poró, cachimbo, búcaro.

Hábito: Árbol de 10 a 20 m

Tallo: Retorcido hasta de 5 m.

DAP: 50-100 cm.

Copa: Copa arbórea.

Hojas: Hojas verde-blancuzcas.

Flores: Flores anaranjadas.

Frutos: Los frutos son legumbres o frijoles largos y delgados.

Otros caracteres: Árbol frondoso, con espinas romas en el tallo principal y agudas en las ramas; corteza rojiza con brillo metálico en las partes jóvenes. Se propaga por estacas.

Distribución geográfica: Originario de América tropical y en los lugares donde se encuentra espontáneo forma rodales puros, a lo largo de pantanos y ríos. Crece en zonas con altitudes entre 0 y 1.600 m y temperaturas mayores de 19°C.

Otros usos: Alimenticio, conservacionista y maderable.

Aspectos etnobotánicos: Cultivado en el paisaje cultural y espontáneo en el bosque mixto. Posee frutos negros y las iguanas los consumen en estado tierno, algunas veces rompen el fruto y consumen las semillas. Estas especies vegetales se han recomendado como sombrío para cafetales; en Costa Rica se utilizan las ramas como combustible, haciendo la poda anual y dejando casi a plena exposición el cafetal. Las características espinosas del tronco, dificultan su transporte, aunque se recomienda su propagación por estacas para evitar dicha proliferación.

Sistema agroforestal: En todo el mundo, el uso principal del género *Erythrina* es como árbol de sombra y soporte. Es muy apreciada en América Central como sombra para café y cacao, principalmente



Figura 8.39. *Erythrina fusca* Willd. Cámbulo. (Ilustración tomada de www.fao.org/.../Publicat/Gutt-shel/x55556e0a.gif)

por su adaptación a zonas húmedas donde estos cultivos crecen generalmente. Estudios de reciclaje de nutrientes en café y cacao bajo sombra de esta especie han demostrado su valor en Costa Rica, Brasil y Venezuela, y es preferida frente a otras especies por lo rápido de su establecimiento y la gran producción de biomasa. En Costa Rica, *Erythrina fusca* se usa como soporte de diversos cultivos y en ocasiones como cerca viva. Es una especie promisoría para intercultivos con maíz o yuca, pues retiene las hojas durante la estación seca; además de reciclar nitrógeno, fósforo y potasio de la hojarasca y ramillas. En Colombia, donde tradicionalmente se usa como cerca viva, podría tener potencial como especie agroforestal en zonas con lluvias irregulares.

Producción de biomasa: Plantada en rodales puros a 2,0 x 2,0 m puede producir cerca de 2,7 toneladas. ha⁻¹.año⁻¹ de biomasa y establecida en sistemas agroforestales a 4,0 x 4,0 m puede aportar hasta 30 t.ha⁻¹.año⁻¹ de materia seca.

- *Erythrina edulis* Triana. Chachafruto, balú, sachapuroto, nupo, chaporuto, poroto.

Hábito: Árbol de 5 a 10 m de altura

Tallo: Recto de 1 a 3 m

DAP: 10-20 cm

Copa: Abanicada

Hojas: Anchas

Flores: Rojas

Frutos: Frutos en vainas hasta de 40 cm de longitud. Con semillas suculentas y comestibles

Otros caracteres: Tronco espinoso

Distribución geográfica: Originario de América tropical. Crece espontáneamente y también como cultivo en zonas con altitudes de 1.400 a 2.000 m y temperaturas entre 17 y 20,5°C.

Otros usos: Alimenticio, ornamental y conservacionista.

Aspectos etnobotánicos: Planta fijadora de nitrógeno del aire, y que lo almacena en sus raíces en estructuras nodulares. Esta especie se emplea para la alimentación humana y animal, pues tanto las hojas como los frutos son ricos en proteína. Cortando las hojas bajeras cada cuatro meses, un árbol puede producir 78 kilogramos de cáscara de fruto y 88 kilogramos de semillas por año como explotación comercial.

Sistema agroforestal: Los caficultores siembran esta especie a todo lo largo de cercas o linderos, obteniendo así una cerca viva y una fuente alterna de proteína.

Producción de biomasa: Si se tiene como banco de proteína, sembrado a distancias de 60 x 90 cm, se puede recolectar cada 4 meses un promedio de 70 toneladas de forraje verde.ha⁻¹.año⁻¹.

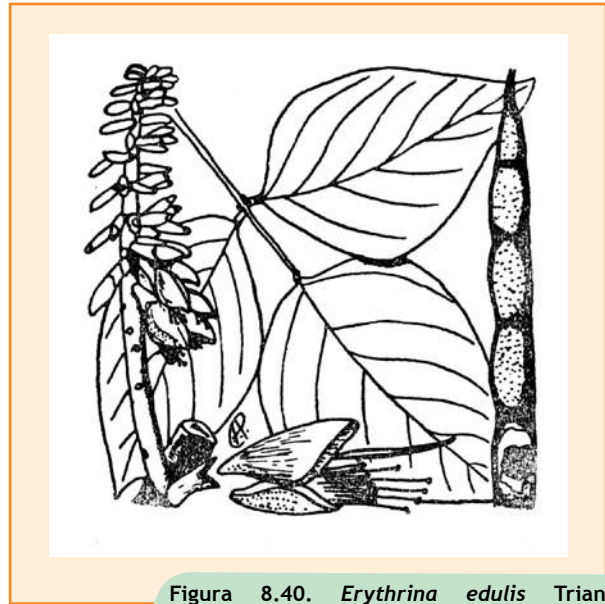


Figura 8.40. *Erythrina edulis* Triana. Chachafruto. (Ilustración tomada de Manual del cafetero Colombiano. FNC, 1958. p 228)

- *Albizia carbonaria* Br. ex Br. & Wilson. Carbonero gigante, guamucho, pisquín, dormilón, bayeto.

Hábito: Árbol de 20 a 30 m

Tallo: Recto mayor de 10 m

DAP: 50-100 cm

Copa: Extendida

Hojas: Ralo, permanente

Flores: Actinomorfas, bisexuales, inconspicuas en inflorescencias.

Frutos: Frutos en legumbres de 8 a 11 cm de largo, anchos, secos y dehiscentes. Posee semillas transversales.

Otros caracteres: Corteza desprendible, madera liviana.

Distribución geográfica: Originaria de Asia tropical. En Colombia se encuentra cultivada y espontánea en zonas entre 700 - 1.700 m de altitud.

Otros usos: Ornamental y maderable.

Aspectos etnobotánicos: Cultivado en paisaje cultural, espontáneo en lechos de ríos y bosque mixto. A pesar de ser nativo de Asia tropical, se ha naturalizado tanto en Colombia que aparecen grandes poblaciones de esta especie en áreas degradadas entre 700-1.700 m de altitud, en suelos pobres y bien drenados. Es exigente en luz. junto con el balso, fue la especie arbórea dominante cinco años después del paso de la avalancha del volcán Nevado del Ruiz.

Sistema agroforestal: La especie es preferida como sombra para café en partes de la zona Occidental de Costa Rica, porque mantiene las hojas en la estación seca, es una leguminosa con alto contenido en nitrógeno en las hojas (4% de la materia seca). En el resto de Sur y Centroamérica se usa como árbol de sombra en pastos para el ganado.



Figura 8.41. *Albizzia carbonaria* Br. ex Br. & Wilson. Carbonero gigante. (Ilustración tomada de Manual del cafetero Colombiano, 1958. p 224).

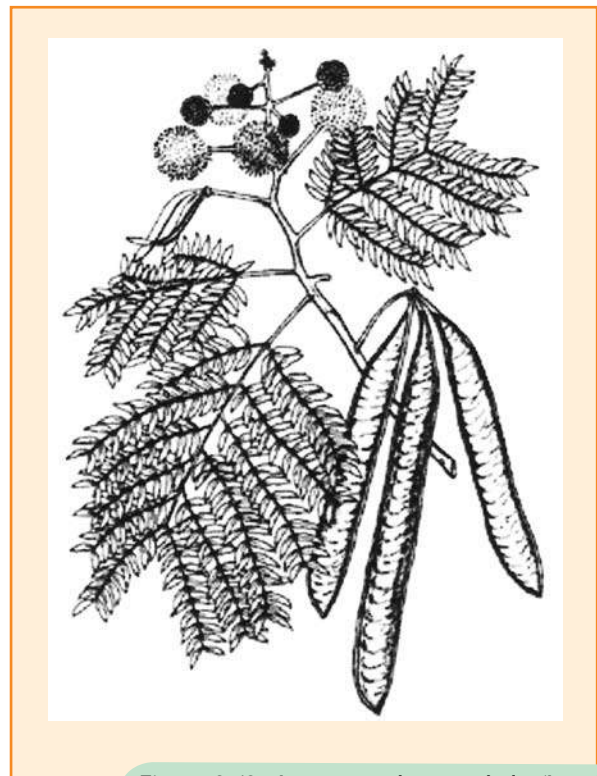


Figura 8.42. *Luecaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Leucaena (Ilustración tomada de www.tropicalgrasslands.asn.au/.../leucaena.gif).

Producción de biomasa: No es una especie productora de una gran cantidad de biomasa, de esta especie se han obtenido a los once meses de edad, hasta 114,5 kg de biomasa verde. Se usa principalmente como sombrío.

- ***Luecaena leucocephala* (Lam.) de Wit.** Leucaena, carbonero blanco, acacia blanca, panelo, tamarindillo, acuna, guaje, yaje, uaxin, lead tree, hediondilla, sarcilla, lino criollo, aroma blanca, aroma mansa, kubabul, lepile, bayani, ipil ipil, lamtora, Vi-Vi, acacia forrajera.

Hábito: Alcanza alturas desde 5 hasta 20 m

Tallo: Corteza lisa o ligeramente fisurada

DAP: 15-40 cm

Copa: Ligeramente abierta y rala

Hojas: Hojas compuestas, bipinnadas y alternas.

Flores: Blancas, suavemente perfumadas.

Frutos: Vainas aplanadas dehiscentes. Los frutos son de 10 a 20 cm de largo por 2 a 2,5 cm de diámetro, verdes cuando están tiernos y se tornan café cuando maduran, poseen de 15 a 25 semillas cada uno.

Otros caracteres: Es una especie de crecimiento rápido. Tiene semillas elípticas, aplanadas, pardo brillantes y germinación epigea. Las semillas son ortodoxas.

Distribución geográfica: Es originaria de América tropical, desde el sur de México hasta Nicaragua. Ha sido introducida desde Estados Unidos hasta América del Sur; en las Antillas desde Bahamas hasta Tobago y en las islas del Pacífico, Filipinas, Indonesia, Papua-Nueva Guinea, Malasia, Africa Oriental y Occidental.

En América Central se encuentran distintas variedades nativas, clasificadas en tres tipos según su hábito de crecimiento: tipo hawaiano, tipo salvadoreño y tipo peruano. Se adapta bien casi desde el nivel del mar hasta los 800 a 900 m, y a sitios con 600 a 2.300 mm anuales de precipitación, con un período seco de 5 a 6 meses. La temperatura óptima para el buen desarrollo de esta especie varía entre 22 y 29°C.

Otros usos: Ornamental, alimenticio, conservacionista y como combustible.

Aspectos etnobotánicos: Es espontáneo en lechos de ríos. La leucaena tolera un amplio rango de suelos, desde rocosos hasta arcillosos. No crece bien en suelos ácidos, ni muy pesados, inundados o sobrepastoreados. Su madera es difícil de secar, tiene una densidad básica de 0,59. Puede utilizarse para fabricar mangos de herramientas (palas, picos, martillos), tableros de partículas y de fibras, puntales para minas, postes para cercas y pulpa para papel. La leucaena es excelente para leña y carbón, con un poder calórico de 4.200 a 4.600 kcal/kg, además produce poco humo. Posee un follaje de alta digestibilidad (60-70%), el cual contiene entre 20 y 25% de proteína, caroteno, vitamina K y otros nutrientes. Es una especie muy prolífica y bajo condiciones apropiadas de clima y suelo, es posible que haya producción de semillas en plantaciones con más de tres años.

Sistema agroforestal: Se cultiva como árbol de sombra para café, a menudo en asocio con *Inga* sp. y *Erythrina* sp. También se emplea como barrera viva, en linderos o como cercos vivos.

Producción de biomasa: La producción de biomasa (peso total de materia seca después de las podas y raleos) es en promedio de 22 toneladas.ha⁻¹.año⁻¹.

- *Cordia alliodora* (Ruíz Pavón) Oken. Nogal cafetero, mo, moho, pardillo, canalete, laurel, solera, nogal, guásimo, vara de humo.

Hábito: Árbol de 30 m de altura

Tallo: Recto y limpio de ramas en un 60-70%. Cuando el árbol es joven, la corteza es de color pardo oscuro, cubierta de líquenes blancos y no muy fisurada. Los árboles adultos poseen un tallo blanquecino y con fisuras.

DAP: 50 a 60 cm

Copa: Copa estrecha y subpiramidal, con ramificaciones por pisos, que se van secando a medida que aumenta la altura.

Hojas: Hojas verde amarillentas y lustrosas.

Flores: De 1 cm de largo y de ancho, con 5 pétalos blancos; cada inflorescencia posee entre 50 y 3.000 flores. Producen néctar y son polinizadas por abejas y otros insectos.

Frutos: En forma de drupa o nuez carnosa.

Otros caracteres: Propagación por vía asexual o por estacas, también es factible reproducirla por medio de cultivo de tejidos. Las raíces son amplias y profundas, bien desarrolladas; en suelos ricos y profundos, desarrolla una raíz pivotante, pero en suelos superficiales o con regular drenaje, éstas son ramificadas.

Distribución geográfica: El nogal es nativo de América tropical, se distribuye desde las Antillas y Sur de México hasta el límite meridional Suramericano, entre los 25° de Latitud Norte, hasta los 25° Sur. En Colombia, se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.900 m, en climas húmedos y muy húmedos. Es común encontrarlo en la zona cafetera, Sur de la Costa Pacífica, Magdalena medio, Nordeste del Chocó, Caquetá y Arauca. Aunque crece en climas secos tropicales, también se desarrolla en los húmedos de 1.500 a 3.000 mm de lluvia al año y con temperaturas entre 18 y 25°C.

Otros usos: Conservacionista, maderable, medicinal y para construcciones.

Aspectos etnobotánicos Los suelos demasiado pisoteados por el ganado, con deficiente drenaje, inciden bastante para un regular desarrollo de esta especie, razón por la cual no es apta para explotaciones silvopastoriles. La madera del nogal es considerada de buen valor comercial. La durabilidad natural varía de alta a muy alta. Es resistente a los hongos causantes de la pudrición marrón y el durámen es altamente



Figura 8.43. *Cordia alliodora* (Ruíz Pavón) Oken. Nogal cafetero. (Ilustración tomada de: BOSHIER D.H. Oxford Forestry Institute, Oxford, U.K. www.rngr.net/Publications/tsm/Folder.2003-07-11.4726).

resistente al ataque de termitas. La madera también puede utilizarse en la fabricación de instrumentos musicales y molduras de fundición.

Sistema agroforestal: El nogal es muy apropiado para plantar en sistemas agroforestales, por tener una copa estrecha, rápido crecimiento, poda natural y producir madera de calidad para ebanistería. Se establece en arreglos agroforestales bajo tres modalidades: en arreglos agroforestales permanentes, como en el caso del asocio con café o cacao; en arreglos agroforestales temporales (tipo taungya), cuando se combina con cultivos agrícolas anuales o semiperennes (maíz, yuca, plátano, banano, caña, arroz, etc); en plantaciones en línea (linderos), para delimitar cultivos como café, práctica común en Risaralda. En sistemas agroforestales con cultivos perennes (café, cacao) no puede manipularse la sombra de un árbol maduro de *C. alliodora* de la misma manera como otro árbol de sombra, dado que no se alcanza para podar y los raleos no son deseables (excepto en los primeros años), por el daño a los cultivos.

Producción de biomasa: En estudios realizados por Urrego y Farfán (2002), el nogal en un sistema agroforestal con café, establecido a 6,0 x 6,0 m produjo en un año 4,0 t de materia orgánica por hectárea y transfirió al suelo 68,0 kg de N, 3,7 kg de P, 39,3 kg de K, 184,5 kg de a y 33,3 kg.ha⁻¹ de Mg.

- *Alnus acuminata* Kuntz. Aliso

Hábito: Hasta 30 m de altura

Tallo: Tronco cilíndrico a ligeramente ovalado

DAP: 35 a 40 cm

Copa: Copa estrecha (angosta) y piramidal (en plantaciones), en bosquetes sucesionales tiene formas irregulares.

Hojas: Hojas con la lámina ovada, de 6 a 15 cm de largo y 3 a 8 cm de ancho, margen agudamente biserrado; el haz y el envés son glabros en la madurez.

Flores: Inflorescencias masculinas en amentos de 5 a 10 cm de largo, generalmente en grupos de tres; las inflorescencias femeninas están conformadas por racimos de tres o cuatro inflorescencias, de 3 a 8 mm de largo en antesis; conos de 11 a 28 mm de largo y de 8 a 12 mm de diámetro.

Frutos: Fruto elíptico a obovado, papiráceo a coriáceo, con el margen alado y estilo persistente. Poseen alas angostas de 2 a 2,3 mm de largo y de 0,2 a 1 mm de ancho, y cuerpo de 1,5 a 3 mm de largo y 1,5 a 1,8 mm de ancho.

Otros caracteres: Corteza lisa o ligeramente rugosa, escamosa en individuos viejos, con frecuencia marcada con arrugas transversales o constricciones circundantes.

Distribución geográfica: *Alnus acuminata* es nativa desde el Norte de México, a través zonas de montaña en América Central (Guatemala, Costa Rica y Panamá) hasta el Norte de Argentina, generalmente a elevada altitud, 1.200 a -3.200 m.

Aspectos etnobotánicos: Coloniza suelos desnudos, expuestos y perturbados, como deslizamientos. Muy sensible a la sequía, por lo que crece en laderas

húmedas, cerca de quebradas y caminos en montañas, normalmente en suelos húmedos a lo largo de cursos de agua y humedales donde forma típicamente densos rodales puros. También se asocia a llanuras de inundación o pendientes de montaña húmedas. Puede adaptarse a climas más secos, aunque aquí se restringe a zonas con abundante humedad del suelo.

Sistema agroforestal: *A. acuminata* es una de las primeras especies utilizadas en sistemas agroforestales tradicionales indígenas. Hoy día se utiliza en la recuperación de suelos degradados. En Colombia y Costa Rica se usa asociado con pasturas y pastos de corte. Puede usarse asociado con otras especies como el ciprés en cortinas rompevientos. En Guatemala y Costa Rica se usa en linderos y como sombra para cafetales. La plantación asociada con maíz y frijón contribuye a reducir el costo de establecimiento de la plantación hasta un 60%, lo cual puede resultar rentable para el productor. Se usa en la protección de cuencas hidrográficas para estabilizar laderas, debido a que posee un sistema radical amplio que le permite crecer en suelos poco profundos. En suelos ácidos se usa para cortinas rompevientos, mejora de pastos, sombra para café, y potencialmente en barbecho.

Producción de biomasa: Se puede encontrar de modo natural como árboles solitarios en potreros en fincas lecheras de altura. En rodales de 30 años en densidades de 30 árboles por hectárea pueden producir cerca de 18,3 t.ha⁻¹ de leña seca y 3,6 t.ha⁻¹ de hojas y ramillas, en total 50 t.ha⁻¹.

• *Pseudosamanea guachapele* (H. B. K.) Harms. Iguá, iguá amarillo, falso samán, naumo, roble amarillo.

Hábito: Árbol mayor de 20 m de altura

Tallo: Fuste recto, mayor de 10 m

DAP: Mayor de 1,0 m

Copa: Abanicada

Hojas: Alternas, bipinadas de 40 a 60 cm de largo. Follaje denso y permanente

Flores: Actinomorfas, bisexuales, inconspicuas en inflorescencia.

Frutos: Secos, dehiscentes. El fruto es una legumbre aplanada de forma lineal y sedoso-tomentosa (pubescencia corta y densa) de color pardo.

Otros caracteres: Madera amarilla. La corteza es de color grisáceo y finamente fisurada.

Distribución geográfica: Nativo de América tropical, crece espontáneo y cultivado en zonas de 0 a 1.300 m de altitud, aunque se ha encontrado hasta los 1.200 m, crece mejor por debajo de los 800 m, en sitios con un nivel freático alto. Prefiere suelos fértiles, pero tolera los infértiles y poco profundos.

Aspectos etnobotánicos: Árbol de crecimiento rápido, se adapta bien a las regiones cafeteras colombianas y es muy valioso por la calidad de la madera ya que tiene resistencia a plagas. En su rango nativo se



Figura 8.44. *Alnus acuminata* Kuntz. Aliso. (Ilustración tomada de: BOSHIER D.H. Oxford Forestry Institute, Oxford, U.K. www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726).

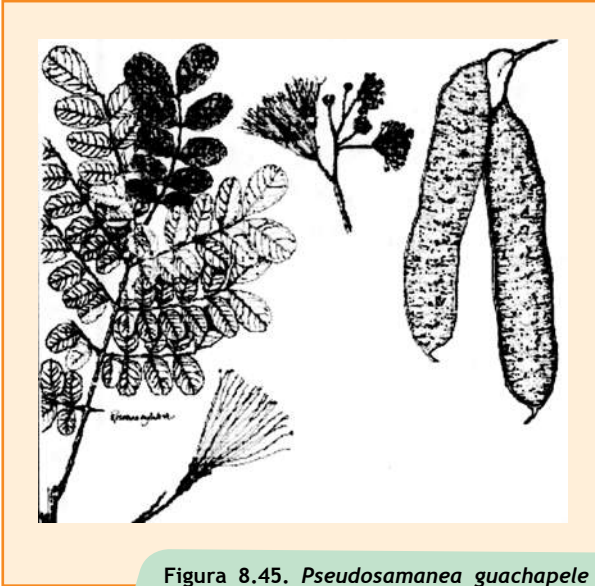


Figura 8.45. *Pseudosamanea guachapele* (H. B. K.) Harmas. Iguá; Iguá amarillo; Falso samán; Naumo; Roble amarillo. (Ilustración tomada de: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. 2003, p 510.)

encuentra en elevaciones bajas en áreas húmedas, subhúmedas y secas, a menudo en bosques de galería y en particular a lo largo de cursos de agua. Es una especie pionera, de rápido crecimiento y muy abundante en bosques secos secundarios. Aunque es heliófita tolera sombra parcial de joven. Es algo resistente al fuego, pero no tolera heladas o suelos pesados con mal drenaje. Es muy sensible a vientos, los cuales afectan mucho su supervivencia, forma y crecimiento.

Sistema agroforestal: Principalmente se da como árboles grandes, extensos y abiertos en pasturas, así como a veces en solares. En Costa Rica se ha usado en plantaciones de pequeña escala (<200 ha) para madera de aserrío y en El Salvador puede encontrarse como árbol de sombra en cafetales. También se ha cultivado en plantaciones puras y mixtas a diferentes espaciamientos y en diferentes lugares.

Producción de biomasa: Las hojas se descomponen rápidamente por lo que pueden usarse también como abono verde para cultivos. Es una especie fijadora de nitrógeno.

Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en la producción de la finca

Jaime arcila Pulgarín - Fernando Farfán Valencia



La nutrición mineral del cafeto

Para la expresión del potencial de un sistema de producción, además del conocimiento de los factores relacionados con los elementos climáticos, los del suelo y el cultivo específico, se requiere de un programa de manejo de la nutrición, adecuado y eficiente, que garantice el suministro de las cantidades de nutrimentos necesarios para mantener una máxima productividad y rentabilidad del cultivo y que además minimice el impacto ambiental.

Con relación al cultivo del café, para el manejo adecuado de la nutrición es necesario un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a las características particulares de su crecimiento, desarrollo y productividad. Como todo organismo vivo, el cafeto tiene un ciclo de vida característico. En el transcurso de este ciclo, es posible distinguir una serie de fases de desarrollo en las cuales la planta permanece por un período de tiempo de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que se presenten en el sitio de cultivo (Gómez, 1977; Jaramillo y Valencia, 1980; Arcila *et al.*, 1993; Salazar *et al.*, 1994; Arcila y Chaves, 1995; Camayo y Arcila, 1997; Arcila *et al.*, 2001). Durante cada una de estas fases, los requerimientos de asimilados y nutrimentos son variables. Particularmente importante es el conocimiento del desarrollo radical de la planta, aspecto que se trató en detalle en los capítulos iniciales (Arcila, 1992).

Desde el punto de vista climático, los programas de manejo de la nutrición deben considerar la distribución de las lluvias, que influye sobre la disponibilidad temporal del agua y ésta a su vez afecta la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo (Jaramillo y Arcila, 1996; Arcila y Jaramillo, 2003). De igual forma en la zona cafetera se presenta una amplia diversidad de suelos y de sus niveles de fertilidad lo que implica una alta variación en la oferta de los elementos necesarios para un óptimo desarrollo del cultivo (Sadeghian, 2003).

Especial atención merece también la nutrición del cultivo cuando se desarrolla en condiciones de monocultivo y a plena exposición solar, caso en el cual las necesidades nutricionales son mucho mayores que cuando se realiza el cultivo en sistemas con sombra (Cardona y Sadeghian, 2005).

El conocer los requerimientos nutricionales de la planta no es condición suficiente para obtener óptimas producciones sino que es necesario además, tener en cuenta los requerimientos según los sistemas de cultivo, las cantidades a aplicar, métodos y épocas de aplicación, fuentes de los nutrimentos a utilizar y además, cómo

afectan las condiciones ambientales la disponibilidad de los elementos, aspectos que se discutirán en el transcurso de este capítulo.

Nutrimentos esenciales y benéficos para la planta

Actualmente se consideran cerca de 21 elementos minerales como esenciales o benéficos para el crecimiento óptimo de las plantas. Una parte de estos elementos los adquiere naturalmente la planta a partir del aire y el agua, otra parte es suministrada por el suelo o artificialmente a través de las prácticas de fertilización (Havlin *et al.*, 1999).

Un nutrimento mineral se considera esencial si cumple tres criterios:

- 1) La planta es incapaz de completar su ciclo de vida si el nutrimento está ausente.
- 2) La función del elemento en la planta no puede ser reemplazada por otro nutrimento.
- 3) El elemento está directamente relacionado con el metabolismo de la planta y no a través de un efecto indirecto como por ejemplo, al actuar como antagonico de un nutrimento presente en cantidades tóxicas.

Los elementos benéficos son aquellos que pueden contrarrestar los efectos tóxicos de otros elementos o suplir el papel de otros nutrimentos en funciones de la planta menos específicas.

Tres elementos, el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O) son suministrados por el aire y el agua y son los más abundantes en la planta. Los demás elementos los toma del suelo o son suministrados en fertilizantes o enmiendas.

Los seis macronutrimentos esenciales, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) los requiere la planta en grandes cantidades. El resto de los elementos minerales en cantidades muy pequeñas (trazas). Siete de estos elementos son los denominados micronutrimentos esenciales entre los cuales se incluyen hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl) y molibdeno (Mo).

Cinco elementos como sodio (Na), cobalto (Co), vanadio (Va), níquel (Ni) y silicio (Si) se consideran como nutrimentos benéficos solamente para algunas plantas. No se conoce ningún requerimiento específico del café en cuanto a estos elementos.

La distinción entre macronutrimentos y micronutrimentos radica solamente en las cantidades necesarias para

suplir los requerimientos de la planta. La concentración de macronutrientes requerida es de 10 a 10.000 veces más que la de micronutrientes (Havlin *et al.*, 1999).

¿Cómo consiguen las plantas los nutrientes esenciales?

Los elementos como el carbono, hidrógeno y oxígeno no son considerados como nutrientes minerales, pero son fundamentales ya que a partir de ellos se construyen los componentes orgánicos esenciales para la supervivencia de la planta como los azúcares, grasas, ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas, entre otros. Estos elementos se incorporan en la planta a través del proceso fotosintético que ocurre principalmente en las hojas. A través de este proceso, la planta utiliza la energía radiante y el agua (H₂O) para convertir el gas carbónico (CO₂) en carbohidratos. Estos carbohidratos (azúcares) suministran la energía metabólica necesaria para el crecimiento y el desarrollo de la planta (Havlin *et al.*, 1999, Marschner, 1995).

Los demás elementos esenciales (macro y micronutrientes) los obtiene la planta principalmente del suelo o del medio de crecimiento y son incorporados básicamente a través de las raíces y transportados al resto de la misma por medio de pequeños tubos o vasos conductores conocidos como xilema.

Las plantas también pueden adquirir nutrientes a través de las hojas; sin embargo, solamente se pueden suministrar cantidades limitadas de nutrientes a través de aplicaciones foliares. Estas aplicaciones pueden ser efectivas especialmente para corregir o prevenir temporalmente deficiencias de algunos nutrientes (Swietlik y Faust, 1984).

Proceso de absorción de los nutrientes presentes en el suelo

En general se puede decir que la toma de nutrientes por la planta desde el suelo comprende los siguientes aspectos: 1) intercambio de iones en el suelo, 2) difusión de iones en la solución del suelo, hasta las raíces, 3) absorción de iones por la raíz (movimiento a corta distancia), 4) transporte de iones en la planta (movimiento ascendente, movimiento a larga distancia), 5) asimilación y utilización de los iones absorbidos (Havlin *et al.*, 1999).

Intercambio de iones en el suelo.

El intercambio iónico es un proceso reversible por medio del cual un catión o un anión que está adsorbido en la fase sólida del suelo, se intercambia con otros cationes o aniones presentes en la fase líquida. El intercambio de iones en el suelo ocurre sobre las superficies de las arcillas minerales, compuestos inorgánicos, materia orgánica y raíces. El ion específico asociado a estas superficies depende de la clase de minerales presentes y de la composición de la solución del suelo. Si dos fases sólidas entran en contacto, también pueden intercambiar iones entre sus superficies. Para la nutrición de la planta generalmente se considera como más importante el proceso de intercambio de cationes (CIC), ya que la capacidad de intercambio de aniones (CIA) de la mayoría de los suelos agrícolas es muy pequeña en comparación con la capacidad de intercambio de cationes (Brady y Weil, 2000, Havlin *et al.*, 1999).

Movimiento de iones del suelo hasta las raíces

Para que los iones puedan ser absorbidos por las raíces deben ponerse en contacto con la superficie de ésta. Hay tres mecanismos por medio de los cuales los iones se hacen disponibles a las raíces: 1) interceptación por la raíz, 2) difusión de iones en la solución del suelo y 3) movimiento de los iones en masa con la solución del suelo (Havlin *et al.*, 1999).

Interceptación radical: Su importancia como mecanismo de absorción de iones es mayor a medida que nuevas raíces crecen a través de la masa del suelo y ocurren las infecciones micorrízicas. A medida que el sistema radical se desarrolla y explora el suelo, la solución del suelo y las superficies que retienen los iones adsorbidos se exponen a la masa radical y se lleva a cabo la absorción de estos iones por un mecanismo de intercambio por contacto. Algunas plantas pueden explorar mejor el suelo para obtener nutrientes y agua, porque poseen sistemas radicales más grandes y finamente ramificados. La interceptación de nutrientes también puede ser mejorada por micorrizas cuyas hifas actúan como extensiones del sistema radical ampliando así las superficies de contacto.

Flujo masal: Ocurre cuando los nutrientes y otras sustancias disueltas se transportan en el flujo de agua hacia la raíz, como resultado del consumo transpiratorio. Algún flujo masal también ocurre en respuesta a la evaporación y percolación del agua del suelo. Las cantidades de nutrientes que alcanzan las raíces por flujo masal son determinadas por la tasa de flujo de agua o por el consumo de agua por la planta y el contenido

de nutrimentos en la solución del suelo. A medida que se disminuye la humedad del suelo, disminuye el flujo de agua y nutrimentos hacia las raíces. Si disminuye la transpiración merma el movimiento de nutrimentos por flujo masal.

Difusión: Ocurre cuando un ion se mueve de un punto de alta concentración a uno de baja concentración. A medida que la planta absorbe nutrimentos de la solución que rodea las raíces, se inicia un gradiente que causa la difusión de iones hacia la raíz. Las raíces al absorber los nutrimentos de esta manera, crean un vertedero al cual se difunden estos. Un alto requerimiento de la planta o un alto poder de absorción de la raíz resultan en un vertedero muy fuerte o en un gradiente de difusión muy alto, favoreciendo así el transporte. La mayoría del fósforo y del potasio se mueven a la raíz por difusión. Tres factores principales favorecen la difusión de los iones a la raíz: El coeficiente de difusión, la concentración del ion en la solución y la capacidad amortiguadora de la fase sólida del suelo, para el respectivo ion, en la solución del suelo. De estos factores el más importante es el coeficiente de difusión pues controla qué tan lejos se pueden difundir los iones a la raíz. Para un espaciado determinado de las raíces en el suelo, el coeficiente de difusión determina la fracción de los nutrimentos en el suelo que pueden alcanzar la raíz durante un período específico del crecimiento de la planta. La difusión es altamente sensible a la temperatura y a la humedad del suelo. La planta experimentará dificultades para obtener agua y iones minerales si hay una limitación en la cantidad de raíces, por bajas temperaturas del suelo y por deficiencia hídrica.

Absorción de iones por la raíz (movimiento a corta distancia)

Desde el punto de vista de la nutrición de la planta, la estructura de la célula vegetal es de gran importancia ya que en su organización se presentan dos rasgos característicos que afectan la adquisición y absorción de nutrimentos: la pared celular y las membranas (Marschner, 1995).

La pared celular le proporciona a la célula resistencia mecánica y es permeable a la mayor parte de los compuestos, desde proteínas muy grandes hasta agua y iones inorgánicos. El transporte de iones a través de la pared celular se lleva a cabo principalmente por difusión y se suele denominar como transporte pasivo.

Por su parte, la membrana plasmática o plasmalema es una barrera de permeabilidad entre la célula vegetal y su medio ambiente; además, al interior de la célula se encuentran otras membranas que dividen la célula en una serie de compartimentos de características

particulares cada uno, como el citoplasma, la vacuola, el cloroplasto, la mitocondria, los peroxisomas, entre otros. Toda membrana está compuesta en su mayor parte por proteínas y lípidos. Las membranas biológicas son totalmente permeables a moléculas pequeñas no cargadas como agua y oxígeno, ya que estas moléculas poseen una alta solubilidad en lípidos y pueden pasar a través de la capa lipídica que poseen las membranas. Por el contrario, moléculas más grandes sin carga como la sacarosa, o moléculas cargadas como los iones inorgánicos, o ácidos orgánicos, no pueden atravesar la capa lipídica y su paso a través de ella se efectúa por medio de canales o transportadores de los que cada membrana posee un juego característico; este tipo de transporte se denomina como transporte activo. Debido a que las concentraciones de iones son mayores al interior que por fuera de la célula, el transporte de iones a través del plasmalema es estrictamente contra un gradiente electroquímico y por consiguiente, requiere de energía derivada del metabolismo celular. La naturaleza del compuesto transportador no se conoce pero es muy probable que esté directamente conectado con proteínas o que el mismo sea una proteína. El transporte activo de iones es también un proceso selectivo, de forma que iones específicos, son transportados a través del plasmalema por transportadores específicos (Marschner, 1995; Taiz y Zieger, 2002).

Los iones penetran a las células de los tejidos radicales y luego se movilizan hasta los vasos conductores del xilema para ser transportados al resto de la planta. Cuando una célula epidérmica de la raíz absorbe un ión, antes de llegar al xilema, éste debe atravesar primero la epidermis, varias células corticales, la endodermis y por último el periciclo. Se han considerado dos rutas para la absorción de solutos a través de la raíz: una es la ruta simplástica (por dentro de la célula, también denominada espacio interno o simplasto) en la cual, los solutos entran en una célula de la epidermis y se mueven de célula a célula hasta el xilema, a través de unos orificios llamados plasmodesmos (canales de membrana llenos de agua que atraviesan las paredes celulares). La otra ruta es la apoplástica (por fuera de las células, también denominado espacio externo, espacio libre aparente o apoplasto), en la cual los solutos se difunden a través de las paredes y espacios intercelulares de las células adyacentes sin ser captados por ninguna célula hasta llegar a la endodermis, en donde se interrumpe su transporte por la presencia de la banda de Caspari que consiste en depósitos de suberina entre las células endodérmicas y que es impermeable incluso para los solutos y los iones pequeños. Para superar esta barrera y llegar al xilema, los solutos deben penetrar a una célula y luego continúan su movimiento de célula a célula por los plasmodesmos (Marschner, 1995; Taiz y Zieger, 2002).

Transporte de iones dentro de la planta (movimiento ascendente, movimiento a larga distancia)

Cualquiera que sea la ruta desde el suelo, a través de la raíz, hasta el xilema, los iones que se transportan hacia la parte aérea deben entrar hasta las células muertas de conducción del xilema: los vasos y las traqueidas. Esto implica una transferencia desde las células vivas del periciclo o del xilema. La liberación de los iones al xilema ocurre a través de mecanismos activos.

El transporte a larga distancia por el xilema tiene lugar principalmente en vasos no vivos. Este transporte es impulsado por el gradiente de presión hidrostática (presión radical) y por el gradiente de potencial de agua creado por la corriente transpiratoria, el cual es muy pronunciado durante el día cuando los estomas están abiertos, y sigue este patrón: atmósfera > hojas > xilema > raíz > solución del suelo. Un incremento en la tasa de transpiración aumenta la toma y la translocación de minerales en el xilema. El flujo de solutos de la raíz al ápice es unidireccional. Aunque el mecanismo predominante en el xilema es de flujo masal en los vasos muertos (apoplasma), ocurren interacciones entre los solutos y las paredes de los vasos y las células del parénquima que lo rodean. Las mayores interacciones son adsorción por intercambio de cationes polivalentes y reabsorción de elementos minerales y la secreción de compuestos orgánicos por las células vivas contiguas del parénquima del xilema y floema (Marschner, 1995; Taiz y Zieger, 2002).

El efecto de la transpiración sobre las tasas de absorción y translocación de nutrientes depende predominantemente de los siguientes factores: edad de la planta (ejemplo: cantidad de follaje), hora del día (mayor en el día), concentración externa (a mayor concentración mayor tasa de absorción), concentración interna (a mayor concentración mayor tasa de translocación), tipo de elemento (existe un rango típico, moléculas no cargadas son transportadas más rápido). El transporte a larga distancia de un elemento mineral en el xilema debe resultar en una distribución característica de este elemento en los diferentes órganos de la planta (Marschner, 1995; Taiz y Zieger, 2002).

Absorción foliar de nutrientes. Los estomas son los sitios de intercambio de gases (CO_2 , O_2) con la atmósfera. Elementos minerales en la forma de gases como SO_2 , NH_3 , NO_3 también entran a las hojas por los estomas. En plantas acuáticas las hojas son los sitios de absorción de minerales. En las plantas terrestres, la toma de solutos por la superficie foliar y otras partes es severamente restringida por la pared externa de las células de la epidermis. Esta pared está cubierta por una capa de cera y cutina (semihidrofóbica) y contiene además pectina,

hemicelulosa y celulosa (Swietlik, 1984; Marschner, 1995; Taiz y Zieger, 2002).

La cutícula funciona como un intercambiador de cationes muy débil atribuible a la carga negativa de los materiales pécticos y los polímeros no esterificados. Existe un gradiente característico de baja a alta densidad de carga desde la superficie externa de la hoja hacia la pared celular; la penetración de iones es favorecida a través de este gradiente. El movimiento de solutos a través de la capa cuticular se lleva a cabo en cavidades o canales llamados ectodesmas (Freire *et al.*, 1981).

Así como las raíces, las hojas absorben los nutrientes desde el apoplasma y esta absorción es afectada similarmente por factores externos como la concentración y carga del ion del nutriente, la temperatura, y factores internos como la actividad metabólica. La tasa de absorción disminuye generalmente con la edad de la hoja (Marschner, 1995).

La aplicación foliar de nutrientes por aspersión ofrece una manera de suministrar nutrientes en forma más rápida que la aplicación edáfica. Este suministro es sin embargo temporal y puede tener varios problemas: bajas tasas de penetración, especialmente en hojas con cutículas gruesas, escorrentía de las superficies hidrofóbicas, lavado por lluvia, secado rápido de la solución, tasa limitada de retranslocación de ciertos nutrientes como el calcio, sólo se puede aplicar una cantidad limitada de macronutrientes, y daño a las hojas (Swietlik, 1984, Freire *et al.*, 1981).

La aspersión foliar puede ser de utilidad práctica en los siguientes casos: baja disponibilidad de nutrientes en el suelo (Fe en suelos calcáreos, Mn en suelos con pH alto y MO alta, Mo en suelos minerales ácidos); capa superficial del suelo muy seca; disminución de la actividad de raíces durante el estado reproductivo; aumento del contenido de proteínas en cereales; aumento del contenido de calcio en frutos para prolongar su vida de almacenamiento (Havlin *et al.*, 1999).

Utilización de iones por la planta

Los nutrientes esenciales adquiridos por la planta son incorporados a su metabolismo para desempeñar diversas funciones las cuales se pueden resumir en dos categorías (Marschner, 1995; Taiz y Zieger, 2002).

Nutrientes constituyentes de la planta. Son aquellos que al ser asimilados se hacen parte integral de compuestos químicos esenciales para el metabolismo o que son utilizados en la construcción de la estructura de la planta como los azúcares, proteínas, celulosa, paredes celulares, lípidos, membranas, entre otros. En este grupo se incluyen los siguientes macronutrientes:

carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

Nutrientes con funciones bioquímicas de regulación.

Son aquellos elementos que actúan como iones o pequeñas moléculas para ser donantes de energía, receptores, agentes tampón, agentes osmóticos, cofactores o mensajeros y su función afecta los procesos bioquímicos o fisiológicos de la planta. En este grupo se incluyen los macronutrientes fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y los micronutrientes hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), y molibdeno (Mo).

La capacidad de la planta para asimilar y utilizar los nutrientes minerales para su crecimiento y desarrollo, se denomina “nutrición”. El estado de nutrición de las plantas depende de numerosos factores relacionados con el suelo, el clima y el tipo de planta (especies y variedades) y puede clasificarse así (Havlin *et al.*, 1999, Taiz y Zieger, 2002):

- **Deficiente:** Cuando la concentración de un elemento esencial es tan baja que limita en forma severa la producción y causa síntomas de deficiencia más o menos característicos. En caso extremo de su deficiencia, la planta muere. Si hay una deficiencia ligera, aunque no se presenten síntomas visibles, la producción se reducirá.
- **Rango crítico:** Concentración del nutriente por debajo de la cual ocurre una respuesta en producción al aplicar el nutriente. Los niveles o rangos críticos varían según la planta y el nutriente pero se ubica en algún punto entre los niveles de deficiencia y suficiencia.
- **Suficiente:** Cuando el nivel del elemento esencial en la planta es adecuado para una producción óptima y no se obtiene respuesta en producción al aplicarlo, aunque se aumente su nivel en la planta.
- **Excesivo o Tóxico:** Cuando la concentración de un elemento esencial o de otro es lo suficientemente alta para reducir severamente el crecimiento y la producción. Una toxicidad severa dará como resultado la muerte de la planta. Cuando el nivel de un elemento esencial es excesivo puede causar desbalance en otros elementos y reducir la producción.

Manejo de la nutrición edáfica en la producción de café en Colombia

Un programa de nutrición eficiente debe permitir suministrar a la planta los nutrientes minerales

suficientes para mantener producciones altas y rentables y con un mínimo efecto en el deterioro ambiental. Una nutrición inadecuada de la planta que limite la producción, puede traer consecuencias económicas y ambientales severas. Para asegurar una óptima disponibilidad de nutrientes a través de prácticas efectivas de manejo de los nutrientes se requiere conocer muy bien las interacciones entre el suelo, la planta y el ambiente.

Características del suelo

Básicamente, el suelo es un medio de enraizamiento y un sitio de almacenamiento de agua y nutrientes. Por esta razón es esencial facilitarle a la planta que desarrolle sus raíces tanto lateralmente como en profundidad para que exploren suficientemente el suelo y extraigan de éste el máximo de nutrientes y también es necesario además que el suministro de agua sea el adecuado (Suárez de Castro, 1953; Arcila, 1992; Jaramillo y Arcila, 1996; Suárez, 2000).

Una apropiada fertilización asegura no solamente un buen desarrollo de la parte aérea sino también un mayor desarrollo y vigor del sistema radical. Las aplicaciones de nitrógeno y fósforo son especialmente útiles para este fin. Otros elementos se aplicarán de acuerdo con las necesidades del cultivo (Havlin *et al.*, 1999).

Debido a que el café se cultiva en diferentes tipos de suelos, no es posible manejar su nutrición a través de una recomendación generalizada, por lo cual es necesario asesorarse de un técnico y recurrir a los análisis de suelos. Los análisis de suelos son una herramienta muy importante para determinar los niveles de los nutrientes en cada suelo y las cantidades y fuentes de fertilizante o enmiendas que deben aplicarse (Valencia *et al.*, 1990; Valencia, 1992; González *et al.*, 2003; Sadeghian, 2003).

Características de la planta

La cantidad de nutrientes que requiere el cultivo varía con la edad y su estado de desarrollo. Desde el punto de vista de manejo de la nutrición, en el caso del café, se pueden considerar las siguientes etapas de desarrollo de la planta:

Germinación: En esta etapa no se requiere la adición de nutrientes ya que la semilla contiene todas las sustancias necesarias para su desarrollo y solamente necesita condiciones adecuadas de humedad, oscuridad y temperatura.

Almácigo: El empleo de pulpa descompuesta en las bolsas del almácigo permite obtener plantas vigorosas y sanas (Valencia y Salazar, 1993). No es recomendable el uso de fertilizantes granulados o foliares durante esta

etapa, ya que estos no sustituyen los efectos benéficos de la pulpa y se corre el riesgo de intoxicar las plantas (Salazar,1977; Guzmán y Riaño, 1996).

Crecimiento vegetativo (levante): Comprende desde la siembra definitiva en el campo o desde el zoqueo, hasta el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido, aproximadamente 11 meses. Durante este período, la planta está formando principalmente raíces, ramas y hojas. En esta etapa hay una demanda alta de nitrógeno y fósforo principalmente, aunque otros nutrientes pueden ser también necesarios, dependiendo del sitio de cultivo. Las cantidades y fuentes de fertilizante a aplicar dependen de cada tipo de suelo y la mejor forma de determinarlas es mediante el análisis de suelos. Es importante considerar además la dosificación correcta de las cantidades de fertilizante de acuerdo con la edad de la planta para evitar intoxicaciones (Uribe y Salazar, 1984; Valencia, 1990 y 1992; Valencia y Arcila, 1975).

Producción: A partir de los 11 meses, la planta entra en la fase reproductiva y la primera cosecha que generalmente es poca, se recoge hacia los 18-20 meses. En general, se obtienen dos cosechas al año: una en el primer semestre y otra en el segundo semestre. La cantidad de cosecha de cada semestre varía de acuerdo con las regiones (latitud y altitud) (Arcila *et al.*, 2001). Simultáneamente con el desarrollo de la cosecha la planta también debe producir nuevo crecimiento de ramas y hojas para las cosechas futuras, razón por la cual los requerimientos nutritivos son mayores durante esta fase (Riaño *et al.*, 2004).

Además del nitrógeno (N) y el fósforo (P) se necesita potasio (K), calcio (Ca), magnesio(Mg), azufre (S) y los microelementos como el boro, zinc, manganeso, cobre, hierro, molibdeno. Las cantidades y fuentes de fertilizante que deben aplicarse dependerán de cada tipo de suelo y la mejor forma de determinarlas es mediante el análisis de suelos (Valencia *et al.*, 1975; Uribe y Mestre, 1976; Valencia y Arcila, 1977; Uribe y Salazar, 1981; Valencia, 1989; Valencia y Carrillo, 1990; Valencia,1991).

La época y la frecuencia recomendada para aplicar los fertilizantes es dos meses antes del comienzo de la cosecha en cada semestre, por ejemplo febrero y julio, es decir dos aplicaciones por año (Mestre y Uribe, 1980). La aplicación del fertilizante en estas épocas no sólo favorece el crecimiento y desarrollo de los frutos sino también la formación de nudos y hojas para las próximas cosechas. En la Figura 9.1 se resumen las épocas de fertilización y enmiendas de acuerdo al ciclo del cultivo.

En general, no es necesaria la aplicación rutinaria de micronutrientes (Uribe y Salazar, 1981, Valencia *et al.*, 1968). Estas deben hacerse solamente en casos muy específicos (Valencia, 1964, 1973, Valencia y Arcila,1975).

Renovación: Después de que la planta ha producido 4-5 cosechas, se renueva mediante el zoqueo y la planta comienza un nuevo ciclo de crecimiento vegetativo (levante) y de producción, y la nutrición se manejará en la misma forma que para el ciclo de siembra. Durante el primer año es común observar en las zocas

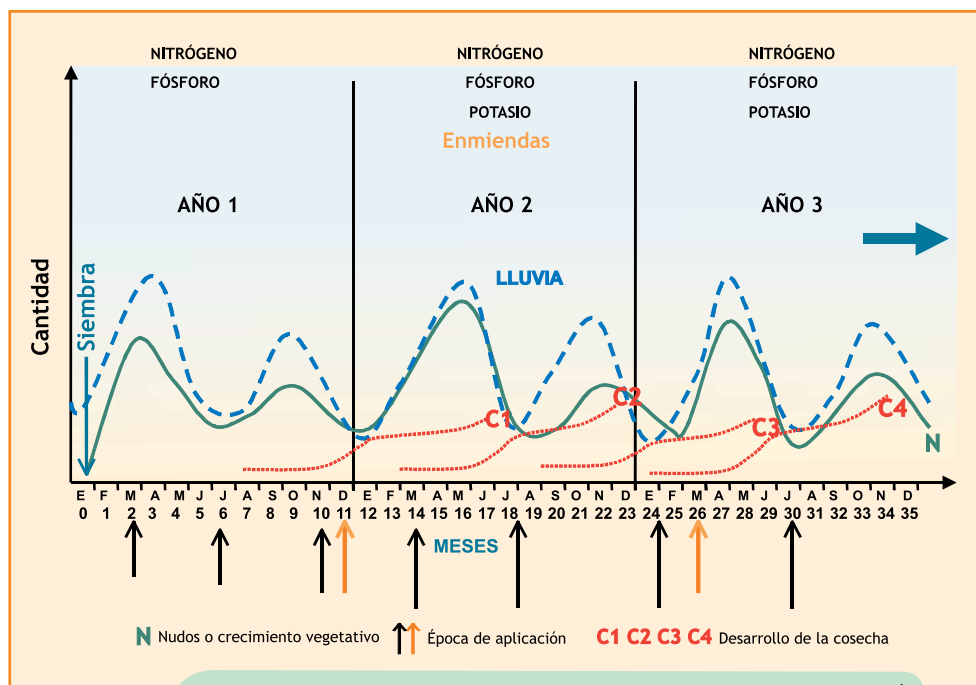


Figura 9.1. Requerimientos nutritivos y enmiendas para el cultivo del café de acuerdo al ciclo de vida.

amarillamientos, clorosis o deformaciones de las hojas asociadas a deficiencias de micronutrientes como hierro o zinc, pero estos síntomas son temporales y van desapareciendo gradualmente, sin necesidad de aplicaciones especiales de fertilizante, excepto cuando se trata de problemas de mal desarrollo radical o tallos enfermos o intoxicaciones con glifosato.

Factores ambientales

La disponibilidad de agua en el suelo es fundamental para que la planta pueda nutrirse bien ya que esta es el vehículo a través del cual los nutrientes se disuelven en el suelo y se mueven en la planta. Se deben aplicar los fertilizantes cuando el suelo se encuentre bien húmedo ya que bajo esta condición, las raíces pueden interceptar mayor cantidad de nutrientes (Jaramillo y Arcila, 1996).

Absorción foliar de nutrientes por el cafeto

La planta presenta una estructura morfológica diseñada y adaptada para llevar a cabo funciones específicas que al integrarse dan como resultado el crecimiento y desarrollo de la planta y la cosecha. Así, por ejemplo, las raíces tienen como principal función proporcionar anclaje y además explorar el suelo para interceptar los nutrientes minerales necesarios para el óptimo crecimiento y desarrollo. Los tallos y ramas sirven como medio para el transporte del agua y los nutrientes hasta las hojas y otras partes de la planta. Las hojas son estructuras especializadas en intercambio gaseoso a través de los estomas y en captura de la energía solar incidente sobre la lámina, funciones fundamentales para los procesos de fotosíntesis y transpiración. Mediante el proceso de fotosíntesis se aprovecha la energía solar y se absorbe el CO₂ ambiental para elaborar los componentes orgánicos de la planta y la cosecha. Mediante el proceso de transpiración la planta controla la pérdida de agua. De lo anterior se deduce que la función principal y fundamental de las hojas está relacionada con la síntesis de los principales componentes orgánicos de la planta; sin embargo, se ha demostrado que las hojas también pueden absorber algunas sustancias químicas que entren en contacto con su superficie (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999; Kannan, 1990).

También se ha comprobado que prácticamente todos los nutrientes minerales pueden ser absorbidos a través de la hoja, pero las cantidades que se pueden suministrar por este medio son limitadas. En el caso de plantas de tipo arbóreo y de ciclo de crecimiento largo como el cafeto, esto significa que no es posible suplir

los requerimientos de nutrición mineral solamente con aplicaciones al follaje (Swietlik y Faust, 1984).

En la práctica, ciertos fertilizantes que son solubles en agua se han aplicado directamente al follaje en una variedad de cultivos. Para que la planta aproveche los nutrientes, éstos deben penetrar la cutícula o los estomas de la hoja y luego entrar hasta las células para ser incorporados al metabolismo de la planta. Aunque éste método de suministro permite una rápida utilización de los nutrientes y la corrección de deficiencias en menos tiempo que con las aplicaciones al suelo, la respuesta es sólo temporal y serían necesarias muchas aplicaciones (Freire *et al.*, 1981; Havlin *et al.*, 1999).

En la actualidad el principal uso que se le ha dado a la fertilización foliar ha sido en el campo de los micronutrientes ya que estos elementos los requiere la planta en cantidades muy bajas. Una gran limitación para suministrar foliarmente las cantidades adecuadas de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, es el riesgo de quemar las hojas, los grandes volúmenes de solución que se deben manejar, el alto número de aplicaciones y el uso de la mano de obra (Havlin *et al.*, 1999).

En general, se utilizan en las aspersiones foliares en concentraciones de menos del 2% con el fin de evitar daños al follaje. Las hojas jóvenes son especialmente susceptibles de quemarse (Taiz y Zieger, 2002).

Los micronutrientes se prestan más para aplicaciones foliares porque la planta los requiere en cantidades muy bajas y son más eficientemente absorbidos en comparación con el suministro al suelo.

Numerosos factores afectan la efectividad de las aplicaciones foliares de nutrientes y están relacionados con la planta (características de la hoja, estado nutricional y desarrollo del cultivo, tolerancia del follaje), el ambiente (temperatura, luminosidad, estado hídrico, hora del día) y tecnología de aplicación (tipo de producto, características de la solución, tipo de equipo) (Freire *et al.*, 1981; Swietlik y Faust, 1984; Marschner, 1995).

Las plantas pueden absorber los elementos minerales esenciales mediante aplicaciones foliares pero solamente en cantidades limitadas. Para el suministro de los elementos mayores, la fertilización foliar se debe considerar como un complemento y no como sustituto de la fertilización edáfica. En el caso de los microelementos la fertilización foliar puede ser sustitutiva.

En café se ha comprobado la absorción foliar de: nitrógeno (urea 1%, Sulfato de amonio 3%); fósforo (Fosfato monoamónico 3%); magnesio (Sulfato de magnesio 3%); boro (Borax 0,3%); hierro (Sulfato de hierro 3%, sin

translocación); zinc (Sulfato de zinc 0,5 - 1%); cobre (Sulfato de cobre 0,3-0,5%) (Valencia,1992).

También se ha estudiado el efecto de la fertilización foliar en diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

Etapa de almácigo

En los estudios realizados en Colombia en la etapa de almácigo, se comparó el efecto de la pulpa y de 4 y 9 fertilizantes foliares respectivamente y no se encontró efecto benéfico de las aplicaciones foliares tanto en suelos con pulpa como sin pulpa (Valencia, 1975; Guzmán y Riaño, 1996).

Cafetos en producción

En investigaciones realizadas en Colombia encontraron que al comparar 6 y 12 aplicaciones de fertilizante foliar (N-P-K), como reemplazo de aplicaciones al suelo (N-P-K), durante varios años, las producciones siempre fueron inferiores cuando el fertilizante se aplicó foliarmente (López, 1970; Valencia, 1980). Resultados similares fueron registrados en investigaciones en Brasil por Santinato (1989).

En general, en el mundo cafetero, se han empleado aplicaciones foliares de N-P-K como complemento; en Brasil, son rutinarias las aplicaciones foliares de zinc ya que la deficiencia de este elemento es muy común en los suelos donde se cultiva café en ese país; también se ha tenido éxito con aplicaciones para la corrección de las deficiencias de boro o manganeso (Santinato,1989).

Las experiencias con la fertilización foliar en café en Colombia permiten concluir lo siguiente:

- No se justifica la fertilización foliar en almácigos.
- Por las bajas cantidades de nutrimentos que se pueden utilizar en la fertilización foliar, ésta no sustituye parcial ni totalmente a la fertilización edáfica en cafetales en producción.
- En caso de deficiencias severas se puede complementar la fertilización edáfica con la foliar; además, es posible corregir la deficiencia de micronutrimentos como zinc y boro mediante aplicaciones al follaje.
- Para el agricultor, el objetivo es mantener los nutrimentos en un nivel que le permita máximo beneficio en forma continuada, lo cual significa que los nutrimentos no deben ser un factor limitativo en ningún momento, desde la siembra hasta la cosecha.

La fuente original de la materia orgánica del suelo son los restos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, así como la masa microbiana. Estos restos vegetales y animales denominados como “polímeros de compuestos orgánicos”, son simplemente “materia orgánica fresca” que bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos son sometidos a un constante proceso de transformación (Labrador, 1996).

Inicialmente estos restos son degradados por vía biológica hasta componentes elementales de sus constituyentes básicos: proteínas, hidratos de carbono, ácidos orgánicos complejos, entre otros. Es decir, se produce una simplificación de su estructura a compuestos más sencillos y más solubles. Parte de estos compuestos sufren por la acción microbiana un proceso de mineralización, pasando a formas inorgánicas solubles (PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , entre otros) o bien gaseosa (CO_2 , NH_4^+). Algunos de estos compuestos pueden ser “reorganizados” en un proceso inverso que rige la mineralización, produciéndose una inmovilización temporal de nutrimentos - fundamentalmente nitrógeno- en la biomasa microbiana, pero reincorporándose posteriormente a los compuestos húmicos, quedando sujetos a la dinámica de éste dentro del suelo (Labrador, 1996; Meléndez y Soto, 2003).

El uso y aplicación de materia orgánica en agricultura es milenaria, sin embargo paulatinamente fue experimentando una disminución considerable, probablemente a causa de la introducción de los fertilizantes químicos que producían mayores cosechas a menor costo. En los últimos años se ha observado un creciente interés sobre la materia orgánica, habiendo experimentado su mercado un gran auge ligado al tema de los residuos orgánicos que encuentran así, una aplicación y el desarrollo de nuevas tecnologías (Meléndez y Soto, 2003).

Abonos orgánicos

Se entiende por abono orgánico todo material de origen orgánico utilizado para fertilización de cultivos o como mejorador de suelos. Se incluyen dentro de los abonos orgánicos materiales como la gallinaza, la pulpa del café, coberturas como el kudzú o Arachis, compost y ácidos húmicos.

Abonos para la agricultura orgánica

Son aquellos abonos que se pueden utilizar en la agricultura orgánica. Su utilización está regulada por

las normas internacionales de certificación. No todos los abonos orgánicos pueden ser utilizados en agricultura orgánica, por ejemplo, el uso de excretas de animales totalmente estabulados está prohibido por la regulación europea (U.E., 2005). Los ácidos húmicos permitidos son solo aquellos cuyo extractante haya sido KOH o NaOH (OMRI, 2005). Y por el contrario, enmiendas como el carbonato de calcio o fertilizantes como la roca fosfórica que aunque no son abonos orgánicos, se permiten en agricultura orgánica (OMRI, 2005). La legislación de la agricultura orgánica de los Estados Unidos (NOP 7 CFR, Parte 205) (USDA, 2000), definió las condiciones de compostaje requeridas para el manejo de excretas frescas, lo que restringe aún más el uso de abonos orgánicos permitidos para agricultura orgánica. Lo anterior creó por supuesto en los productores, la necesidad de conocer muy bien las normas y el mercado al que va a ser dirigido su producto.

Compost

Proceso biológico controlado de transformación de la materia orgánica a través de la descomposición aeróbica. Se denomina Compost al producto resultante del proceso de compostaje. Co-compostaje: proceso de compostaje de lodos urbanos junto con otros residuos orgánicos sólidos.

Bocashi

Receta japonesa de producción de abono orgánico, de volteos frecuentes y temperaturas por debajo de los 45-50°C, hasta que la actividad microbiana disminuye al disminuir la humedad del material (Tabla 9.1). Se considera un proceso de compostaje incompleto. Algunos autores lo han considerado un abono orgánico “fermentado”, sin embargo es un proceso enteramente aeróbico. El bocashi fue introducido en el país por técnicos japoneses y la mayoría de los productores practican la receta original: 1 saco de gallinaza, 1 saco de granza, 2 sacos de tierra, 1 saco de semolina de arroz o salvado, 1 saco de carbón molido y 1 litro de melaza (Figueroa *et al.*, 1998), Sin

embargo, dada las limitaciones para adquirir algunos de estos materiales, los agricultores han ido sustituyendo éstas con ingredientes locales. Por tanto, actualmente se llama “bocashi” al sistema de producción y no a la receta original (Figueroa *et al.*, 1998).

Vermicompost o lombrinaza

Proceso biológico de transformación de la materia orgánica a través de una descomposición aeróbica realizada principalmente por lombrices (Dávila y Ramírez, 1996). Se conoce como lombricultura la biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica.

Biofertilizantes

Fertilizantes que aumentan el contenido de nutrimentos en el suelo o que aumentan la disponibilidad de los mismos. Entre estos el más conocido es el de bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*, pero también se pueden incluir otros productos como micorrizas, fijadoras de nitrógeno no simbióticas, etc.

Biofermentos

Fertilizantes en su mayoría para uso foliar, que se preparan a partir de fermentaciones de materiales orgánicos. En el país son de uso común los biofermentos a base de excretas de ganado vacuno, o biofermentos de frutas.

Abono verde

Son plantas que se incorporan al suelo en estado verde, con el fin de incrementar los contenidos de materia orgánica y aumentar el nitrógeno disponible en el suelo; este tipo de abono es importante cuando las plantas utilizadas son leguminosas, por el aporte de N que hacen al suelo (Jiménez, 2004).

Tabla 9.1. Comparación entre el proceso de compostaje y “bocashi”

Características	COMPOST	BOCASHI
Producto final	Sustancias húmicas	Materia orgánica en descomposición
Temperaturas máximas	65-70 °C	45-50 °C
Humedad	60% durante todo el proceso	Inicial 60%, desciende rápidamente
Frecuencia de volteo	Regida por temperatura y CO ₂	Una o dos veces al día
Duración del proceso	De 1 a 2 meses	De 1 a 2 semanas

Mulch vegetal

Residuos de cosechas u otros residuos vegetales esparcidos sobre la superficie del suelo; se diferencia del nombre genérico mulch que abarca otros materiales diferentes a los residuos vegetales como plásticos, cartones, piedras, entre otros.

Características de los abonos orgánicos

Todos los compuestos orgánicos tienen carbono pero no todos los compuestos con carbono son clasificados como compuestos orgánicos. Por ejemplo, el monóxido de carbono (CO) y el carbonato de sodio (Na₂CO₃) son compuestos inorgánicos que contienen carbono. Paradójicamente a algunos compuestos orgánicos, algunas veces erróneamente, se les consideran inorgánicos como es el caso de la urea (NH₂CONH₂) (Dibb, 2002; Herrera, 2001).

En el mundo de los fertilizantes se tiene la idea que la urea es un compuesto inorgánico, pero no es cierto, la urea es un compuesto orgánico que todos los seres vivos producen; la causa de la confusión es que la urea se puede sintetizar en el laboratorio a partir de dióxido de carbono (CO₂) y amoníaco (NH₃) bajo condiciones de alta presión y temperatura, es así como se produce comercialmente.

Comúnmente a los fertilizantes de origen mineral como el cloruro de potasio (KCl) o algunos sulfatos se les denomina “químicos”, sin embargo estos fertilizantes se encuentran en forma natural en la corteza terrestre, se extraen de minas y se comercializan sin ningún proceso de síntesis química. A estos fertilizantes se les ha clasificado incorrectamente como compuestos “químicos sintéticos” similares a otro tipo de agroquímicos como herbicidas, fungicidas, etc. lo que ha dado una impresión negativa de los mismos. Al final, todos los fertilizantes orgánicos o minerales participarán en las reacciones químicas en la solución del suelo independientemente de su origen (Dibb, 2002; Herrera, 2001).

Las formas químicas como los nutrimentos son utilizados por las plantas se presentan en la Tabla 9.2. Casi todos los compuestos que están en la solución del suelo están presentes como especies iónicas. La trayectoria que toman los nutrimentos para llegar a formas disponibles para la planta puede ser compleja y variada. Los procesos por los cuales estos nutrimentos se transforman dentro del ambiente se denominan ciclos. Sin importar la forma en la cual estos elementos entran primero en sus respectivos ciclos, éstos tienen que convertirse en las formas inorgánicas (Tabla 9.2), para que puedan ser utilizados por las plantas. De esta forma, todos los alimentos consumidos por los humanos, ya sean plantas o animales que se alimentan de ellas, fueron producidos por nutrimentos inorgánicos, aun cuando un nutrimento cualquiera haya sido entregado al suelo en forma orgánica.

Tabla 9.2. Formas químicas como los nutrientes son utilizados por las plantas.

Elemento	Forma orgánica tomada por la planta	Elemento	Forma orgánica tomada por la planta
N	NO ₃ ⁻ ; NH ₄ ⁺	Cl	Cl ⁻
P	HPO ₄ ²⁻ ; H ₂ PO ₄ ⁻	Cu	Bu ²⁺
K	K ⁺	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Ca	Ca ²⁺	Mn	Mn ²⁺ , Fe ³⁺
Mg	Mg ²⁺	Mo	Mo, O ₄ ³⁺
S	SO ₄ ²⁻	Zn	Zn ²⁺
B	H ₃ BO ₃ , B ₃ O ₇ ²⁻ , H ₂ BO ₃ , HBO ₃ , BO ₃ ³⁻		

El término orgánico se ha hecho popular en los últimos años, especialmente en relación con los alimentos. Algunas veces se usa para explicar que los alimentos producidos con fuentes orgánicas de nutrimentos tienen ciertas características especiales, beneficios especiales para la salud y quizá mayor valor nutricional. Esta designación de orgánico, en relación al uso de nutrimentos, se refiere a la práctica de suplementar a la planta nutrimentos solamente con adiciones de residuos de cultivos o deshechos animales en lugar de las fuentes químicas de nutrimentos, lo cual implica que unos son naturales y que los otros son sintéticos.

Cualquier esfuerzo para identificar los alimentos desde el punto de vista del tipo de nutrimento utilizado es prácticamente imposible, debido a que, sin importar si la fuente es orgánica o inorgánica, todos los nutrimentos son químicos. Sin embargo, todos son naturales y existen en la naturaleza. Todos los nutrimentos suplementados en forma orgánica solamente son absorbidos por la planta después de que han sido convertidos a formas inorgánicas. Las diferentes fuentes de nutrimentos requieren diferente manejo para su uso eficiente.

Todos los alimentos, sin importar como han sido producidos, contienen compuestos de C y por tanto son orgánicos. El C proviene del CO_2 de la atmósfera que rodea a la planta, no de ningún C orgánico que haya sido colocado o que exista en el suelo, excepto cuando es liberado por descomposición de la materia orgánica en forma de CO_2 que regresa a la atmósfera. Los procesos de la naturaleza están reciclando continuamente los nutrimentos, de una forma u otra. Por ejemplo, la principal fuente de N es el N atmosférico. Esto es cierto ya sea que el N sea transferido por procesos de fijación biológica, por fijación industrial, o depositado por los animales que se alimentaron de los pastos y granos cultivados en el suelo.

Existen aproximadamente 84 millones de kilogramos de N por cada hectárea de atmósfera sobre la tierra. Sin embargo, este N debe transformarse en NH_4^+ NO_3^- antes que pueda ser absorbido por la planta para su beneficio. Todas estas formas de N son naturales ya sea que provengan de fuentes orgánicas o inorgánicas. Los nutrimentos esenciales se encuentran abrumadoramente en forma inorgánica en su estado natural. Solamente una pequeña porción se encuentra en forma orgánica en un momento dado. Colocándose en la perspectiva de tiempo geológico, los elementos existen solo momentáneamente en estado orgánico y pronto regresan a su más abundante estado inorgánico, sin embargo, ambos estados son naturales (Dibb, 2002; Herrera, 2001; Primavesi, 1984).

Como el N, todos los otros nutrimentos pasan a través de ciclos naturales, siguiendo varias trayectorias hacia su destino final de ser absorbidos y utilizados por las

plantas que producen todos los alimentos para humanos y animales. En el proceso, ciertos nutrimentos como N, P y S se mueven alternadamente entre las fases orgánica e inorgánica. Años de estudios han demostrado que el crecimiento de plantas, animales y humanos puede a menudo afectarse debido a inadecuadas cantidades (deficiencias) de los elementos esenciales. En humanos y animales, las deficiencias se controlan cambiando la dieta a una que incluya alimentos ricos en los nutrimentos requeridos (orgánico) o por medio de suplementos minerales (inorgánico). En las plantas, las deficiencias se controlan entregando estos nutrimentos con fertilizantes, los cuales pueden provenir de la abundante fuente inorgánica o de la pequeña fuente orgánica, dependiendo de la disponibilidad, costo y conveniencia. A menudo, el uso de las fuentes en forma conjunta es la solución más eficiente y económica.

Cuando se suplementan los nutrimentos en forma orgánica, estos todavía deben pasar los ciclos de conversión para llegar a la fase inorgánica antes de que estén disponibles para las plantas. Por otro lado, los fertilizantes inorgánicos se suplementan en forma soluble o lentamente soluble, de modo que la planta puede tomar los nutrimentos cuando los necesita. Esta revisión de los conceptos científicos en relación con los nutrimentos busca aclarar esta compleja situación y desea disipar muchos de los mitos y misterios que existen en relación a los nutrimentos orgánicos e inorgánicos. Las dos fuentes de nutrimentos tienen un papel común y complementario en la producción de alimentos, fibras y combustibles para una población en constante crecimiento (Dibb, 2002; Herrera, 2001).

Composición química de algunos abonos orgánicos

En la Tabla 9.3, se presenta la composición química de algunos materiales empleados como abonos orgánicos.

Nitrógeno. El N, es el elemento más apreciado para valorar la calidad de los abonos orgánicos; se ha establecido un valor crítico de 4% en base seca para la sumatoria de N, P y K. Los países desarrollados establecen un valor crítico de 6%. El N es fundamental en la construcción de la biomasa, por la complejidad de su dinámica química (nitrificación-denitrificación) y por las posibilidades de pérdidas por lixiviación y volatilización. Abonos orgánicos de buena calidad deben tener entre 2%-3% de nitrógeno y que sea estable. La gallinaza tiene 4%-6% cuando está pura, con alto contenido de amonio, éste es volátil y fitotóxico. Por ello se aplica, 2 ó 3 semanas antes de la siembra.

Fósforo: Valores por encima del 1% se consideran adecuados y por encima del 2% excelentes. La cachaza como residuo agroindustrial, cuyo proceso recibe P y Ca, alcanza valores de P del 2%. Por su efecto rizogénico, le da un gran valor, como componente de sustratos.

Potasio: Propio de los residuos succulentos de frutas, verduras, pulpa de café y de las gramíneas en estado joven y consecuentemente alto en la bovinaza. Es el elemento de mayor disponibilidad, se puede perder por lixiviación.

Calcio: Juega un papel importante en la estructura del suelo. Las crucíferas y el bleado, almacenan éste en gran cantidad. La cachaza, por su proceso industrial de origen tiene un alto valor de este nutrimento.

Elementos menores: Se debe esperar la siguiente escala de contenido de elementos menores en los tejidos vegetales: Fe>Mn>Zn>Cu>B, la cual es similar a la de los suelos.

Caracterización del abono orgánico

Antes de aplicar un abono orgánico se debe identificar sus características, entre las cuales se destaca:

- **Composición mineral.** La composición mineral es muy variable; para conocer su valor nutricional se debe

realizar un análisis químico a fin de establecer los contenidos de elementos esenciales, especialmente de N, P, K, Ca, Mg y elementos menores (Fe, Zn, Mn, Cu, B). Algunos estiércoles de animales, pueden presentar niveles altos de Zn y Cu y pueden llegar a ser fitotóxicos.

- **Humedad.** Para aplicar abonos sólidos el contenido de humedad debe ser menor del 15%; esto facilita y disminuye el costo de transporte y de su aplicación.
- **Contenido de ácidos fúlvicos.** Está relacionado con la movilidad del abono en el suelo y con la facilidad que tenga éste de solubilizar metales tóxicos; en un abono orgánico adecuado, su contenido no debe ser menor al 3,0%.
- **Relación C:N.** Con base en los contenidos de C y N totales; es una medida de la facilidad de la mineralización del abono.
- **pH.** Es necesario conocer el pH del abono orgánico, para prevenir problemas de acidificación o alcalinización que pueda tener el abono sobre el suelo.
- **Conductividad eléctrica.** Frecuentemente es alta en los abonos; se debe tener en cuenta para evitar una posible salinización del suelo o problemas de toxicidad en las plantas debida a la aplicación de grandes cantidades de sales.

Tabla 9.3. Composición química de abonos orgánicos (Federacafé, 1990; Figueroa et al., 1998).

Abono orgánico	M.O(%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (mg.kg ⁻¹)
Pulpa de café compostada	55,0	4,2	0,3	5,3	0,9	0,2	
Pulpa de café lombricompostado	56,0	3,7	0,3	9,6	1,2	0,2	
Gallinaza		2,9	3,1	2,8	3,0-8,0	0,6-1,3	
Pollinaza		4,3	1,5	2,1	3,2	0,6	1,7
Porquinaza		4,0-6,0	0,4	0,9	2,0-4,0	0,4	0,14
Harina de plumas de pollos		4,6	0,38	0,23	0,23	0,20	1,4
Harina de sangre		12,0	0,10	0,30	0,5	0,06	0,13
Cachaza	76,0	0,55	1,1-1,3	0,7-0,9	2,4	0,82	0,19
Bovinaza	5,3	5,0	0,1	1,6	13,2	5,0	
Equinaza		1,2	0,1	1,6	15,7	2,8	
Ovinaza		1,6	0,1	2,3	11,7	3,7	

- C.I.C. Es deseable que un abono orgánico tenga una CIC alta.
- Cantidad de materiales inertes.
- Cantidad de partículas que componen el material.
- Contenido de metabolitos potencialmente tóxicos.
- Contenido de patógenos, tanto de plantas como de animales.
- La materia orgánica aumenta la permeabilidad del suelo al agua y al aire, debido a su acción positiva sobre la porosidad y sobre la actividad de la fauna edáfica (grietas, galerías).
- Disminuye la densidad aparente.
- Aumenta la capacidad del suelo para retener agua, lo cual permite al suelo almacenar más agua durante la épocas húmedas y reducir en períodos cálidos las pérdidas por evaporación (se mantiene el balance hídrico del suelo).

Efectos benéficos de la materia orgánica (M.O.)

El efecto benéfico de la M.O. sobre la fertilidad de los suelos especialmente sobre aquellos altamente meteorizados es de mucha importancia con relación a sus contenidos, pues está demostrado que incrementos mínimos benefician simultáneamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Aunque la interacción de estas tres propiedades dificulta la cuantificación del efecto benéfico de la M.O., es también muy factible que los distintos componentes de la M.O. estén afectando simultáneamente y en forma distinta la dinámica, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Aunque no se conoce a ciencia cierta la naturaleza de los procesos implicados ni las fracciones de M.O. que afectan las propiedades del suelo, es claro que ésta presenta efectos benéficos (Labrador, 1996; Primavesi, 1984).

Efectos sobre las propiedades físicas del suelo

- La materia orgánica da el color oscuro al suelo, como consecuencia del contenido de humus, lo que le permite absorber hasta el 80% de la radiación solar.
- Da resistencia a los agregados del suelo (cohesión), las sustancias húmicas sobre las arcillas actúan como cemento de unión de las partículas minerales, haciendo más ligeros los suelos arcillosos favoreciendo la porosidad, la aireación y la circulación del agua y más compactos los arenosos, dando mayor estabilidad a los agregados.
- La materia orgánica provee de sustancias agregantes del suelo, haciéndolo grumoso, más estable estructuralmente, lo cual ofrece resistencia a la acción degradativa de la lluvia y los vientos.

Efectos sobre las propiedades químicas del suelo

- Proveen de ácidos orgánicos y alcoholes; durante su descomposición sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre; fijadores de N, posibilitando así su fijación.
- Aumenta la C.I.C.
- La materia orgánica aumenta el poder "Buffer", es decir, la resistencia contra las variaciones bruscas del pH, lo que es especialmente importante en tierras fertilizadas químicamente.
- Es fuente importante de micro y macronutrientes especialmente N, P, y S, siendo particularmente importante el P orgánico en los suelos ácidos.
- Actúa como agente quelatante del aluminio.
- Actúa como quelatante de micronutrientes previniendo su lixiviación y evita la toxicidad de los mismos.
- Regula los fenómenos de adsorción especialmente la inactivación de plaguicidas.

Efectos sobre las propiedades biológicas del suelo

- Los ácidos húmicos regulan el estado óxido reductor del medio en que se desarrollan las plantas; así, cuando el oxígeno es insuficiente, facilitan la respiración radical de la planta en forma de "Humatos".
- La materia orgánica favorece el intercambio del oxígeno que condiciona la respiración de las raíces y de los organismos del suelo y que intervienen en las reacciones de oxidación y del dióxido de carbono, producto de la actividad respiratoria vegetal y

microbiana, necesario para que los organismos autótrofos realicen sus síntesis orgánicas.

- La materia orgánica provee alimento a los organismos activos en la descomposición, produciendo antibióticos que protegen a las plantas de plagas y enfermedades, contribuyendo a la salud vegetal.
- Asegura la producción de CO₂. El desprendimiento de dióxido de carbono a la atmósfera edáfica, acidifica las soluciones del suelo y favorece la solubilización de compuestos minerales de baja solubilidad con lo que se asegura la disponibilidad para la planta de ciertos minerales que de otra forma serían inaccesibles.
- La materia orgánica produce sustancias intermedias en su descomposición, que pueden ser absorbidas por las plantas, aumentando el crecimiento.
- Es fuente energética de los microorganismos especialmente por sus compuestos de carbono.
- Estimula el desarrollo radical y la actividad de los macro y microorganismos del suelo.

Liberación de nutrientes y requerimientos de las plantas

La liberación de nutrientes y los requerimientos por las plantas, se denomina sincronía. Los sistemas naturales conservan nutrientes y tienen pérdidas pequeñas, pero frecuentemente las pérdidas de los sistemas agrícolas son grandes. Para aumentar la productividad se tiene que conservar los nutrientes existentes o aplicar insumos de bajo costo.

La sincronía ocurre cuando la liberación del nutriente es similar a lo requerido por la planta, tanto en espacio como en el tiempo. Se aplica el concepto a los ciclos de N, P, y S, donde un manejo adecuado puede aumentar (mineralización) o inhibir (inmovilización) la cantidad de nutriente disponible a la planta.

Manejo para mejorar la sincronía

En el uso de residuos orgánicos, el manejo de la sincronía es clave para la sostenibilidad de los agroecosistemas, y deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

Planta: Tipo de cultivo, sistema radical, demanda, plantas que modifican los patrones de liberación de nutrientes.

Manejo de fertilizantes: Liberación controlada o lenta, aplicaciones divididas, inhibidores de nitrificación, mezclas de abonos orgánicos e inorgánicos

Insumos orgánicos: Usos de residuos de cultivos, abonos verdes, estiércoles, compost, desechos)

En la sincronía y la liberación de nutrientes, es fundamental el conocimiento de la tasa o velocidad de descomposición de los residuos orgánicos.

Descomposición de la materia orgánica en el suelo

Las transformaciones por las que pasa el carbono comprende esencialmente dos fases, una de fijación y otra de regeneración (Figura 2).

La fijación del gas carbónico atmosférico es efectuado por los organismos fotosintéticos, plantas verdes, algas y bacterias autótrofas. Esta fijación finaliza con la síntesis de compuestos hidrocarbonados de complejidad variable, amidas, hemicelulosas, celulosas, ligninas, proteínas, aceites y otros polímeros. Estos compuestos retornan al suelo con los residuos vegetales; y son utilizados por los microorganismos que regeneran a gas carbónico durante reacciones de oxidación respiratoria, en las cuales se emplea energía (Mendonca y Gomide, 2005).

La velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo, independiente de la forma en que se encuentre, está condicionada por numerosos factores (Jiménez, 2004; Labrador, 1996; Mendonca y Gomide, 2005; Primavesi, 1984; Burbano, 1989), entre ellos se encuentra:

- Origen y naturaleza de la materia orgánica
- Agentes responsables de la descomposición
- Humedad
- Temperatura
- Acidez del suelo
- Contenido de nutrientes del suelo

Origen y naturaleza de la materia orgánica

La materia orgánica del suelo proviene, casi en su totalidad, de residuos vegetales cuya composición media varía entre las diferentes especies vegetales; dentro de una misma especie varía con la edad y nutrición de la planta (Mendonca y Gomide, 2005).

Los principales componentes de los vegetales, en porcentaje de peso seco, son:

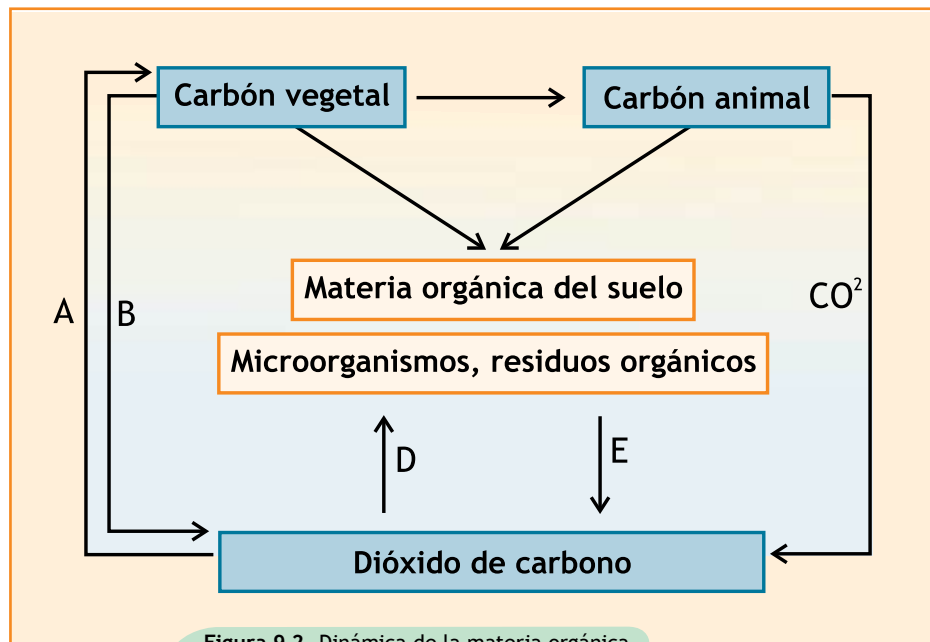


Figura 9.2. Dinámica de la materia orgánica.

- | | |
|---|-----------|
| • Celulosa | 15% a 60% |
| • Hemicelulosa | 10% a 30% |
| • Lignina | 5% a 30% |
| • Fracción soluble en agua
(azúcares simples, aminoácidos,
ácidos alifáticos) | 5% a 30% |
| • Fracción soluble en alcohol
(aceites, resinas, algunos pigmentos, ceras) | 1% a 15% |
| • Proteínas | 1% a 10% |
| • Constituyentes minerales | 1% a 12% |

Durante la descomposición de la materia orgánica por la acción de las enzimas y los microorganismos, algunos compuestos son más rápidamente utilizados que otros, siendo la fracción soluble en el agua y las proteínas los primeros compuestos en ser metabolizados. La celulosa y hemicelulosa no desaparecen con la misma intensidad mas la permanencia de estos compuestos en el suelo es relativamente corta. Las ligninas son altamente resistentes, tornándose a veces como las más abundantes en la materia orgánica en descomposición.

La relación carbono/nitrógeno (C/N) puede determinar muchas veces la cinética de la descomposición, entonces debe considerarse la dinámica de la relación C/N bajo dos aspectos:

a. La relación C/N de los microorganismos y

b. La relación C/N de la materia orgánica

En el primer caso la relación C/N de las células microbianas es muy variable; por ejemplo, la relación C/N en hongos es de 10:1; en actinomicetos de 8:1; en bacteria aeróbicas 5:1 y en las anaerobias 6:1.

Durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo la relación C/N disminuye, y parte del C orgánico se pierde en forma de CO₂ (Figura 9.2).

La Figura 9.3, representa la curva de descomposición de la materia orgánica del suelo, correlacionándola con la relación C/N y con los fenómenos de inmovilización y mineralización.

La relación C/N es variable de acuerdo con las especies y la edad de las mismas y es un buen indicador de la susceptibilidad de la hojarasca a ser degradada. En general, el rango óptimo en los residuos orgánicos de leguminosas se encuentra entre 25-30/1. Si el residuo de partida es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la descomposición será lenta. En el caso contrario, en altas concentraciones de nitrógeno, éste se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica.

Si el material final obtenido tras la descomposición, tiene un valor C/N alto (>35), indica que no ha sufrido una descomposición completa y, si el índice es muy bajo (<25), puede ser por una excesiva mineralización. Una relación C/N en los residuos orgánicos mayor a 30 es

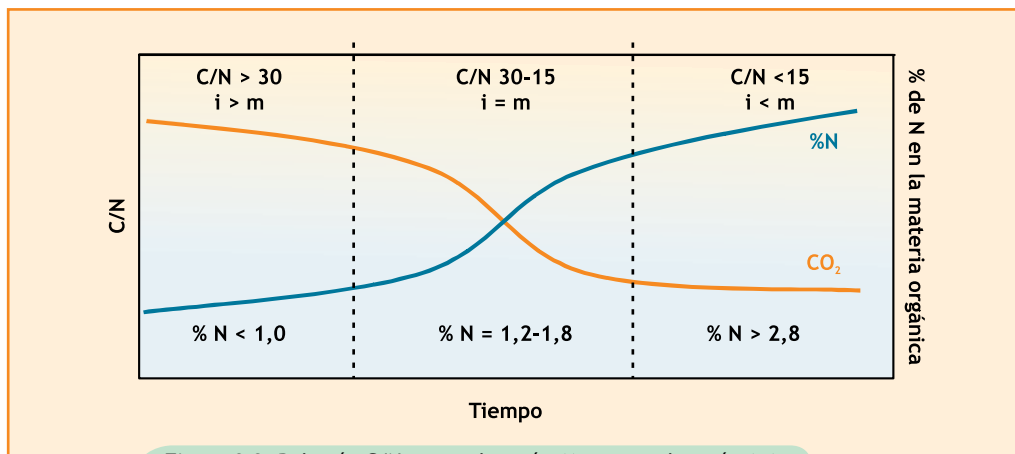


Figura 9.3. Relación C/N, inmovilización (i) y mineralización (m), durante la descomposición de la materia orgánica. (Alexander, 1977 y Broadbent, 1954 citados por Mendonsa y Gomide, 2005).

alta; entre 15 y 30 es equilibrada y una menor de 15 es baja (Mendonca y Gomide, 2005); aunque todo ello depende de las características del material de partida (Farfán, 1995; Farfán y Urrego, 2004; De las Salas, 1987; Fassbender, 1987; Fassbender y Bornemiza, 1987; Oliver *et al.*, 2002; Sariyildiz, 2003).

Es de anotar que las relaciones C/P/S y N/Lignina y los tenores de fenoles, también tienen influencia en la tasa de descomposición del material orgánico adicionado al suelo como materia orgánica propiamente dicha.

Coefficiente asimilatorio de carbono (C). Cuando se aplican residuos vegetales con una elevada relación C/N, en una primera fase, se produce una inmovilización del nitrógeno presente en el suelo por parte de los hongos encargados de la destrucción de esos restos, principalmente celulósicos o lignínicos. Cuando la citada relación va bajando al producirse el consumo del carbono, utilizado como fuente de energía de todos los microorganismos del suelo, se inicia una mayor actividad bacteriana que va liberando nitrógeno mineral a la velocidad que los hongos lo inmovilizan. Al mismo tiempo se produce la muerte de muchos de ellos y su transformación por parte de las bacterias con liberación del nitrógeno que posee. En ese lapso de tiempo el nitrógeno del suelo no sufre variaciones significativas. Finalmente, cuando la relación C/N es baja los compuestos presentes son atacados con mayor facilidad por las bacterias que equilibran su población, por lo que va resultando un excedente de nitrógeno que queda en el suelo en forma mineral, se produce una liberación del elemento que será utilizado por las plantas (Figura 9.4).

Los coeficientes asimilatorios o consumo de carbono orgánico en porcentaje, por algunos microorganismos

son:

Hongos	30% a 40%
Actinomicetos	15% a 30%
Bacterias	1% a 15%

En términos prácticos, puede considerarse un coeficiente asimilatorio de carbono orgánico del 35%, este coeficiente asimilatorio tiene mucha utilidad práctica.

EJEMPLO: Descomposición de residuos secos de sorgo.

- El sorgo contiene 40% de C y 0,7% de N.
- Considerando un coeficiente de asimilación de C del 35%, en 100 kg de materia seca, resulta 14,0 kg de C asimilable: (40 kg de C total * 0,35)
- Considerando una relación C/N de los microorganismos de 10:1, se obtiene que se necesitan 1,4 kg de N para la descomposición de 100 kg de residuos de sorgo: C/N = 14/10).
- El material residual del sorgo (100 kg), contienen 0,7 kg de N disponible.
- Como se requiere de 1,4 kg de N para la descomposición de los residuos y solo se tiene 0,7 kg; entonces hay déficit de 0,7 kg de N para la completa descomposición.

En este caso los microorganismos retiran del suelo el N disponible, provocando un fenómeno de inmovilización de N del suelo y compitiendo así con las plantas por este elemento.

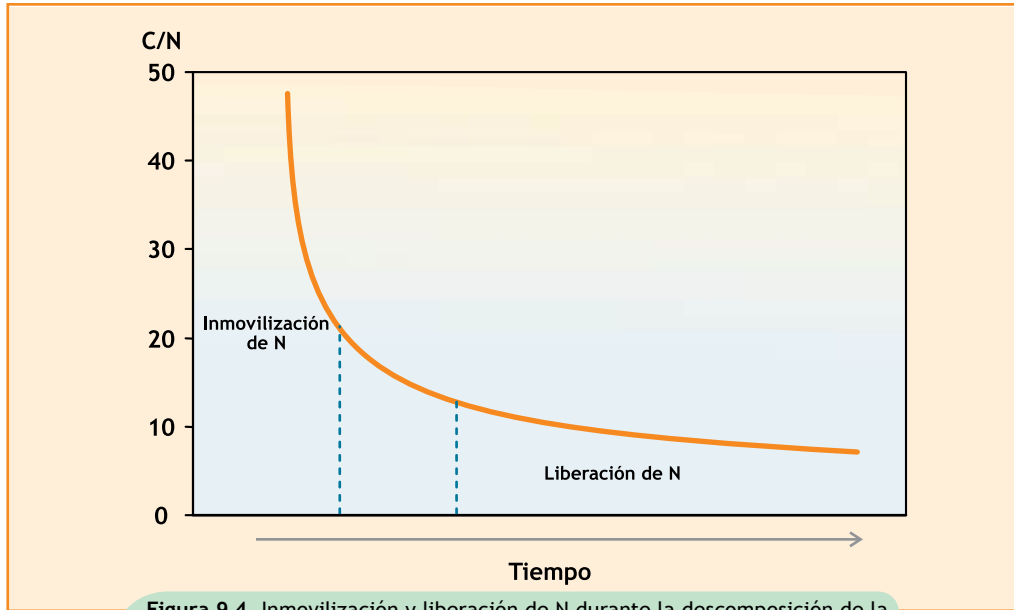


Figura 9.4. Inmovilización y liberación de N durante la descomposición de la materia orgánica.

Esta es una de las razones de la controversia existente entre la conveniencia de enterrar las pajas de los cereales o destruirlas. En terrenos con una actividad biológica intensa y con contenidos en nitrógeno mineral altos, su incorporación al suelo resulta beneficiosa pues facilita el desarrollo microbiano e incrementa el contenido orgánico del suelo, tras esa primera fase depresiva que el suelo y las plantas soportan bien. En caso contrario tendrá unos efectos negativos, pues se transformará con excesiva lentitud y provocará grandes huecos en la superficie del suelo que impedirán el contacto entre el suelo y las raíces de las plantas recién germinadas (Fassbender, 1987; Herrera, 2001; Labrador, 1996; Primavera, 1984; Burbano, 1989).

Resultados de investigación

• **Descomposición de residuos vegetales y transferencia de nutrientes por *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* empleadas como abonos verdes en café.**

En la Estación Central Naranjal de Cenicafé, se evaluó la transferencia de nutrientes y tasa de descomposición de residuos vegetales producidos por *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* establecidas a 172.000, 86.000 y 60.000 plantas.ha⁻¹ (Jiménez *et al.*, 2005(b)).

Se obtuvo que el modelo exponencial simple es el que representa la descomposición de la biomasa seca producida por las tres leguminosas, Figura 9.5. La producción media de biomasa seca en *Cajanus cajan* fue de 7,6 t.ha⁻¹, en *Crotalaria juncea* de 4,2 t/ha⁻¹ y en *Tephrosia candida* de 5,4 t.ha⁻¹. La tasa relativa de

descomposición mensual (k) en *C. cajan* fluctuó entre 0,18 y 0,21, en *C. juncea* entre 0,25 y 0,32 y en *T. candida* entre 0,18 y 0,21; La densidad de siembra no afectó la tasa de descomposición de los residuos vegetales de *C. cajan* y *T. candida*.

Los residuos vegetales de *C. cajan* se descomponen más lentamente ($K = 0,20$) que los residuos de *C. juncea* y *T. candida* ($K = 0,29$ y $0,26$ respectivamente); La fracción de la materia orgánica no descompuesta (K_1) en un período de 180 días fluctuó entre 28% y 34% en *C. cajan*, entre el 11% y 22% en *C. juncea* y entre el 19% y 22% en *T. candida* (Tabla 9.4).

El Coeficiente Isohúmico (k_1) es definido como la fracción de la materia orgánica que queda sin descomponerse o se descompone muy lentamente después de un período de tiempo dado; el k_1 depende esencialmente, pero no exclusivamente de las características del residuo orgánico (Labrador, 1996); es un indicador del estado o “madurez” del abono orgánico. Debido a la naturaleza

Tabla 9.4. Comparación de las tasas de descomposición mensual (k) y Coeficiente Isohúmico (k_1) de tres especies leguminosas, en un período 180 días (Jiménez *et al.*, 2005 (b)).

Especies	K mes ⁻¹	Coeficiente Isohúmico (k_1)
<i>Cajanus cajan</i>	0,20 b	0,31 b
<i>Crotalaria juncea</i>	0,29 a	0,18 a
<i>Tephrosia candida</i>	0,26 a	0,21 a

Letras distintas indican diferencia significativa según prueba Tukey al 5%

de sus componentes como ligninas y proteínas, este coeficiente se determina a través de la fracción orgánica del residuo vegetal y que es relativamente resistente a la descomposición biológica.

En un período de 180 días se descompone e incorpora al suelo el 71,2% de los residuos producidos por *C. cajan*, el 85% de los producidos por *C. juncea* y el 80,6% de los producidos por *T. candida* (Tabla 9.5). Las tasas máximas de descomposición se presentan en los 30 primeros días, 23,1%, 40,2% y 28,8% en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida* respectivamente. Las tasa mas bajas de descomposición se registraron entre los 120 y 180 días, 7,7%, 6,5% y 7,6% en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida*, respectivamente.

En un período de 180 días de descomposición la biomasa seca producida por *C. cajan* transfiere al suelo el 57,8% del N, 79,8% del P, el 96,8% del K, el 25% del Ca y el 65,7% del Mg contenido en los residuos vegetales (Tabla 9.6). En este mismo período, la descomposición de los residuos vegetales producidos por *C. juncea*, transfiere al suelo el 84,6% del N, 89,1% del P, 98,8% del K, el 74,3% del Ca y el 90,0% del Mg contenido en estos residuos (Tabla 9.7). Transcurridos 180 días los residuos vegetales producidos por *T. Candida*, transfirieren al suelo el 78,3% del N, el 84,2% del P, el 97,9 % del K, el 50,9% del Ca y el 86,9% del Mg contenidos en los residuos (Tabla 9.8) (Jiménez *et al.*, 2005 (b)).

Tabla 9.5. Porcentaje de biomasa de las leguminosas incorporada al suelo cada 30 días durante 180 días (Jiménez *et al.*, 2005 (b)).

Especies	Materia seca (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Período (días)					
		30	60	90	120	150	180
<i>C. cajan</i>	7,7	23,1	36,8	48,1	57,4	64,9	71,2
<i>C. juncea</i>	4,2	40,2	55,0	66,2	74,6	80,8	85,5
<i>T. candida</i>	5,4	28,8	45,2	57,7	67,4	74,9	80,6

Tabla 9.6. Concentración (%) y contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca total producida por *C. cajan* y transferencia (%) mensual al suelo (Jiménez *et al.*, 2005 (b)).

Especie	Nutriente	(%)	kg	Período (días)						R ²	
				0	30	60	90	120	150		180
<i>C. cajan</i>	Nitrógeno	3,1	238,1	0,0	20,9	31,8	59,9	59,3	61,9	57,8	0,66
	Fósforo	0,3	21,2	0,0	37,1	33,0	70,2	79,1	78,1	79,8	0,75
	Potasio	1,7	127,3	0,0	7,8	44,5	89,4	95,5	94,8	96,8	0,75
	Calcio	0,5	35,0	0,0	-74,4	-26,7	5,3	19,5	26,2	24,9	0,76
	Magnesio	0,1	10,9	0,0	-28,0	2,0	37,4	55,8	58,6	65,7	0,86

*Valores negativos indican no transferencia del elemento

Tabla 9.7. Concentración (%) y contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca total producida por *C. juncea* y transferencia (%) mensual al suelo (Jiménez *et al.*, 2005 (b)).

Especie	Nutriente	(%)	kg	Período (días)						R ²	
				0	30	60	90	120	150		180
<i>C. juncea</i>	Nitrógeno	3,6	151,6	0,0	58,3	63,2	79,5	81,6	80,1	84,6	0,7
	Fósforo	0,4	16,1	0,0	51,4	54,6	73,2	77,4	81,8	89,1	0,9
	Potasio	2,4	97,4	0,0	54,9	85,2	96,7	98,2	97,8	98,8	0,6
	Calcio	0,8	32,1	0,0	8,3	29,7	53,5	56,8	61,7	74,3	0,9
	Magnesio	0,2	9,7	0,0	17,6	40,4	68,5	74,9	81,0	90,0	0,9

• **Descomposición de residuos y transferencia de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucaliptus grandis*, en Sistemas Agroforestales**

En sistemas agroforestales con café, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucaliptus grandis*, en la Subestación Experimental Paraguaicito, se evaluó la descomposición de la materia seca y transferencia de nutrientes en cada especie (Farfán y Urrego, 2004; Farfán y Urrego, s. f.). Las densidades de siembra fueron de 4.444 y 278 plantas por ha para el café y el sombrío.

La producción media de biomasa seca en café fue de 4,35 t.ha⁻¹, en *Cordia alliodora* de 3,46 t.ha⁻¹, en *Pinus oocarpa* de 6,67 t.ha⁻¹ y en *Eucalyptus grandis* de 6,39 t.ha⁻¹ (Urrego y Farfán, 2000 y 2002) (Tabla 9.9).

El modelo que mejor representó la tasa de descomposición de los residuos vegetales fue exponencial simple (Figura 9.6).

La tasa relativa de descomposición mensual (*k*) en café a libre exposición solar fue de 1,0 en café bajo sombrío fluctuó entre 0,87 y 1,08, en *C. alliodora* fue de 0,78, en *P. oocarpa* de 0,26 y en *E. grandis* de 0,72. La fracción de la materia orgánica no descompuesta (*K_t*) en un período de 365 días fluctuó entre el 34% y 42% en café bajo sus diferentes sistemas de cultivo; en *C. alliodora* fue del 46%, en *P. oocarpa* del 77% y en *E. grandis* del 49% (Figura 9.6 y Tabla 9.10).

El sistema de cultivo de café, libre exposición solar o bajo sombrío no afecta la tasa de descomposición de sus residuos vegetales. Los residuos vegetales de *P. oocarpa* se descomponen más lentamente (*K*=0,20) que los residuos de *C. alliodora* y *E. grandis*.

Tabla 9.8. Concentración (%) y contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca total producida por *T. candida* y transferencia (%) mensual al suelo (Jiménez *et al.*, 2005 (b)).

Especie	Nutriente	(%)	kg	Período (días)						R ²	
				0	30	60	90	120	150		180
<i>C. juncea</i>	Nitrógeno	3,6	196,3	0,0	47,9	56,4	73,5	78,2	79,4	78,3	0,8
	Fósforo	0,3	17,6	0,0	42,0	44,3	71,5	78,6	84,0	84,2	0,8
	Potasio	2,0	107,7	0,0	48,8	63,6	95,2	98,1	97,7	97,9	0,7
	Calcio	0,7	37,1	0,0	3,2	-4,4	22,8	43,5	51,8	50,9	0,8
	Magnesio	0,2	10,3	0,0	22,0	22,5	59,4	77,1	83,6	86,9	0,9

Tabla 9.9. Aporte de biomasa seca por tres especies forestales y el café en dos períodos de evaluación. Subestación Experimental Paraguaicito (Urrego y Farfán, 2000 y 2002).

Especies	Producción de biomasa seca (t.ha ⁻¹)		
	1 ^{er} año	2 ^o año	Media
Café a libre exposición	1,47	8,40	4,94
Café bajo sombrío de nogal	1,42	6,16	3,79
Café bajo sombrío de pino	1,61	7,52	4,56
Café bajo sombrío de eucalipto	1,32	6,90	4,11
<i>Cordia alliodora</i> (nogal)	1,99	4,93	3,46
<i>Pinus oocarpa</i> (pino)*	0,00	6,67	6,67
<i>Eucaliptus grandis</i> (eucalipto)	4,67	8,12	6,39

*De pino se presenta la producción de biomasa seca solo del segundo año

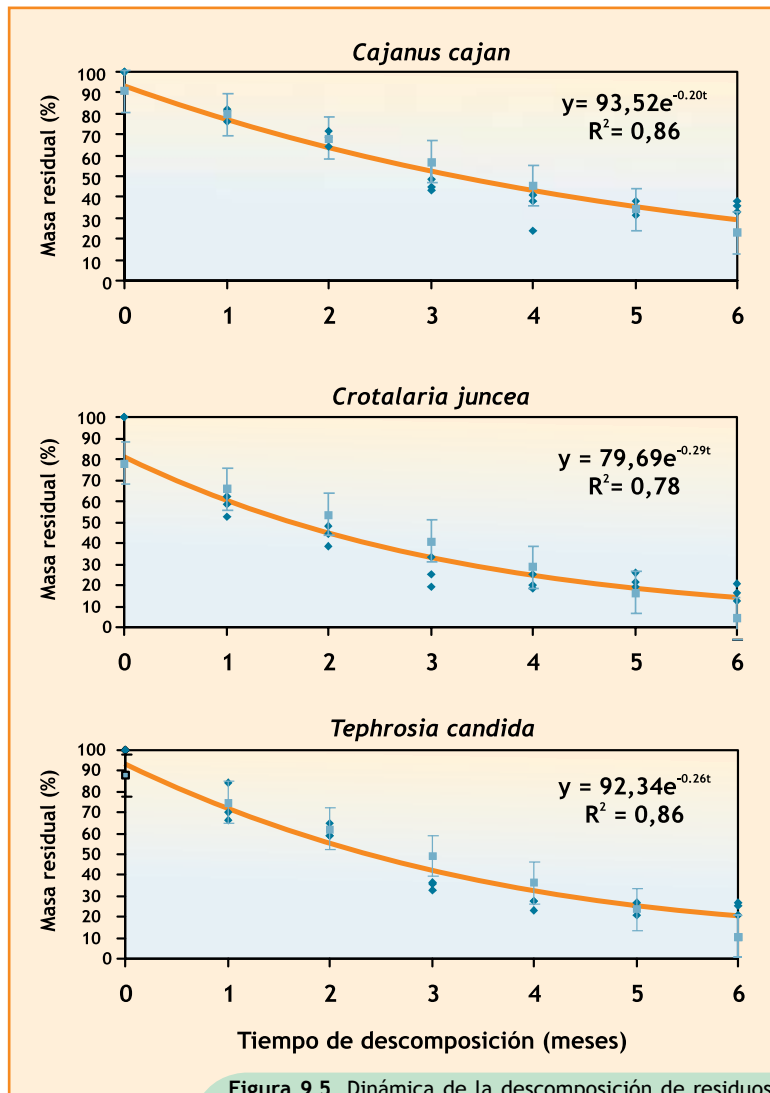


Figura 9.5. Dinámica de la descomposición de residuos vegetales de tres especies leguminosas, Estación Central Naranjal (Jiménez *et al.*, 2005).

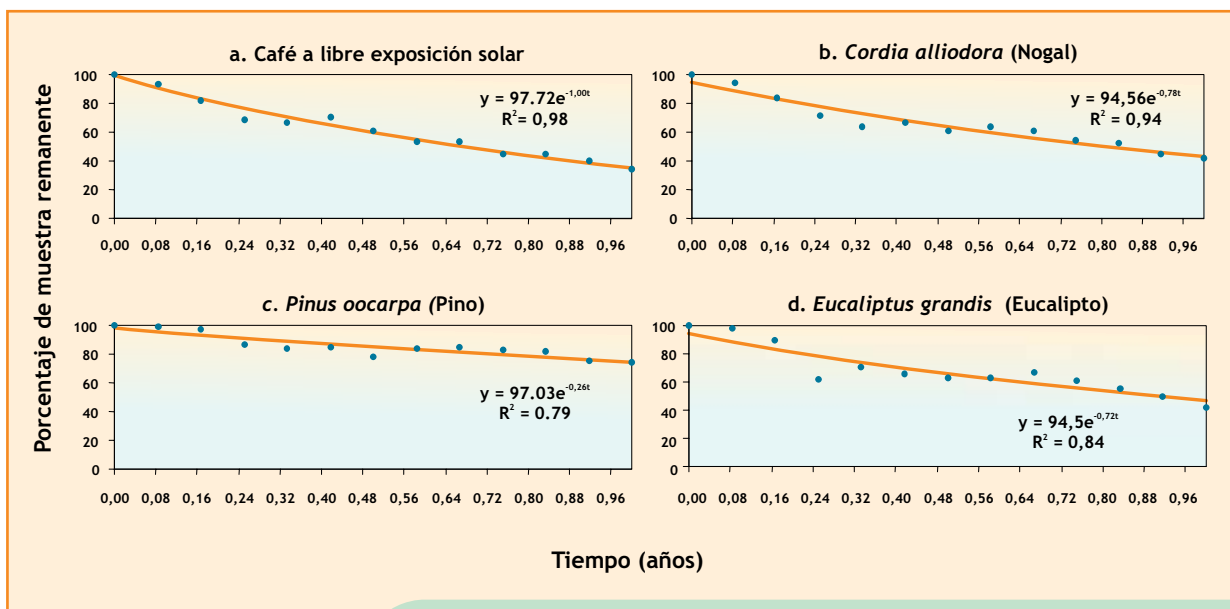


Figura 9.6. Dinámica de la descomposición de residuos vegetales de café y tres especies forestales, Subestación Experimental Paraguaicito (Quindío) (Farfán y Urrego, s.f.).

En un período de 365 días se descompone e incorpora al suelo el 65,1% de los residuos producidos por café, el 56,7% de los producidos por *C. alliodora*, el 25,2% de los producidos por *P. oocarpa* y el 54,0% de los producidos por *E. grandis* (Tabla 9.11).

En un período de 365 días de descomposición la biomasa seca producida por el café, transfiere al suelo el 64,8% del N, 82,9% del P, el 96,7% del K, el 34,3% del Ca y el 63,1% del Mg contenido en los residuos vegetales (Tabla 9.12).

En este mismo período, la descomposición de los residuos vegetales producidos por *C. alliodora*, transfiere al suelo el 33,3% del N, 54,4% del P, 93,6% del K, el 54,0% del Ca y

el 67,7% del Mg contenido en estos residuos (Tabla 9.13). Al finalizar los 365 días los residuos vegetales producidos por *P. oocarpa*, no transfirieron al suelo N, P, Ca y Mg; solo liberaron el 64,5% del K presente en los residuos (Tabla 9.14).

En un período de 365 días de descomposición la biomasa seca producida por *E. grandis*, transfiere al suelo el 23,6% del N, 35,5% del P, el 89,3% del K, el 28,5% del Ca y el 39,9% del Mg contenido en los residuos vegetales (Tabla 9.15).

La materia orgánica del suelo constituye la principal fuente de C para los microorganismos, pero no todo el C de la materia orgánica es transformado por los microorganismos; gran parte se pierde en forma de CO₂

Tabla 9.10. Coeficientes de descomposición e isohúmicos de café y tres especies forestales (Farfán y Urrego, s.f.).

Tratamientos	Tasa de descomposición de residuos			Coeficiente Isohúmico (K')
	Modelos	K.año ⁻¹	R ²	
Café a libre exposición	$y = 97,7e^{-1,0t}$	1,00 a	0,98**	0,37 a
Café con sombrío de nogal	$y = 92,9e^{-1,0t}$	1,01 a	0,98	0,36 a
Café con sombrío de pino	$y = 88,0e^{-0,9t}$	0,87 a	0,98	0,42 a
Café con sombrío de eucalipto	$y = 97,3e^{-1,1t}$	1,08 a	0,97	0,34 a
<i>Cordia alliodora</i> (nogal)	$y = 94,6e^{-0,8t}$	0,78 a	0,99	0,46 a
<i>Pinus oocarpa</i> (pino)	$y = 97,0e^{-0,3t}$	0,26 b	1,00	0,77 b
<i>Eucaliptus grandis</i> (eucalipto)	$y = 94,5e^{-0,7t}$	0,72 a	0,99	0,49 a

k: Tasa de descomposición anual

** p<0,001

Tabla 9.11. Porcentaje de la biomasa inicial descompuesta e incorporada al suelo mensualmente (Farfán y Urrego, s.f.).

Especies	N° de Días												
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	365
Café a libre exposición	0,0	9,8	17,6	23,9	29,7	35,8	40,7	45,3	50,0	53,8	57,4	61,1	64,1
Café con sombrío de nogal	0,0	14,3	21,8	27,8	33,4	39,2	43,9	48,3	52,8	56,4	59,8	63,3	66,2
Café con sombrío de pino	0,0	17,9	24,0	29,2	33,9	38,9	43,0	46,8	50,8	54,1	57,2	60,4	63,1
Café con sombrío de eucalipto	0,0	10,7	19,0	25,7	31,9	38,2	43,3	48,0	52,8	56,7	60,3	64,0	67,0
<i>Cordia alliodora</i> (nogal)	0,0	11,2	17,2	22,2	26,9	31,9	36,0	39,9	43,9	47,3	50,5	53,9	56,7
<i>Pinus oocarpa</i> (pino)	0,0	5,0	7,2	9,1	10,9	13,0	14,8	16,6	18,5	20,2	21,8	23,6	25,2
<i>Eucaliptus grandis</i> (eucalipto)	0,0	10,8	16,4	21,1	25,5	30,2	34,1	37,8	41,7	44,9	48,0	51,3	54,0

Tabla 9.12. Concentración (%), contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca media producida por Café y transferencia (%) mensual al suelo (Farfán y Urrego, s.f.).

Nut.	(%)	Kg	Período (días)													R ²	p
			0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	365		
N	2,83	123,1	0,0	34,0	34,2	39,1	42,4	41,4	43,6	49,7	51,4	53,2	50,7	62,3	64,8	0,77	*
P	0,21	9,1	0,0	59,4	60,8	68,3	69,1	68,6	68,0	73,0	70,2	75,9	77,4	81,3	82,9	0,51	*
K	1,25	54,4	0,0	17,7	65,5	88,9	89,5	86,5	91,9	90,5	93,2	96,5	94,7	96,4	96,7	0,58	*
Ca	1,75	74,8	0,0	4,1	7,9	16,9	5,9	-7,1	7,9	8,7	4,6	20,9	7,1	24,1	34,3	0,41	*
Mg	0,35	15,2	0,0	24,9	14,2	18,6	38,3	30,3	39,1	46,9	54,0	47,1	48,3	63,8	63,1	0,88	*

* p<0,01 en todos los casos

Tabla 9.13. Concentración (%) y contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca media producida por *C. alliodora* y transferencia (%) mensual al suelo (Farfán y Urrego, s.f.).

Nut.	(%)	Kg	Período (días)													R ²	p
			0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
N	1,44	49,8	0,0	8,3	19,6	17,1	31,5	21,6	17,2	4,0	18,2	9,3	20,1	26,7	33,2	0,23	0,09
P	0,10	3,5	0,0	5,7	7,7	28,1	16,7	0,3	27,4	29,6	26,8	29,9	47,2	55,1	54,4	0,79	*
K	0,80	27,7	0,0	-2,6	67,5	75,7	84,8	87,5	87,1	86,4	93,1	91,9	91,4	93,3	93,6	0,58	*
Ca	5,50	190,3	0,0	33,1	37,5	25,5	24,3	23,9	20,8	20,9	23,5	42,1	37,6	51,8	54,0	0,47	*
Mg	0,80	27,7	0,0	18,7	5,7	37,1	28,7	31,1	36,5	39,2	42,1	52,1	53,8	74,2	67,7	0,89	*

* p<0,01 en todos los casos

Tabla 9.14. Concentración (%) y contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca media producida por *P. oocarpa* y transferencia (%) mensual al suelo, (Farfán y Urrego, s.f.).

Nut.	(%)	Kg	Período (días)													R ²	p
			0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
N	0,48	32,0	0,0	-8,9 ¹	-17,4	4,0	-1,2	-7,8	-35,7	-18,3	-18,6	25,9	-39,2	-18,0	-3,6	0,03	0,58
P	0,02	1,3	0,0	1,3	2,9	13,0	-25,6	-69,7	-96,3	-25,3	-27,5	-24,1	-22,3	-51,1	-24,3	0,16	0,17
K	0,18	12,0	0,0	45,2	19,1	32,4	44,2	5,7	47,7	62,9	76,4	63,2	68,3	58,0	65,5	0,58	*
Ca	0,45	30,0	0,0	-18,4	-20,9	1,4	3,2	-11,2	-20,4	-22,5	-15,2	-3,0	-15,9	-14,2	-3,9	0,01	0,74
Mg	0,06	4,0	0,0	-48,0	-29,5	-16,0	-25,6	-69,7	-43,9	-39,2	-41,7	-37,9	-49,4	-51,1	-36,8	0,22	0,10

* p<0,01

¹ Valores negativos indican inmovilización del nutriente

Tabla 9.15. Concentración (%) y contenido total (kg) de nutrientes en la biomasa seca media producida por *E. grandis* y transferencia (%) mensual al suelo (Farfán y Urrego, s.f.).

Nut.	(%)	Kg	Período (días)													R ²	p
			0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
N	0,78	49,8	0,0	3,0	-5,7	30,0	0,9	-4,2	-8,2	6,3	-12,5	2,3	-11,2	10,9	23,6	0,01	0,75
P	0,05	3,2	0,0	21,4	28,3	50,3	15,7	7,5	11,8	25,0	-20,6	15,3	12,2	21,1	35,5	0,00	0,96
K	0,59	37,7	0,0	36,7	33,1	75,8	69,0	66,4	75,4	65,0	64,8	76,4	89,8	90,8	89,3	0,70	*
Ca	1,07	68,4	0,0	-9,3	8,7	31,5	35,7	20,3	25,8	24,6	-4,6	-1,8	5,6	16,1	28,5	0,02	0,61
Mg	0,14	8,9	0,0	-5,3	4,0	42,3	14,7	10,3	19,0	19,6	4,3	9,3	17,7	36,6	39,9	0,31	0,05

* p<0,01

durante la mineralización. La cantidad de carbono en la materia orgánica asimilable por los microorganismos es variable y depende del microorganismo y grupos de microorganismos considerados (Mendonca y Gomide, 2005).

Agentes responsables de la descomposición

La microbiota del suelo, que en su mayoría es heterótrofa, depende de una fuente de carbono orgánico para poder crecer y multiplicarse; así prácticamente todos los hongos, actinomicetos y la mayoría de bacterias y protozoarios participan intensamente de los procesos de descomposición de la materia orgánica. Los compuestos orgánicos y minerales del suelo sufren transformaciones ya sea por procesos de naturaleza química, físicoquímica o biológica, en estos intervienen directa o indirectamente microorganismos o los complejos enzimáticos del suelo.

Humedad del suelo

Todos los microorganismos del suelo dependen del agua para su crecimiento y desarrollo. Gran parte de los microorganismos del suelo son aeróbicos, por tanto, el tenor de agua del suelo influye en la descomposición de la materia orgánica. Los dos extremos de humedad del suelo, encharcamiento o desecación, provocan una disminución en la velocidad de la descomposición de la materia orgánica, debido a que en estas condiciones se reduce las actividades microbiana y enzimática; la actividad microbiana se ve reducida en el primer caso por la falta de oxígeno y en el segundo por la falta de agua.

Temperatura del suelo

El rango de temperatura para el crecimiento microbiano, está entre -0,5 y 68°C, siendo un rango bastante amplio, lo cual no quiere decir que todos los microorganismos crecen bien en ella. Algunos crecen bien a temperatura mas bajas (0,5 -20°C) organismos psicrófilos; otros a temperaturas medias (14 - 45°C) mesófilos y otros se desarrollan mejor a temperaturas más elevadas (42 - 68°C) microorganismos termófilos.

Los microorganismos mesófilos y termófilos son los más activos en la descomposición de la materia orgánica. En suelos tropicales y considerando el efecto de la temperatura, se presenta una velocidad de descomposición de la materia orgánica 5 a 10 veces mayor que en suelos con clima templado. El grupo termófilo de descomponedores presenta particular importancia en el caso de la producción de abono orgánico, mediante compostaje.

Acidez y contenido de nutrimentos del suelo

El pH del suelo también tiene influencia en la velocidad de descomposición de la materia orgánica; la mayoría de los microorganismos del suelo tiene su pH óptimo de actuación, alrededor del neutro. Además de la exigencia de C y N por los microorganismos del suelo, otros elementos igualmente son necesarios, en especial P, S y microelementos.

En conclusión, la tasa de descomposición no depende solo de los factores ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación y de las características del suelo, de su humedad y de las poblaciones microbianas; las diferencias en descomposición de los materiales

vegetales están en función de la composición química o de sus concentraciones de nutrimentos y de la relación C/N.

Fertilización orgánica de cafetales

En almácigos

Pulpa de café descompuesta. En la etapa de almácigo, los principales problemas presentados son: nutrición, mancha de hierro, nematodos, entre otros. Algunos de estos problemas pueden ser controlados con la utilización de materia orgánica para el llenado de bolsas en los almácigos, siendo la principal fuente de esta la pulpa de café descompuesta. Experimentalmente se ha demostrado que con la adición de pulpa de café descompuesta para el llenado de bolsas en los almácigos, las plantas crecen sanas y vigorosas (Concepción, 1982; Mestre, 1973; Mestre, 1977; Valencia, 1972; Valencia y Salazar, 1993).

Mestre (1973), comparó el crecimiento de plántulas de café en almácigos aplicando diferentes cantidades de pulpa descompuesta y proveniente de fosas de almacenamiento, obteniendo que a medida que aumentan las cantidades de pulpa descompuesta, aumenta el tamaño y peso seco de raíces; recomienda, para la preparación del sustrato mezclas de tierra mas pulpa descompuesta en proporción 1:1. O que la proporción óptima entre pulpa y tierra de la mezcla para llenar las bolsas es de 70 partes de pulpa descompuesta y 30 de tierra por volumen; esto equivale a la mezcla de 40 partes de pulpa seca y 60 partes de tierra por volumen; puede presentarse un efecto negativo en crecimiento cuando las cantidades de pulpa descompuesta son superiores a la cantidad óptima (Mestre, 1977).

Parra (1968) evaluó el efecto de la pulpa descompuesta sobre el crecimiento de plántulas de café tanto aisladamente como en combinación con tres elementos nutritivos: N, P y K, obtuvo que con aplicaciones de N disminuye significativamente el crecimiento de la parte aérea y de las raíces, alcanzando esta acción detrimental hasta un 24% sobre el testigo. La semejanza entre la respuesta a la pulpa de café aplicada al suelo y la fertilización con P hace presumir que la pulpa actúa como material de naturaleza fosfórica.

Cadena (1982) estudió el efecto de la pulpa de café sobre el control de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke) usando como sustrato suelo mezclado con pulpa descompuesta en distintas proporciones (0, 25, 50, 75 y 100% de pulpa), estos tratamientos se

compararon con y sin control químico; evaluó Índice de infección, porcentaje de defoliación y peso seco de la parte aérea de la planta. A los 6 meses encontró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con pulpa con y sin fungicida en cuanto a control de la mancha de hierro, pero sí con el tratamiento sin pulpa y sin fungicida. El mejor tratamiento fue el de una parte de pulpa (25%) y tres partes (75%) de suelo.

Empleo de otros residuos orgánicos en la producción de almácigos de café

- Gallinaza. La gallinaza también constituye un excelente abono orgánico para almácigos de café, las plantas provenientes de almácigos con gallinaza presentan mejor vigor y desarrollo que las que provienen de almácigos hechos directamente con suelo; Investigaciones realizadas por Salazar y Mestre (1990) con el objetivo de estimar la cantidad óptima de gallinaza que se agrega al suelo para los almácigos de café comparándola con la pulpa, obtuvieron los mayores valores de peso seco de la parte aérea, peso seco de raíces y altura de las plantas cuando la mezcla de tierra y gallinaza se hace en proporción volumétrica de 3/4 partes de suelo y 1/4 de gallinaza, y se obtienen similares resultados cuando la mezcla se hace en proporción 1:1 de tierra:pulpa descompuesta en volumen.

- Cenichaza. La cenichaza, residuo industrial en el proceso de elaboración del azúcar, es una excelente fuente como abono orgánico probada en hortalizas, frutales, ornamentales, etc. Salazar y Mestre (1991) estimaron que la cantidad óptima de cenichaza que se debe mezclar al suelo como aporte de abono orgánico para la construcción de almácigos de café, está entre el 25 y el 75% de cenichaza, pero por costos la mejor combinación es la de 3 partes de suelo por una parte de cenichaza.

- Estiércol de ganado. Salazar y Montesino (1994) evaluaron el estiércol de ganado como fuente de materia orgánica para almácigos de café, el efecto de los tratamientos fue evaluado en cuanto a altura de las planta y peso seco de la parte aérea y de raíces de las plantas a los seis meses de edad; de los resultados obtuvieron que cuando la mezcla de estiércol de ganado y suelo para el llenado de las bolsas se hace en la proporción de volúmenes de 1/4 parte de estiércol de ganado y 3/4 partes de suelo; el peso seco y la altura de las plantas presentan sus mayores valores.

- Desechos del gasógeno. Una de las formas más sencillas de la utilización de la pulpa del café, además de su uso como abono es la obtención de combustible o biogas mediante digestión anaeróbica. Esta digestión a partir de desperdicios agrícolas permite producir energía, obtener abonos orgánicos, protegiendo al mismo tiempo

el medio ambiente (Bedoya y Salazar, 1985). Con el objetivo de evaluar el efecto del material de desecho del gasógeno a base de pulpa sobre el desarrollo de las plantas y encontrar la mezcla óptima de este material con la tierra para el llenado de bolsas para los almácigos Bedoya y Salazar (1985) obtuvieron que, el residuo de fermentación metánica a base de pulpa es un abono adecuado para almácigos de café, ya que con este material de desecho en mezcla con la tierra de las bolsas para almácigos aumentan notoriamente la altura y el peso seco total de las plantas. Cuando se emplea este material se obtienen plantas aptas para ser trasplantadas a los 5 meses de edad. El mejor desarrollo se obtiene cuando se hace la mezcla con 3/4 partes del material de desecho y 1/4 parte de suelo.

- **Conclusión:** Con el suministro de las cantidades apropiadas de materia orgánica en mezcla con el suelo para el llenado de bolsas para el almácigo, empleando el tamaño de bolsa adecuado, 17 cm x 23 cm, se hacen innecesarias las aplicaciones para el control de enfermedades con fungicidas, las aplicaciones de fertilizantes vía edáfica o foliar y se obtienen plantas con el desarrollo y vigor apto para ser trasplantada al campo definitivo a la edad recomendada, - 5 a 6 meses en el almácigo (Farfán, 1995; Federación Nacional de Cafeteros, 1990; Salazar, 1992; Uribe y Mestre, 1978).

En establecimiento y producción del café

- **Pulpa de café compostada.** Uribe y Salazar (1983) encontraron que con aplicaciones superficiales de 6 y 12 kg de pulpa por planta y por año se obtenían producciones similares que con fertilización química y que la aplicación de pulpa dentro del hoyo de siembra solamente es necesario cuando las deficiencias de materia orgánica así lo indiquen. Si se aplican 64 t.ha⁻¹ de pulpa, el tiempo de permanencia de los elementos individuales, N, Ca, Mg y K, con base en un valor residual del 25% del original aplicado, este fue de 6 meses para el N; un año para el Ca y Mg y de cuatro meses para el K; por tanto el tiempo de degradación de la pulpa puede fijarse en seis meses o sea el tiempo de sustentación del N (López, 1966).

En una observación sobre producción de café vía orgánica, el cual fue establecido en la Estación Central Naranjal, durante el ciclo productivo comprendido entre 1996 y el 2000, con café variedad Colombia con una densidad de 4.500 plantas.ha⁻¹, se obtuvieron las producciones presentadas en la Tabla 9.16 (Giraldo *et al.*, 2000).

La producción acumulada de cinco cosechas fue de 13.638,8 kg de café pergamino seco.ha⁻¹, de las cuales se obtuvo 24.251,0 kg de pulpa; con esta pulpa y mediante la lombriz roja californiana se produjo 8.972,9 kg de lombricompuesto. Si se aplica 2,0 kg de lombrinaza por

planta por año, con el lombrabono obtenido alcanzaría para fertilizar al año, aproximadamente la quinta parte del café; o se tendría que acumular durante cinco años la lombrinaza obtenida para fertilizar el lote en su totalidad.

El abono orgánico a base de pulpa que un caficultor elabora en su finca, no es suficiente para cumplir con un plan de fertilización orgánica, por tanto deben tenerse otras alternativas para cumplir con este plan, como: Aplicación de las dosis adecuadas de abonos orgánicos con base en los análisis de suelos, abonos verdes, residuos de cosechas, cultivos intercalados (maíz, frijol, plátano), aporte de material orgánico por las especies arbóreas empleadas como sombrío, entre otras.

- **Lombrinaza a partir de pulpa de café.** Con el objeto de determinar la dosis óptima de lombricompuesto a partir de pulpa para la fertilización orgánica de café a libre exposición, se han realizado estudios, con los cuales se evaluaron cuatro dosis de lombrinaza y se compararon con el café fertilizado según los resultados de los análisis de suelos y el café sin fertilizar. Estos resultados se presentan en la Tabla 9.17.

Los resultados de la producción media de cuatro cosechas en la Subestación Experimental Paraguaicito y de cinco cosechas en la Subestación experimental La Catalina, indican que con la aplicación de 2,0 a 3,0 kg de lombricompuesto por planta por año, se obtienen producciones iguales que cuando se aplica al café fertilizantes químicos basados en los análisis de suelos. En la Estación Central Naranjal, la producción es mayor cuando se aplican de 2,0 a 3,0 kg de lombrinaza por planta por año que cuando se hace fertilización química (Cenicafé, 2002b).

Para garantizar el suministro adecuado de nutrimentos, en sistemas de producción de café cuya fertilización se base en la aplicación de lombricompuesto de pulpa de café, la dosis a aplicar debe ser de 2 a 3 kg de lombricompuesto por planta por año, fraccionada en dos aplicaciones (1,0 a 1,5 kg en el primer semestre del año y de 1,0 a 1,5 kg de lombrinaza en el segundo semestre).

- **Abonos verdes.** En la Estación Central Naranjal se evaluó el aporte de biomasa seca, concentración y contenido de nutrimentos en las especies leguminosas *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida*, especies que pueden ser empleadas como abonos verdes en café (Jiménez *et al.*, 2005(a)). Las densidades de siembra de las leguminosas fueron de 172.000, 86.000 y 60.000 plantas por ha, el café se estableció con 5.000 plantas por ha (dos tallos por sitio). Los resultados se presentan en las Tablas 9.18 y 9.19.

Biomasa seca. La producción media de materia seca (acumulada de tres cortes por año en las tres densidades), fue de 7,6 t.ha⁻¹ en guandul y 4,2 t.ha⁻¹ en crotalaria,

Tabla 9.16. Producciones de café orgánico (kg cps.ha⁻¹.año⁻¹) durante los años 1996 a 2000 en la Estación Central Naranjal (Caldas) (Giraldo *et al.*, 2000).

Año	Producción (kg de cps.ha ⁻¹)	Pulpa de café (kg)	Lombriabono (kg)	plantas a fertilizar
1996	2.951,3	5.247,7	1.941,6	970,8
1997	3.136,3	5.576,3	2.063,2	1.031,6
1998	3.091,3	5.496,8	2.033,8	1.016,9
1999	2.585,0	4.596,9	1.700,9	850,4
2000	1.875,0	3.333,3	1.233,3	616,7
Acumulado	13.638,8	24.251,0	8.972,9	4.486,4

Tabla 9.17. Producciones (kg c.p.s.ha⁻¹.año⁻¹) medias de café fertilizado con lombricompost en las Subestaciones Experimentales Paraguaicito (Quindío), La Catalina (Risaralda) y en la Estación Central Naranjal (Caldas). (Giraldo *et al.*, 2000(b)).

Dosis de lombricompost	Producciones medias (kg cps.ha ⁻¹ .año ⁻¹)		
	S.E. Paraguaicito (4 cosechas)	S.E. La Catalina (5 cosechas)	E.C. Naranjal (5 cosechas)
0,5 kg	3272,5 bc*	3011,3 b	3255,0 b
1,0 kg	3388,8 abc	3546,3 ab	3871,3 ab
2,0 kg	3717,5 ab	3766,3 a	4133,8 a
3,0 kg	3782,5 a	3965,0 a	4296,3 a
Con Fertilización	3633,8 ab	3972,5 a	3198,8 b
Sin fertilización	2973,8 c	3267,5 ab	2115,0 c

* Letras diferente indican diferencia estadística, según prueba Tukey al 5%

las cuales fueron diferentes estadísticamente; tefrosia con un solo corte en al año produjo 5,4 t.ha⁻¹, el cual no fue diferente al observado en las otras dos especies (Jiménez *et al.*, 2005).

Contenido de nutrimentos. Los contenidos de N fueron de 238,1; 151,6 y 196,3 kg.ha⁻¹.año⁻¹ en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida* respectivamente. Los contenidos de P en las tres especies fueron de 21,2; 16,1 y 17,6 kg.ha⁻¹. Los de K de 127,3; 97,4 y 107,7 kg.ha⁻¹. Los de Ca 35,0; 32,1 y 37,1 kg.ha⁻¹ y los de Mg de 10,9; 9,7 y 10,3 kg.ha⁻¹ en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida*, respectivamente .

Los abonos verdes son una alternativa complementaria a la fertilización del café. En un sistema de producción de café especial, para que el flujo de nutrimentos sea permanente, se debe hacer mínimo dos cortes al año a las leguminosas empleadas con este propósito, o realizar dos siembras de estas leguminosas en el año si las

plantas solo permiten hacer un corte, de manera que su total descomposición coincida con las épocas normales de fertilización del café (Jiménez, 2004; Jiménez *et al.*, 2005(a)).

• **Biomasa seca y ciclaje de nutrimentos en plátano asociado al café.** En la Subestación Experimental La Catalina se evaluó el efecto de la materia orgánica y el ciclaje de nutrimentos producida por la asociación de plátano sobre la producción de café con y sin aplicación de fertilizante. El café se estableció a densidades de 2.500 plantas por ha y el plátano a 278 plantas por hectárea (Farfán, 2005).

Biomasa seca. La biomasa seca de plátano acumulada durante cuatro ciclos productivos, en el café sin aplicación de fertilizante fue de 7,7 t.ha⁻¹ y en el café con aplicación de fertilizante de 5,7 t.ha⁻¹.

Tabla 9.18. Producción media de materia seca ($t \cdot ha^{-1}$) de tres especies leguminosas sembradas a tres densidades (Jiménez *et al.*, 2005(a)).

Densidad (Plantas por ha)	Producción de biomasa ($t \cdot ha^{-1}$)		
	Guandul	Crotalaria	Tefrosia
172.000	8,9	5,8	6,5
86.000	8,0	3,5	4,8
60.000	6,1	3,2	5,0
Producción media	7,6 a*	4,2 b	5,4 ab

* Medias con letra diferente, indican diferencias estadística según prueba Tukey al 5%.

Tabla 9.19. Contenido (kg) de nutrientes en el material vegetal producido en cada corte de las leguminosas (Jiménez *et al.*, 2005(a)).

Nutrientes	Contenido ($kg \cdot ha^{-1}$) de nutrientes		
	Guandul	Crotalaria	Tefrosia
Nitrógeno	238,1	151,6	196,3
Fósforo	21,2	16,1	17,6
Potasio	127,3	97,4	107,7
Calcio	35,0	32,1	37,1
Magnesio	10,9	9,7	10,3

Ciclaje de nutrientes. La transferencia de nutrientes por la materia seca producida por el plátano en los cuatro ciclos productivos, al café sin aplicación de fertilizante fue de $84,7 \text{ kg de } N \cdot ha^{-1}$, $8,4 \text{ kg de } P \cdot ha^{-1}$, $323,4 \text{ kg de } K \cdot ha^{-1}$, $68,2 \text{ kg de } Ca \cdot ha^{-1}$ y de $8,9 \text{ kg de } Mg \cdot ha^{-1}$. El plátano asociado al café con aplicación de fertilizante, transfirió $83,7 \text{ kg de } N \cdot ha^{-1}$, $6,5 \text{ kg de } P \cdot ha^{-1}$, $238,1 \text{ kg de } K \cdot ha^{-1}$, $55,4 \text{ kg de } Ca \cdot ha^{-1}$ y $7,3 \text{ kg de } Mg \cdot ha^{-1}$.

De los resultados obtenidos del estudio se destaca que a partir de la descomposición de los residuos de plátano solamente se puede suplir parte del requerimiento del potasio, siendo necesario complementar para el resto de requerimientos nutricionales del café.

• **Aporte de materia orgánica y nutrientes en café bajo sombrío de guamo (*Inga sp.*).** En la Estación Central Naranjal de Cenicafé y en El Cairo, municipio del departamento del Valle del Cauca (Colombia), se evaluó el ingreso de materia orgánica y nutrientes del material vegetal (hojas, tallos, flores, frutos y otros órganos) de plantas de café y guamo en un sistema agroforestal (Cardona y Sadeghian, 2005).

Los residuos vegetales como materia seca de café y guamo que ingresa al sistema fueron $10,5 \text{ t} \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ en Naranjal y $11,2 \text{ t} \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ en El Cairo (Valle). El contenido de nutrientes ($kg \cdot ha^{-1}$) en este material, y que potencialmente puede ser devuelto al suelo, se presenta en la Tabla 9.20.

El aporte significativo de material orgánico contribuye a la formación de materia orgánica estable del suelo. Con la descomposición de la hojarasca proveniente del guamo, el café recibe aportes importantes de nutrientes, principalmente de N, Ca, Mg, y elementos menores. La capa de hojarasca que se forma en el café con sombrío de guamo, además de proporcionar gran cantidad de nutrientes, disminuye la pérdida de suelo por la erosión, reduce la presencia de arvenses y contribuye a la economía hídrica del suelo.

• **Aporte de biomasa seca y nutrientes por especies forestales empleadas como sombrío en café.** En dos estudios en los cuales se evaluó el efecto del sombrío sobre la producción de café, se registró el aporte de biomasa seca (hojarasca) y reciclaje de nutrientes por parte de los árboles (Urrego y Farfán, 2000), tanto de café como de sombra, estos resultados se presentan en la Tabla 9.21.

La producción media de biomasa seca por el café establecido a densidades de siembra de 4.444 plantas por hectárea y bajo sombrío fue de $4,8 \text{ t} \cdot ha^{-1}$ y los árboles de sombra nogal, pino y eucalipto, produjeron respectivamente 4,0; 3,3 y $6,4 \text{ t}$ de materia seca por ha y por año. Para la misma distancia de siembra del sombrío ($6,0 \times 6,0 \text{ m}$), pero en otro experimento y en la Estación Central Naranjal, el guamo produjo 57,0% más biomasa seca que el Nogal, Pino y Eucalipto (media de las tres especies). El guamo recicla 78,3%, 69,1%, 13,0% y 36,3% más N, P, K y Ca, respectivamente, que las tres especies forestales (Urrego y Farfán, 2000).

• **Efecto de la poda de *Erythrina fusca* como sombrío del café a diferentes niveles de fertilización.** En la Subestación Experimental de Pueblo Bello, se evaluó el efecto de la poda de *E. fusca* como sombrío del café sometido a diferentes niveles de fertilización. Los ciclos de podas fueron a los 90, 180 y 360 días y los niveles de fertilizante fueron de 0, 50% y 100% de la recomendación

Tabla 9.20. Contenido de nutrientes ($kg \cdot ha^{-1}$) en el material orgánico (Cardona y Sadeghian, 2005).

Nutriente	E. C. Naranjal	El Cairo (Valle)
Nitrógeno	199,2	219,4
Fósforo	7,7	13,8
Potasio	48,9	55,5
Calcio	158,1	187,1
Magnesio	27,3	30,7
Hierro	1,3	1,2
Manganeso	0,99	2,3
Zinc	0,21	0,19
Cobre	0,15	0,17
Boro	0,21	0,22

dada en el análisis de suelos; el café se sembró a distancias de 1,5 x 2,5 m (2.667 plantas por hectárea) y el sombrío a 3,0 x 5,0 m (667 plantas por hectárea). Los resultados de producción de café se presentan en la Tabla 9.22 y los de biomasa seca producida por *E. fusca* en la Tabla 9.23.

Con relación a los niveles de fertilización se observaron diferencias a favor de la mayor dosis. Se realizó un análisis a los siguientes tratamientos dentro de cada grupo, estos fueron:

Poda de *E. fusca* cada 90 días y 100% de la dosis de fertilizante

Poda de *E. fusca* cada 180 días y 100% de la dosis de fertilizante y

Poda de *E. fusca* cada 360 días y café sin fertilizar

Los resultados no mostraron diferencias, lo cual puede definir como mejor opción la siembra del café bajo sombra sometida a ciclos de poda anual y sin fertilización (Cenicafé, 2002a).

La biomasa cuantificada por hectárea en tratamientos de poda de ciclo anual fue de 11,8 toneladas de materia fresca por año, un poco más de tres toneladas de materia seca, de la cual el 34% correspondió a follaje. En los ciclos de poda semestral y trimestral, la biomasa originada no alcanzó a superar la tonelada y media de materia seca por hectárea.año⁻¹, no obstante, el 50% correspondió a las hojas.

Tabla 9.21. Aporte de biomasa seca (t.ha⁻¹.año⁻¹) y reciclaje de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹), en café y cuatro especies arbóreas empleadas como sombrío (Urrego y Farfán, 2000).

Especies	Biomasa seca (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
		(kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				
Café	4,8	102,7	4,4	62,2	79,7	16,1
<i>Cordia alliodora</i>	4,0	68,0	3,7	39,3	184,5	33,3
<i>Pinus oocarpa</i>	3,3	18,9	1,0	10,5	18,8	2,6
<i>Eucalyptus grandis</i>	6,4	45,8	2,9	35,8	84,9	9,2
<i>Inga edulis</i>	10,6	203,6	8,2	32,8	150,8	9,8

Tabla 9.22. Producción acumulada (1999 a 2002) de café cereza (kg/planta), según niveles de fertilización y ciclos de poda (días) (Cenicafé, 2002(a)).

Período de las podas (días)	Nivel de fertilización (%)					
	0		50		100	
	Producción	c.v.	Producción	c.v.	Producción	c.v.
90	8,98	32,51	12,28	29,53	15,49	27,08
180	10,56	35,19	11,37	19,36	13,92	13,67
360	10,77	22,80	8,65	16,33	12,19	16,46

c.v. = Coeficiente de variación

Tabla 9.23. Aporte de biomasa por árbol, en cada ciclo de poda de *E. fusca* por año (Cenicafé, 2002(a)).

	Períodos de podas (días)					
	90		180		360	
	kg	c.v.	kg	c.v.	kg	c.v.
Total	14,69	76,33	33,02	72,76	71,02	76,83

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

- El término orgánico algunas veces se usa para significar que los alimentos producidos utilizando fuentes orgánicas de nutrimentos poseen características especiales, beneficios especiales para la salud y quizás, mayor valor nutricional. En relación al uso de nutrimentos, se refiere a la práctica de fertilizar la planta solamente con residuos de cultivos o deshechos animales en lugar de las fuentes químicas lo que implica que unos son naturales y los otros sintéticos.

- Antes de aplicar un abono orgánico deben considerarse sus características: (1) Composición mineral; (2) Humedad, menor del 15%; (3) Contenido de ácidos fúlvicos; (4) Relación C:N; (5) pH; (6) Conductividad eléctrica; (7) C.I.C.; (8) Cantidad de materiales inertes; (9) Cantidad de partículas que componen el material; (10) Contenido de metabolitos potencialmente tóxicos y (11) Contenido de patógenos, tanto de plantas como de animales.

- En la Estación Central Naranjal de Cenicafe, se evaluó la transferencia de nutrimentos y tasa de descomposición de residuos vegetales producidos por *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* establecidas a 172.000, 86.000 y 60.000 plantas.ha⁻¹, Jiménez (2004). La producción media de biomasa seca de *Cajanus cajan* fue de 7,6 t.ha⁻¹, de *Crotalaria juncea* de 4,2 t.ha⁻¹ y de *Tephrosia candida* de 5,4 t.ha⁻¹. La tasa relativa de descomposición mensual (k) en *C. cajan* fluctuó entre 0,18 y 0,21, en *C. juncea* entre 0,25 y 0,32 y en *T. candida* entre 0,18 y 0,21; La densidad de siembra no afectó la tasa de descomposición de los residuos vegetales de *C. cajan* y *T. candida*. Los residuos vegetales de *C. cajan* se descomponen más lentamente (K = 0,20) que los residuos de *C. juncea* y *T. candida* (K = 0,29 y 0,26 respectivamente). La fracción de la materia orgánica no descompuesta (K_n) en un período de 180 días fluctuó entre 28 y 34% en *C. cajan*, entre el 11 y 22% en *C. juncea* y entre el 19 y 22% en *T. candida*. En un período de 180 días se descompone e incorpora al suelo el 71,2% de los residuos producidos por *C. cajan*, el 85,0% de los producidos por *C. juncea* y el 80,6% de los producidos por *T. candida*. Las tasas máximas de descomposición se presentan en los 30 primeros días, 23,1%, 40,2% y 28,8% en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida* respectivamente. Las tasa más bajas de descomposición se registraron entre los 120 y 180 días, 7,7%, 6,5% y 7,6% en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida* respectivamente. En un período de 180 días de descomposición la biomasa seca producida por *C. cajan* transfiere al suelo el 57,8% del N, 79,8% del P, el 96,8% del K, el 25% del Ca y el 65,7% del Mg contenido en los residuos vegetales. En este mismo período, la descomposición de los residuos vegetales producidos por *C. juncea*, transfiere al suelo el 84,6% del N, 89,1% del P, 98,8 del K, el 74,3% del Ca y el 90,0% del Mg contenido en estos residuos. Transcurridos 180 días los residuos vegetales producidos por *T. Candida*, transfirieron al suelo el 78.3% del N, el 84.2% del P, el 97,9 % del K, el 50,9% del Ca y el 86,9% del Mg contenidos en los residuos. La velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo, independiente de la forma en que se encuentre, está condicionada por numerosos factores, entre ellos: Origen y naturaleza de la materia orgánica, agentes responsables de la descomposición, humedad, temperatura, acidez del suelo y contenido de nutrimentos del suelo.

- Se hacen innecesarias las aplicaciones de fungicidas, la aplicación de fertilizantes vía edáfica o foliar y se obtienen plantas con el desarrollo y vigor adecuados para ser trasplantadas al campo entre cuatro y seis meses de edad en el almacigo.

- Los resultados de la producción media de cuatro cosechas en la Subestación Experimental Paraguaicito y de cinco cosechas en la Subestación La Catalina, indican que con la aplicación de 2 a 3 kg de lombricompost por planta por año, se obtienen producciones similares que cuando se aplica al café fertilizantes químicos basados en los análisis de suelos. En la Estación Central Naranjal, la producción es mayor cuando se aplican de 2,0 a 3,0 kg de lombricompost por planta por año que cuando se hace fertilización química.

- En la Subestación Experimental La Catalina se determinó la producción de materia orgánica y el ciclaje de nutrimentos producida por la asociación de plátano con el café, con y sin aplicación de fertilizante. El café se estableció a densidades de 2.500 plantas/ha y el plátano a 278 plantas/ha. La biomasa seca de plátano acumulada durante cuatro ciclos productivos, en el café sin aplicación de fertilizante fue de 7,7 t.ha⁻¹ y en el café con aplicación de fertilizante de 5,7 t.ha⁻¹. La transferencia de nutrimentos por la materia seca producida por el plátano en los cuatro ciclos productivos, al café sin aplicación de fertilizante fue de 84,7 kg de N.ha⁻¹, 8,4 kg de P.ha⁻¹, 323,4 kg de K.ha⁻¹, 68,2 kg de Ca.ha⁻¹ y de 8,9 kg de Mg.ha⁻¹. En el café con aplicación de fertilizante, el plátano transfirió 83,7 kg de N.ha⁻¹, 6,5 kg de P.ha⁻¹, 238,1 kg de K.ha⁻¹, 55,4 kg de Ca.ha⁻¹ y 7,3 kg de Mg.ha⁻¹

- Efecto de la poda de *Erythrina fusca* como sombrío del café a diferentes niveles de fertilización. La biomasa cuantificada por hectárea en tratamientos de poda de ciclo anual fue de 11,8 toneladas de materia fresca por año, un poco más de tres toneladas de materia seca, de la cual el 34% correspondió a follaje. En los ciclos de poda semestral y trimestral, la biomasa originada no alcanzó a superar la tonelada y media de materia seca por hectárea/año; no obstante, el 50% correspondió a las hojas.

Tabla 9.24. Abonos, fertilizantes y acondicionadores de suelos permitidos en la producción orgánica (USA, 2000; JAS, 2001; MINAGRICULTURA, 2006; FAO, 1999; U.E., 2005).

Insumo orgánico	Res. No. 0187 (Colombia)		U.E 2092/91 (Unión Euro.)		USDA-NOP (EE.UU)		CODEX ALIMENT.		JAS (Japón)	
	L.A	A.P	L.A	A.P	L.A	A.P	L.A	A.P	L.A	A.P
	Abono tipo "Bocashi"									
Abonos foliares de origen natural										
Aglomerados de pelos y piel, productos lácteos										
Algas Marinas y sus derivados										
Arcillas (bentonita, perlita, vermiculita, entre otras)										
Aserrín, cortezas vegetales y residuos de madera										
Azufre natural										
Boro soluble										
Cachaza, vinaza										
Cal apagada										
Cal dolomita (Cal agrícola)										
Caldo Super Cuatro										
Caldos microbiológicos (Microbiano de Rhizósfera).										
Caliza, (cales agrícolas)										
Carbón vegetal										
Carbonato de calcio de origen natural										
Carbonato de magnesio										
Carbonato de magnesio de origen natural										
Cenizas de madera										
Ceolitas (caolín, silicato de aluminio)										
Cloruro de calcio										
Cloruro de potasio (rocas potásicas)										
Cloruro de sodio										
Conchas marinas trituradas										
Desechos domésticos orgánicos compostados										
Escoria de alto horno (Calfos)										
Estiércol líquido u orina										
Estiércoles compostados de animales										
Fosfato aluminocálcico										
Fosfato de magnesio										
Fuentes naturales de microelementos										
Guano										
Harina de carne, harina de pluma, lana, pelos, pescado										
Harina de sangre, polvo de pezuña, polvo de cuerno										
Hidróxido de magnesio										
Leonarditas										

Continúa...

...continuación

Lombricompost, deyecciones de insectos	■		■				■		■
Magnesita	■								
Mantillo de excrementos sólidos (gallinaza y estiércol)				■	■			■	
Mantillo procedente de cultivos de hongos	■		■		■			■	
Melaza o miel de purga	■								
Mezcla de materia vegetal compost o fermentado				■			■		■
Micorrizas, Rhizobium, Azotobachter, Azopirillium	■								■
Nitrato de potasio (rocas potásicas)		■							
Nitrozomas, Nitrobachter	■								■
Organismos biológicos naturales							■		■
Paja								■	
Polialitas (silicato triple de potasio, calcio y magnesio)		■							
Polvo de huesos, polvo de huesos desgelatinizado				■					■
Polvo de piedra							■		
Preparados vegetales	■								
Productos y subproductos orgánicos de origen vegetal			■						■
Roca fosfatada natural	■		■					■	■
Roca fosfórica (fosforitas)	■								■
Roca magnésica (roca calcárea de magnesio)		■					■		
Rocas potásicas		■					■		
Sal potásica en bruto. (kainita, silvinita, etc.).				■			■		
Serpentinas,		■							
Silicato de potasio (rocas potásicas)		■			■			■	■
Silicatos de magnesio		■			■				■
Solución de cloruro de calcio				■					
Subproductos de industria del pescado		■			■				■
Subproductos de industrias agroalimentarias y textiles		■						■	
Subproductos de industrias agropecuarias ecológicas	■							■	■
Subproductos de la industria azucarera, cacao y coco								■	■
Sulfato de magnesio (Kieserita, sales de Epson)		■		■	■		■		■
Sulfato de potasio (rocas potásicas)		■		■	■			■	■
Tierra de diatomeas	■								■
Turba		■	■				■		■
Yeso (sulfato de calcio).	■			■			■		■
Zeolitas	■								■

■ L.A: Productos de libre aplicación (sin restricciones).

■ A.P: Productos que para su aplicación requieren previa consulta y aprobación del organismo de certificación.

Cafés especiales

Fernando Farfán Valencia



La denominación de Cafés Especiales es relativamente nueva. Nació a comienzos de la década de los 60's, como una respuesta a los consumidores de café de los Estados Unidos, que buscaban una bebida de mayor calidad en un mercado donde el producto se encontraba homogeneizado.

Este mercado cobra importancia a través de tiendas de café o coffee shops de alta calidad, cada vez más numerosas, que ofrecen bebidas con unas particularidades muy marcadas. Es allí, donde el consumidor tiene la oportunidad de probar los diferentes sabores y fragancias de los distintos cafés y conocer de su origen (Giovannucci y Koekoek, 2003; Ponte, 2004; SCAA, 2004).

Son aquellos que conservan una consistencia en sus características físicas (forma, tamaño, humedad, apariencia y defectos), sensoriales (olfativas, visuales y gustativas), prácticas culturales (recolección, lavado, secado) y en sus procesos finales (tostión, molienda y preparación); características que los distinguen del común de los cafés y por las cuales los clientes están dispuestos a pagar un precio superior (Giovannucci y Koekoek, 2003; SCAA, 2004).

Los cafés especiales, debido a los argumentos anteriores, poseen un sabor en taza diferente que brinda al consumidor una experiencia muy especial para su paladar.

¿Qué es un café especial?

Es muy complejo poder definir exactamente lo que son Cafés Especiales, ya que cada uno puede tener su propia percepción.

El término “café especial”, es atribuido a la noruega Erna Knutsen, experta tostadora de café, quien usó por primera vez este término en la conferencia internacional de café, celebrada en Montruil (Francia) en 1978 (Ponte 2003, 2004). Este concepto hace alusión a la geografía y a los microclimas, que permiten la producción de granos de café con sabor único y de características particulares que preservan su identidad. En 1982, se creó la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA), y ésta definió el término ‘café especial’ como “un café de buena preparación, de un origen único y sabor distintivo” (Cague *et al.*, 2002; SCAA, 2004).

A partir de diferentes interpretaciones se logró llegar a la siguiente definición:

Clases de cafés especiales

Según la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA, 2004), los Cafés Especiales se agrupan en cinco segmentos (Figura 10.1).

Cafés de origen

Son cafés que provienen de un país, región o finca, con un sinnúmero de cualidades únicas, debido a que crecen en sitios especiales, y que son vendidos al consumidor final sin ser mezclados con cafés de otras calidades o con cafés de otros orígenes (Figura 10.2). Con estos cafés se ofrece al consumidor final la posibilidad de paladear sabores naturales provenientes de regiones del mundo reconocidas por sus cualidades. Entre los cafés de origen más famosos se encuentran: Granos de Moca de Yemen Java, Sumatra y Celebese de Indonesia; Blue Mountain de Jamaica; Cona de Hawaii; Antigua de Guatemala; Terrazú

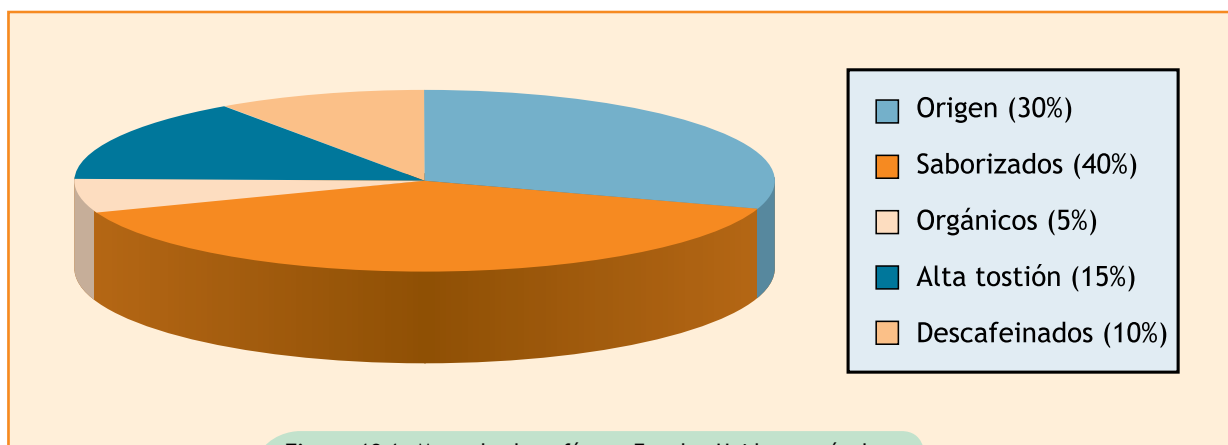


Figura 10.1. Mercado de cafés en Estados Unidos, según la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA, 2004).



Figura 10.2. Origen de algunos cafés con denominación de “Especialidad”.

y Tres Ríos de Costa Rica; AA de Kenia y Supremos de Colombia.

Cafés orgánicos

Son cafés cultivados sin el empleo de Agroquímicos como fertilizantes, fungicidas e insecticidas. Para la venta de estos cafés el caficultor debe tener una certificación emitida por una entidad certificadora orgánica con reconocimiento mundial; por tal motivo, las plantaciones que se destinen para tal fin deben someterse a un proceso de desintoxicación o transición, el cual oscila entre 2 y 3 años antes de ser certificados y vendidos como cafés orgánicamente cultivados. Los cafés orgánicos constituyen una pequeña porción de los cafés especiales (0,5%), y responden a una tendencia mundial de los productos libres de agroquímicos.

Cafés saborizados

Son cafés que durante o después de su proceso de tostión, se les incorpora una resina con sabor a vainilla, chocolate, fresa, nuez y amaretto, entre otros. Son considerados el producto estrella de los cafés especiales con una participación en el mercado del 40%. Con estos cafés se induce a las nuevas generaciones al consumo del café.

Cafés de alta tostión

Se consideran aquellos cafés cuyo grado de tostión es superior al tradicional, y están destinados a la preparación

de cafés expresos y capuchinos. No necesariamente utilizan cafés de un solo origen sino que pueden ser mezclas. Constituyen el 15% del mercado de los Cafés Especiales.

Cafés descafeinados

Son aquellos que se someten a un proceso para extraer la cafeína que contiene el grano verde. Se comercializan dentro del nicho de los Cafés Especiales y participan en el 10% del total de la categoría.

Algunos aspectos del mercado de los cafés especiales

En la producción y consumo de productos ecológicos, orgánicos, conservacionistas, entre otros, han ocurrido cambios importantes a nivel mundial en los últimos años. Esta tendencia se debe a una fuerte preocupación por la salud, a las nuevas exigencias en los gustos de los consumidores y a una mayor conciencia por la protección del ambiente; por ello, estos sistemas de producción que se caracterizan por la conservación de los recursos naturales, han tenido gran auge, con tasas de crecimiento anual hasta del 20% (Giraldo *et al.*, 2000), especialmente en Europa, América del Norte y Japón (Villalobos, 2004).

Recientes investigaciones realizadas por la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica

(IFOAM, 1999), indican que ésta cubre alrededor de 24 millones de hectáreas, distribuidas de la siguiente manera: 41,8% en Oceanía, 24,2% en América Latina, 23,1% en Europa, 5,9% en Norte América, 3,7% en Asia y 1,3% en África.

Los cafés sostenibles cubrieron cerca del 1,3% de la producción mundial de café, con 129.300 t.año⁻¹ de café verde en el año cafetero 2002/2003, y fueron los países de América Latina los principales productores y proveedores (Villalobos, 2004; Vieto 2003). Debido al crecimiento del mercado de cafés sostenibles y al potencial que posee Colombia para participar en estos nichos se requiere información que pueda fortalecer el conocimiento sobre su producción.

Oferta y exportación de cafés sostenibles en América Latina

La oferta de café sostenible de América Latina en la cosecha del 2002/2003 fue estimada en 2.109.033 sacos de café verde de 60 kg, provenientes principalmente de

México, Perú, Brasil, Guatemala, Colombia, Nicaragua, Bolivia, Honduras y Costa Rica. De ésta se exportaron 1.360.000 sacos (64,5%), hacia Europa, Estados Unidos, Japón, Canadá, Taiwan, Oceanía e Israel. La producción de cafés sostenibles en Colombia se estimó en 110.200 sacos de café verde (5,2% de la producción de América Latina) y su participación en las exportaciones fue del 7,5% de la exportación global de América.

Cabe anotar que los cafés sostenibles no solo se comercializan con los sellos “Orgánico”, “De Comercio Justo” y “Amigable con las aves”, si no que pueden venderse con combinaciones de éstos o sumas de sellos, por ejemplo: Orgánico + Precio Justo, Amigable con las Aves + Orgánico y Amigable con las Aves + Orgánico + Precio Justo, entre otros (Vieto, 2003) (Figura 10.3).

Producción y exportación de los principales cafés sostenibles

Café orgánico. Dentro del mercado mundial de los cafés sostenibles la participación de los países

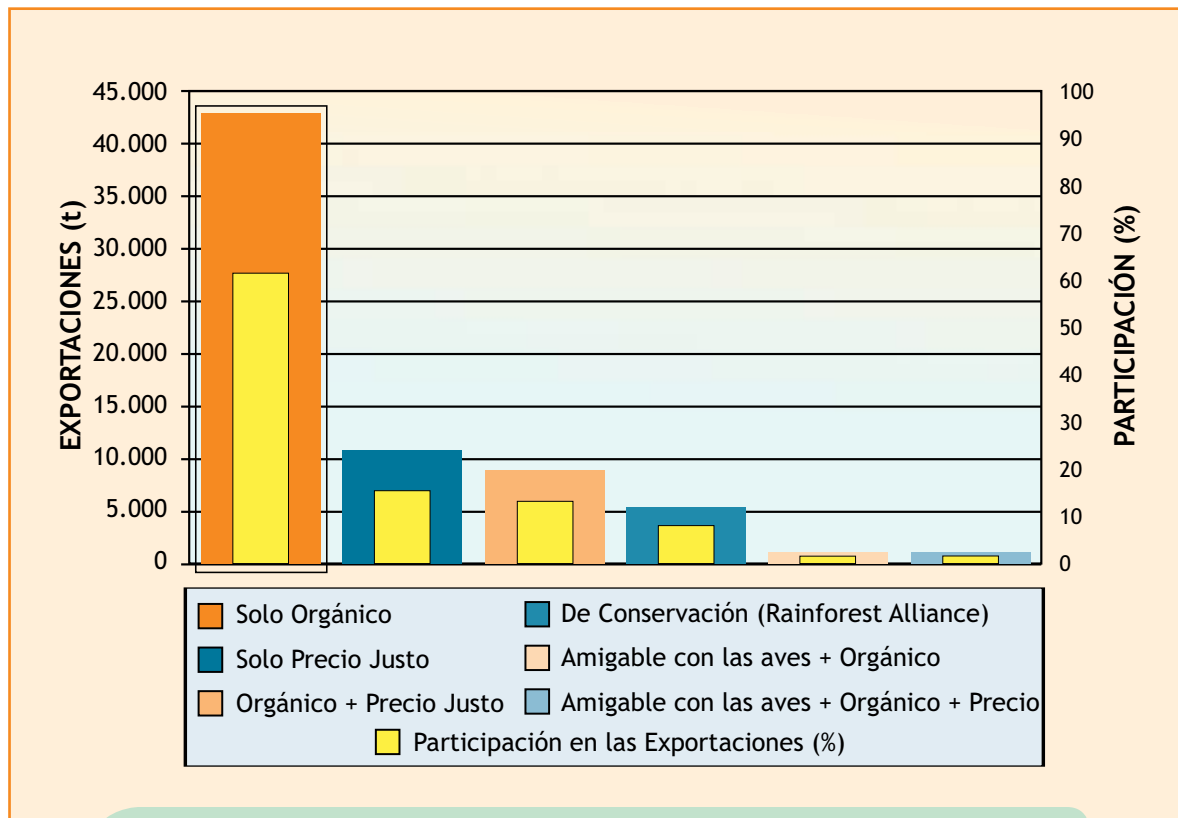


Figura 10.3. Participación de las exportaciones de café sostenible, para tipos de certificación en América Latina (Cosecha 2002/03) (Vieto, 2003).

latinoamericanos con la producción de café orgánico fue del 46,2%, con 974.450 sacos de 60 kg (cosecha del 2002/03), de los cuales se exportó el 91,8% (895.000 sacos), principalmente a Europa, Estados Unidos, Japón y Canadá. En Colombia se produjeron 52.717 sacos de 60 kg (5,4%), de los cuales se exportó el 99% (52.200 sacos). Los principales productores de café orgánico en América Latina son México, Perú y Brasil quienes producen el 41, el 21 y el 10%, respectivamente (Vieta, 2003) (Figura 10.4).

Café de conservación. La participación del café de conservación, de sombra y amigable con las aves, se estimó en 5,7%. Se produjeron y exportaron en América Latina 120.683 sacos de café verde de 60 kg (cosecha del 2002/03), principalmente a Estados Unidos, Japón y Europa.

La producción de café de conservación en Colombia se estimó en 1.200 sacos, el 1,0% de la producción total en Latinoamérica, que se exportó en su totalidad a los Estados Unidos con el sello “Amigable con las aves”. Los

principales productores de éste en América Latina son El Salvador con el 37,3% especialmente de café “Bajo sombra” y Perú que produce el 16,9%, especialmente de café “Amigable con las aves” (Vieta, 2003) (Figura 10.5).

Café de Comercio justo. América Latina produjo 1.013.900 sacos de café verde de 60 kg en el período 2002/03, es decir el 48,1% de la producción total de cafés sostenibles. De este volumen producido solo se exportaron 345.000 sacos, principalmente a los mercados de Estados Unidos, Japón y Europa. La producción de café de Comercio Justo en Colombia se estimó en 56.300 sacos para la cosecha del 2002/2003, es decir el 5,6% del café con este sello producido en América Latina. Estas exportaciones se realizaron especialmente hacia los mercados de Europa y Japón. Los principales productores de café de conservación en América Latina son Perú que produce el 26,3%, Guatemala con el 20,3% y México con una producción del 20% (Vieta, 2003) (Figura 10.6).

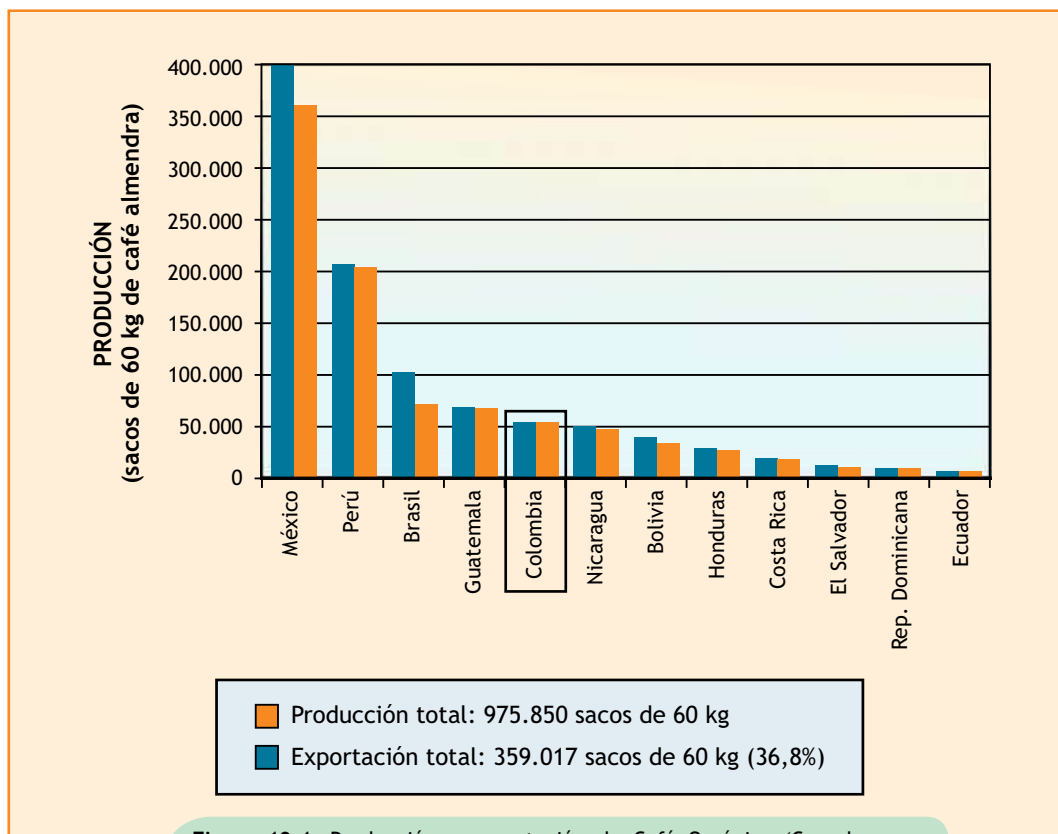


Figura 10.4. Producción y exportación de Café Orgánico (Cosecha 2002/03), en América Latina (Vieta, 2003).

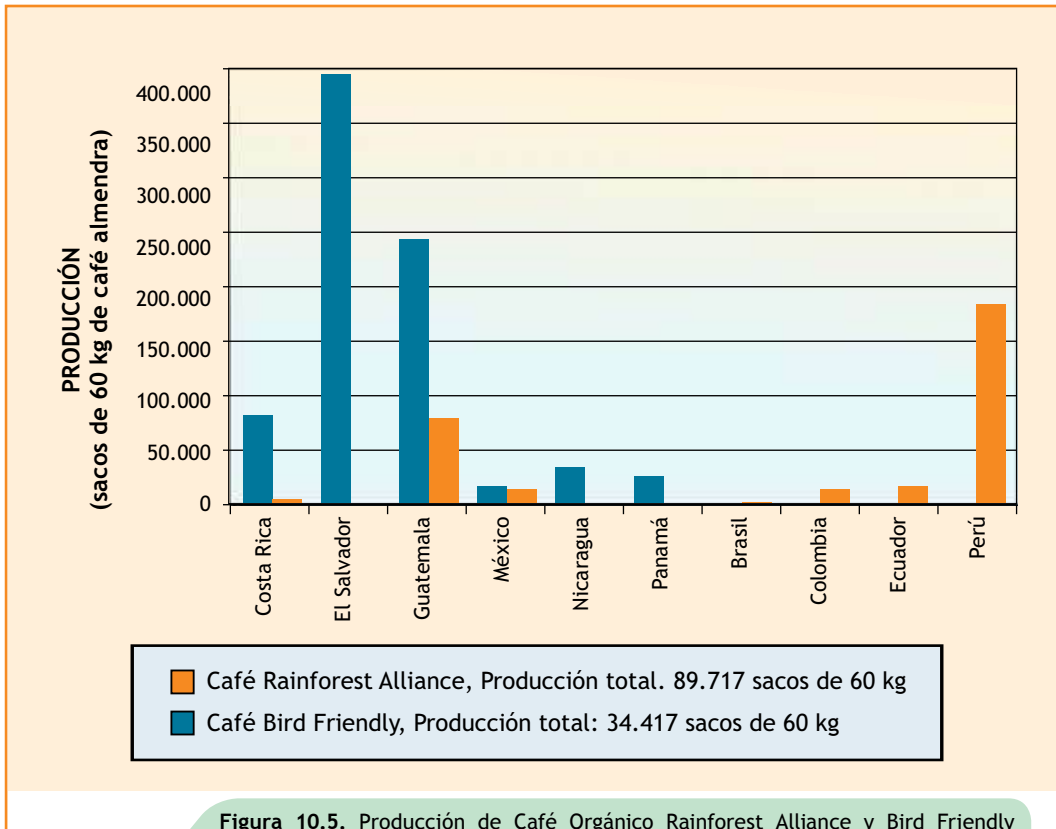


Figura 10.5. Producción de Café Orgánico Rainforest Alliance y Bird Friendly (Cosecha 2002/03), en América Latina (Vieto, 2003).

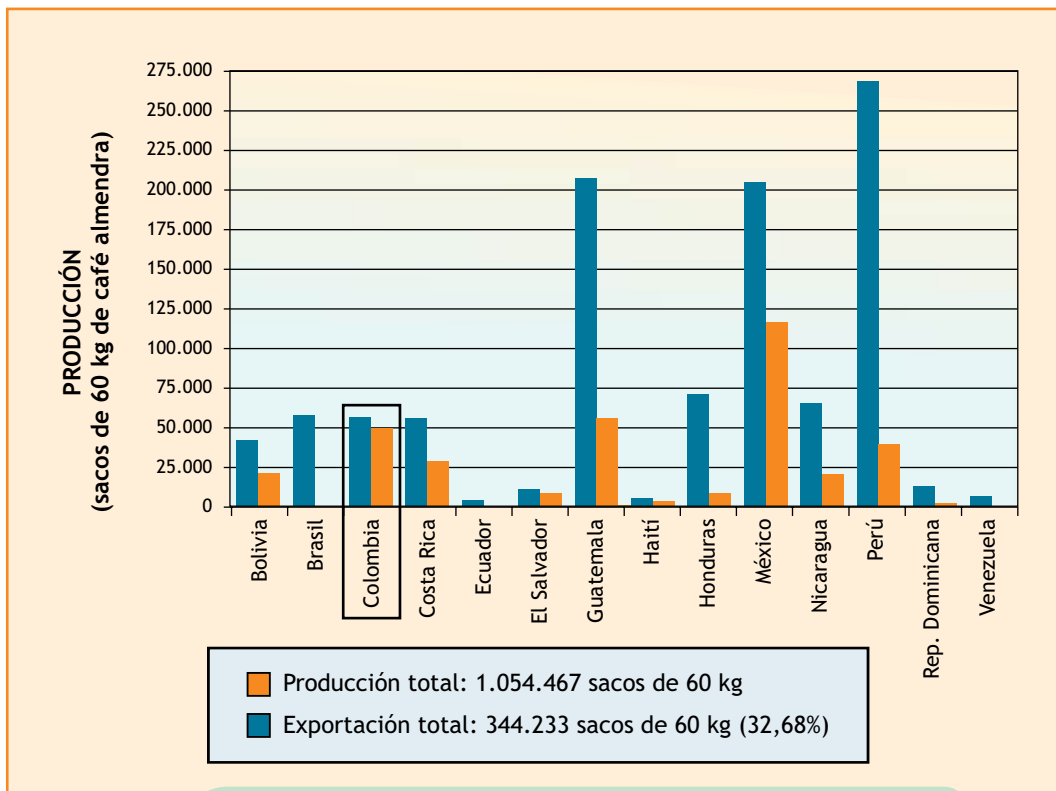


Figura 10.6. Producción y exportación de Café de Comercio Justo (Cosecha 2002/03), en América Latina (Vieto, 2003).

Comportamiento de algunos indicadores en la transición de producción de café convencional a orgánico

En la Figura 10.7 se presenta un análisis teórico del comportamiento de los principales indicadores durante la transición de sistemas de producción convencionales a orgánicos (Gómez, 2006; Giraldo *et al.*, 2000; Farfán, 2000).

Precios del producto. Aumentan durante el período de conversión o transición y logran sus valores máximos cuando el sistema está definitivamente certificado como orgánico.

Mano de obra. La mano de obra se incrementa a medida que los sistemas pasan de convencionales a orgánicos. Esto ocurre porque los sistemas orgánicos se basan, fundamentalmente, en tecnologías de procesos en vez

de tecnologías de insumos, como ocurre en los sistemas convencionales.

Producción. La producción disminuye durante el período de transición, esto es atribuible fundamentalmente a la adaptación de los agroecosistemas a los nuevos métodos de producción. Una vez logrados los equilibrios, los rendimientos retoman a los niveles anteriores. Los niveles de producción en los sistemas orgánicos pueden ser mayores o menores que los convencionales, esto dependerá del grado de tecnificación (en el caso del café) con el cual el sistema convencional inicia la conversión.

Inversiones. Las inversiones en equipos e infraestructura aumentan durante la transición.

Costos variables. Los costos variables por unidad de área serían menores que los de la agricultura convencional, porque esta última utiliza una gran inversión en agroquímicos.

Ingresos. Los ingresos, incluyendo los sobrepagos que se puedan llegar a obtener, tendrían que ser iguales o mayores que los de la producción convencional.

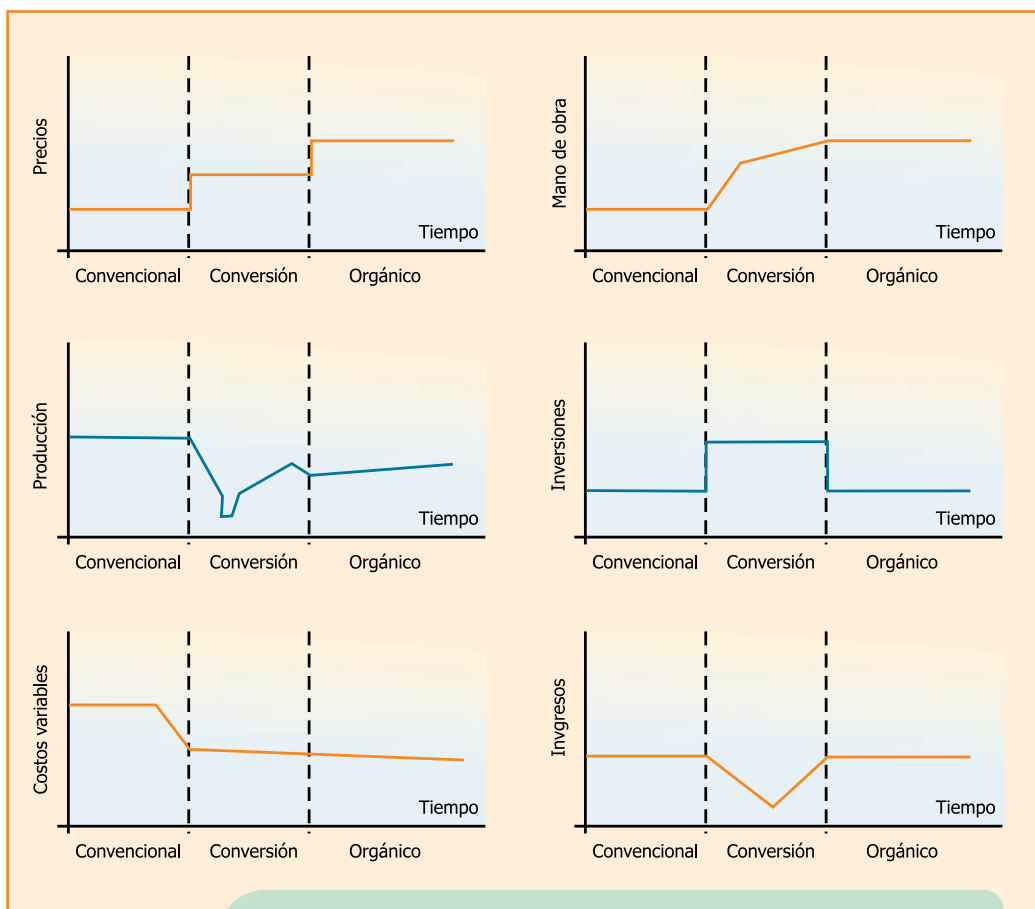


Figura 10.7. Comportamiento de determinados parámetros a través del proceso de transición de sistemas convencionales a orgánicos.

Cafés especiales colombianos

Programa cafés especiales de Colombia

Colombia ha ocupado tradicionalmente un papel destacado en el mercado de cafés especiales de alta calidad, gracias a la labor que la Federación Nacional de Cafeteros ha realizado desde hace varios años en materia de promoción y publicidad del consumo de cafés puros colombianos.

Con él animo de incrementar el posicionamiento de nuestro café en el segmento de los denominados “Cafés Especiales”, en 1986 se creó el programa de Cafés Especiales de Colombia, liderado por la Federación Nacional de Cafeteros; este programa tiene como objetivo la identificación y la selección de cafés provenientes de regiones específicas con características particulares (Federación Nacional de Cafeteros, 2005).

De acuerdo con la evolución de la caficultura en el mundo, el programa de Cafés Especiales Colombianos comenzó con la investigación sobre las propiedades de algunas variedades de cafés cultivadas en regiones y zonas específicas del territorio nacional. Los consecuentes resultados fueron producto de características únicas, que se han convertido en claras preferencias por consumidores de café en todo el mundo.

Una meta de la FNC es ofrecer un número de marcas de diferentes orígenes, que sean apreciadas y que puedan comercializarse, de esta manera podrá mejorarse el ingreso de las familias cafeteras.

Para la promoción de estos cafés provenientes de orígenes especiales de la geografía nacional, la FNC a través de sus oficinas en el exterior, ha decidido participar activamente en las diferentes ferias y espectáculos internacionales del grano.

Actualmente el programa está recolectando muestras de cafés en diferentes regiones del país, en coordinación con los Comités Departamentales y las Cooperativas de Caficultores interesados, éstas se someten a un análisis de consistencia durante dos o tres años, y posteriormente estos cafés serán mostrados en las diferentes ferias.

¿Qué son los cafés especiales colombianos?

Se consideran cafés especiales aquellos de excelente calidad, que mantienen una consistencia en sus propiedades físicas (forma, tamaño, humedad, apariencia,

defectos), sensoriales (olfativa, visuales, gustativas), sus prácticas culturales (recolección, lavado, secado) y sus formas finales de preparación, características que los distinguen del común de los cafés y por los cuales los clientes están dispuestos a pagar un precio superior.

Objetivo del programa de cafés especiales

Propender por el posicionamiento de cafés de excelente calidad, distinguibles y consistentes; ofreciendo a su vez, una oportunidad de mejoramiento en los ingresos de los Caficultores. Así mismo, se justifica que La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia sea la exportadora de Cafés Especiales, para garantizar que los sobrepuestos obtenidos en el mercado Internacional se transfieran totalmente a los productores de los cafés, principales responsables de las condiciones excepcionales de los mismos.

Clasificación de los cafés especiales colombianos

Los cafés especiales colombianos están divididos en tres grandes grupos (Federación Nacional de Cafeteros, 2005), así:

1. Cafés de Origen. Los cafés de Origen agrupan a tres tipos de cafés, los “Cafés Regionales”, los “Exóticos” y los “Cafés de Finca”.



Cafés regionales. Son aquellos cafés que provienen de una región específica reconocida por sus cualidades particulares. Se le ofrecen al consumidor final puros, sin mezclar con productos de otros orígenes.



Cafés Exóticos. Son cafés cultivados en zonas determinadas bajo condiciones excepcionales. Por tanto, poseen características sensoriales y organolépticas que permiten obtener una taza de altísima calidad.



Café de finca. Cafés producidos en una sola finca, que provienen de un solo cultivo, tienen un beneficio centralizado y ofrecen un producto sobresaliente en calidad, la cual es consistente en el tiempo.

2. Cafés de Preparación: A este grupo pertenecen los “Cafés Selectos”, los “Cafés Caracol” y los “Cafés Supremo”



Cafés Selectos. Proceden de una mezcla balanceada de varios tipos de café, y que dan como resultado una taza de excepcional calidad.



Cafés Supremos. Son cafés que se ofrecen de acuerdo a una clasificación granulométrica o tamaño del grano, tales como: Supremos (malla # 17 arriba), Extra o Especial (malla # 16 arriba), Europa (malla # 15 arriba).



Cafés Caracol. Son cafés cultivados en zonas altas, de los cuales se seleccionan los granos en forma de caracol, que producen una taza única de alta acidez.

3. Cafés Sostenibles: A esta categoría pertenecen los “Cafés de Conservación”, los de “Comercio Justo” y los cafés con “Certificado Orgánico”.



Cafés Orgánicos. Son los cafés cultivados sin la utilización de productos Agroquímicos como fungicidas, herbicidas, insecticidas y fertilizantes. Normalmente, se comercializan con una certificación expedida por una firma especializada, encargada

de inspeccionar y vigilar las prácticas del cultivo, su proceso de trilla, almacenamiento y transporte.



CAFÉ AMIGABLE CON LAS AVES O DE SOMBRA. Este café crece y se cultiva a la sombra de una cubierta arbórea, en contraste con las fincas cafeteras en las que el café se cultiva a plena exposición solar, o aquellas completamente tecnificadas que tienen muy pocos árboles o carecen de ellos totalmente.



CAFÉ DE PRECIO JUSTO O SOCIAL. Son cafés producidos por pequeños productores asociados en cooperativas y que tienen un precio mínimo de compra garantizado. Las relaciones comerciales están basadas en el respeto y beneficio mutuo de las partes. Se valora el trabajo de los productores, las leyes

laborales, la seguridad social, la salubridad y el respeto por la conservación de los recursos naturales.

Cafés con códigos de conducta y especiales que se venden en el mundo

Cafés que cumplen los criterios EUREP-GAP (Eurepgap, 2004)

EUREPGAP es un programa privado de certificación voluntaria relativamente nuevo, creado por 24 grandes cadenas de supermercados que operan en diferentes países de Europa Occidental y que han organizado el Grupo Europeo de Minoristas (Euro-Retailer Produce Working Group - EUREP). El propósito de EUREP es aumentar la confianza del consumidor en la sanidad de los alimentos, desarrollando “Buenas Prácticas Agrícolas” (Good Agriculture Practices - GAP) que deben adoptar los productores. En el caso del café, las BPA propuestas por EUREPGAP son un medio para incorporar el manejo integrado de plagas (MIP) y el manejo integrado del cultivo (MIC) dentro del marco de la producción agrícola comercial. Para el otorgamiento del certificado, todos los productores deben cumplir las leyes nacionales o internacionales, y ser capaces de demostrar su compromiso al:

- Mantener la confianza del consumidor en la calidad y seguridad de los alimentos.
- Minimizar el impacto negativo en el medio ambiente, mientras se conserva la naturaleza y la vida salvaje.
- Reducir el uso de agroquímicos.
- Mejorar la utilización de los recursos naturales.
- Asegurar una actitud responsable hacia la salud y seguridad de los trabajadores.

Cafés que cumplen los criterios Utz certified (Utz Kapeh, 2006)

Utz Kapeh que en lengua Maya significa “buen café”, es el nombre de una fundación constituida con el apoyo de la compañía holandesa Ahold, una de las más grandes cadenas mundiales de ventas al detal. En la actualidad, es una iniciativa independiente que ha desarrollado un código de conducta para la producción de café sostenible sobre la base de las “buenas prácticas agrícolas” del Grupo Europeo de Vendedores al detal (EUREP-GAP).

Este código contiene criterios para el manejo de suelos, el uso de fertilizantes, el manejo integrado de pesticidas, el manejo de residuos de polución, la salud de los trabajadores, la seguridad y el bienestar, y otros aspectos socioeconómicos y culturales. Utz Certified tiene como objetivos garantizar el acceso a los servicios sociales básicos, guiar a los

productores para armonizar los estándares para la producción de café sostenible y proporcionar la asistencia para la aplicación de estos estándares. La fundación registra a los productores interesados y proporciona el código de conducta; así mismo, establece contacto con una agencia de certificación independiente, la cual realiza las inspecciones y otorga el certificado si se cumplen los estándares y como contraprestación los tostadores pagan una cuota de US\$ 0,01/kg para la fundación. Las certificaciones fueron conseguidas por primera vez en 2002.

Café Rainforest Alliance y La Red de Agricultura Sostenible (RFA, 2004)

La Red de Agricultura Sostenible (RAS) es una coalición de organizaciones conservacionistas independientes, sin ánimo de lucro, que fomenta la sostenibilidad socio-ambiental de actividades agrícolas mediante el desarrollo de estándares y la certificación de fincas que cumplan con ellos. Cada miembro de la Red provee los servicios de certificación a los productores y a las empresas agrícolas en su país, y aporta los conocimientos y la experiencia para el desarrollo de los estándares de producción sostenible.

Rainforest Alliance es la secretaría de la Red y administra los sistemas de certificación. La RAS usa el sello Certificación Rainforest Alliance.

La Rainforest Alliance (RA) propende por la protección de los ecosistemas y las personas, así como la vida silvestre que en ellos habita, al transformar las prácticas en el uso de la tierra, en la industria y en el comportamiento de los consumidores. Las empresas, las cooperativas y los caficultores que participan en los programas RA deben cumplir con rigurosos estándares que conservan la biodiversidad y proveen medios de vida sostenibles como:

1. La planificación, la ejecución y el monitoreo del sistema de gestión socio-ambiental
2. La conservación de ecosistemas
3. La protección de la vida silvestre
4. La conservación de recursos hídricos
5. El trato justo y las buenas condiciones para los trabajadores
6. Las relaciones con la comunidad
7. El manejo integrado del cultivo
8. El manejo y conservación del suelo
9. El manejo integrado de desechos

Café con los criterios Starbucks (SCC, 2004a; 2004b)

Starbucks Coffee Company es una organización mundial, líder en la compra, la tostación y la venta a través de las “tiendas de café” (coffee houses). Starbucks implementó

el Programa de Proveedor Preferido (PPP), basado en la preferencia para comprarle el café almendra a los proveedores que producen, benefician y comercializan el producto de manera responsable, desde los puntos de vista ambiental, social y económico.

El PPP revisa y verifica la naturaleza de la cadena de suministro del café desde la fuente, es decir los caficultores, pasando por los procesos de recolección y beneficio hasta la comercialización; esta fase final también incluye la entrega de café almendra en las plantas tostadoras de Starbucks en Estados Unidos y en otras partes del mundo. Cada participante en la cadena de suministro tiene un papel importante en la sostenibilidad general del suministro de café y por tanto, es considerado en la matriz de evaluación.

Debido a que el potencial impacto ambiental y social, así como el beneficio, varían considerablemente en diferentes procesos a lo largo de la cadena, el programa ha sido diseñado tanto para reconocer como para adaptar un amplio rango de variabilidad a la estructura de las entidades de la cadena de suministro, así como al desempeño socio-ambiental de cada una de las entidades.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad el programa se centra en cuatro conceptos clave:

- Calidad del producto
- Responsabilidad económica
- Responsabilidad social
- Liderazgo ambiental

Cada uno de estos cuatro conceptos es clave en las áreas funcionales del ciclo de vida del café, en su producción, beneficio y comercialización.

Café Social o de Precio Justo (FLO, 2004)

El comercio justo fomenta un comercio mundial más equitativo. El sistema de sellos de comercio justo promueve el desarrollo social, económico y democrático; además, garantiza que los productores y agricultores reciban una recompensa equitativa de su trabajo.

El sello de comercio justo es una forma de cooperación comercial con el fin de mejorar las posibilidades de pequeños productores y sus organizaciones para sobrevivir en la competencia económica internacional. En el sistema se ofrecen relaciones comerciales de largo plazo, la posibilidad de recibir pagos anticipados y un precio que cubra todos los gastos de producción. Las compras se hacen sin intermediarios innecesarios. La justicia y el respeto de los derechos humanos conforman la base de la cooperación. Mientras la situación social y económica de los productores mejora, también es posible

tener en cuenta la situación ecológica y así fomentar el desarrollo sostenible.

El productor de café con el Sello de "comercio justo" o "Social" adquiere beneficios y compromisos como:

- La posibilidad de un comercio directo y justo con los productores del tercer mundo.
- Los productores reciben una recompensa que cubre los costos de la producción.
- Los productores se comprometen a cumplir los acuerdos básicos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Declaración Universal de los Derechos Humanos de la ONU y la Declaración de los Derechos del Niño.
- Se garantizan a los productores acuerdos de largo plazo y la posibilidad de recibir prepagos.
- Los productos se compran directamente a las organizaciones productoras sin intermediarios innecesarios.
- El sistema ofrece a los pequeños agricultores y a las fincas familiares una posibilidad de tomar parte en el comercio.
- Los trabajadores tienen el derecho de organizarse y sindicalizarse.
- Los productores se comprometen a cumplir las normas de protección del medio ambiente.
- Los productos deben elaborarse sin el empleo de mano de obra infantil. Es prohibido que niños menores de 14 años trabajen.
- El productor recibe un pago adicional si su café proviene de la producción orgánica.

Los miembros del Comercio Justo (Fair Trade Labelling Organization -FLO-) han acordado los siguientes principios comunes para establecer las relaciones de comercio justo:

- Condiciones laborales decentes
- Precios que cubran los costos de producción
- Relaciones de largo plazo en el comercio que impliquen la planeación y las prácticas sostenibles de producción.
- Mejorar las condiciones sociales
- Pagos parciales por adelantado para impedir que las organizaciones de pequeños productores se endeuden.

Para una producción justa se han establecido las siguientes condiciones:

- Los pequeños productores deben estar organizados en cooperativas democráticas con estructuras participativas.

Las plantaciones y las fábricas deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Salarios decentes (al menos el salario mínimo legal)
- Condiciones de vivienda apropiadas
- Estándares mínimos de salud y seguridad
- El derecho a establecer uniones comerciales
- No es permitido realizar el trabajo con mano de obra infantil
- Mínimas condiciones ambientales
- La calidad del producto debe cumplir los requisitos normales del mercado

Cafés de Sombra o Amigable con las aves (Bird Friendly) (SMBC, 2001 y 2004)

El Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC, por sus siglas en inglés), estudia la relación entre las aves migratorias y los cultivos de café, desde 1992. En 1994 dio a conocer la marca "Bird Friendly" o "Amigable con las Aves", y en 1997 terminaron de desarrollar los criterios para este tipo de café. Las certificaciones otorgadas con el sello SMBC deben dar fe de una producción orgánica y de cultivo bajo sombra. El café producido de forma sostenible debe provenir de una plantación con alta diversidad biológica y con un uso limitado de sustancias químicas. En los sistemas de producción deben conservarse los recursos existentes, proteger el ambiente, producir con eficiencia, competir en el mercado e impulsar la calidad de vida de los productores y de la sociedad en su conjunto.

En 1998 se creó el programa para conceder la licencia a importadores, tostadores y comercializadores en el uso del sello "Bird Friendly", con el cual se garantiza un apoyo de 25 centavos por libra al café tostado con certificación. Este dinero se envía al SMBC y se destina para proyectos de investigación, estudios en proceso, entrenamiento y educación para productores y consumidores sobre temas del cultivo de café bajo sombra.

Para tramitar el sello debe contarse primero con certificaciones orgánicas y de cultivo bajo sombra. El Centro promueve la reconversión de las fincas al cultivo bajo sombra y después al Amigable con las Aves. Además, ha emitido una serie de definiciones y criterios generales para la certificación.

De acuerdo con el SMBC, existen dos formas de cultivo bajo sombra.

Cafés Orgánicos (USDA, 2000; Farfán, 2000)

Es el café producido y procesado en un sistema sostenible (ambiental, técnico y socioeconómicamente viable), en el cual no se utilizan productos químicos de síntesis, de acuerdo con estándares de calidad nacional.

Objetivos de la caficultura orgánica

- Ofrecer una caficultura económicamente viable, socialmente justa y ambientalmente responsable.
- Propiciar un efecto multiplicador sobre el desarrollo local, regional y nacional.
- Conservar y mantener la mayor diversidad biológica dentro de los ecosistemas cafeteros.
- Fomentar los ciclos biológicos dentro de los sistemas cafeteros, y mantener y aumentar la fertilidad de los suelos mediante prácticas adecuadas de conservación.
- Aprovechar racionalmente los recursos renovables de la finca y evitar todas las formas de contaminación ambiental, producto de las prácticas de cultivo y beneficio del café.
- Producir café de excelente calidad y en cantidad tal que satisfaga los mercados externos e internos.

Toda finca cafetera que desee comercializar su café bajo la denominación de **orgánico** deberá someterse a un proceso de certificación por un organismo certificador. Las fincas deberán poseer una ficha histórica, un plan de producción y un mapa. Para la certificación de una finca cafetera como orgánica es necesario tener registros de las compras de insumos (empaques, abonos), mano de obra, volumen de café pergamino seco producido, facturas de venta del café y haber cumplido con el período de conversión.

Doble o triple certificación (“Super etiquetas”)

La industria de especiales también se está esforzando por crear una “super etiqueta”, combinando los criterios de orgánico, comercio justo y bajo sombra. Ésta es diferente a la iniciativa del “certificado de la SCAA”, con un mínimo de estándares de calidad, aunque todavía no hay un acuerdo sectorial para las etiquetas de sostenibilidad. Por lo pronto, existen dos iniciativas que han intentado

combinar algunos elementos de las tres etiquetas empleadas tradicionalmente para los cafés sostenibles. Una es la certificación Eco-Ok desarrollada por la Rainforest Alliance y la otra, es el código de conducta Utz Kapeh.

Sello Único Nacional de Alimento Ecológico

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural como autoridad única competente a través del Sistema Nacional de Control Interno creó el Sello Único Nacional de Alimento Ecológico. Este sello es regido por la Resolución 00148 del 2004. Para su otorgamiento, el productor debe acercarse al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural con una carta de la entidad certificadora debidamente acreditada por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y autorizada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), en la que se respalda el cumplimiento del proceso de certificación.

Certificadoras en Colombia

Con el objetivo de dar protección tanto a los productores como a los consumidores, todos los alimentos con la denominación de orgánicos deben ser identificados y certificados por una organización acreditada por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). Actualmente, en el país existen seis certificadoras acreditadas por la SIC:

- **Biotrópico Ltda.** Entidad dedicada al control y la certificación de operadores y producciones de agricultura ecológica. Biotrópico realiza Certificación Ecológica conforme a los estándares internacionales y nacionales de la agricultura ecológica. Para el mercado internacional se utiliza el sello de Ecocert con quien se tiene un convenio hasta que Biotrópico Ltda. alcance su propia acreditación. (www.certificadoraslatinoamericanas.com/biotropico)
- **BioLatina Colombia.** Cuenta con la acreditación ante la Unión Europea (UE) por el Sistema Alemán de Acreditación DAP. Esta entidad firmó un convenio con International Certifications Services (ICS) para la certificación de productos destinados al mercado japonés, y está autorizada por el Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC) para realizar la inspección de cultivos de café con miras a obtener la certificación de Café Bajo Sombra Bird Friendly®. Recientemente, BioLatina ha sido acreditada ante el USDA (www.biolatina.com).
- **Corporación Colombia Internacional (CCI).** La CCI cuenta con un área denominada “Unidad de Certificación”, para la prestación del servicio de certificación de productos que poseen un atributo de calidad y que cumplen con una normativa reglamentaria o técnica. La Unidad de Certificación es responsable de verificar el cumplimiento de

las regulaciones nacionales e internacionales, de acuerdo con los estándares estipulados para el sector agropecuario y agroalimentario, como: producto ecológico, origen del productos, y evaluación del proceso, entre otros. (www.cci.org.co)

- **COTECNA - Certificadora Services Ltda.** Hace énfasis en investigación y promoción de mercados verdes, de manera que se consoliden a nivel nacional e internacional, como alternativa de comercialización para los productores que se comprometan con la producción agropecuaria ecológica. La certificación de productos agropecuarios ecológicos, se fundamenta en la resolución Nacional del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y las normas básicas para agricultura ecológica IFOAM; así como con las disposiciones nacionales e internacionales (Reglamento CEE 2092/91) concernientes a los procesos de certificación de los sistemas productivos agropecuarios ecológicos. (www.cotecna.com.co)
- **BCS ÖKO-GARANTIE GMBH.** Acreditada como entidad de control para la inspección y certificación de acuerdo al Reglamento (CEE) No 2092/91. Controla y certifica a empresas y productos cultivados orgánicamente conforme al reglamento (CEE) No 2092/91, y ayuda en la exportación de productos orgánicos cultivados en los países del tercer mundo a la Unión Europea. En el futuro facilitará la importación desde Europa a los productos con el certificado de BCS, y en un alto porcentaje a Estados Unidos y Japón. BCS es auspiciada por la Cooperación Alemana para el Apoyo Técnico (GTZ) y realiza contactos internacionales con expertos y organizaciones para los cultivos ecológicos en muchos países del mundo, principalmente en América Latina. (www.bcs-oeko.com)
- **SGS - Colombia Ltda.** Organización independiente que presta servicios de inspección y certificación incluyendo los de manejo ambiental de empresas según la norma ISO 14000. Es acreditada por la Superintendencia de Industria y Comercio. También presta servicios a los sectores agrícola, minero, petrolero, de gas y químicos, y de bienes de consumo, así como servicios de certificación a gobiernos e instituciones internacionales (www.sgs.com.co).

Las Tiendas Juan Valdez®. Son un complejo de establecimientos especializados en la venta de café al público. Su misión principal es participar en la cadena de valor del negocio del café, dándole mayor visibilidad y reconocimiento al café colombiano en el mundo, con el fin de obtener mayores ingresos para los productores. La empresa encargada del desarrollo



encargada del desarrollo

y operación de las Tiendas es la Promotora de Café Colombia, Procafecol S.A., creada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en noviembre de 2002. Las tiendas están en las principales ciudades del país y del exterior. En ellas se ofrecen cafés especiales, clasificados en tres categorías: Cafés de línea, cafés de origen y cafés de conmemoración (Federacafé, 2007).

Comparación de Normas y criterios

En las Tablas 10.1 y 10.2 se comparan las normas establecidas por los cinco principales organismos de certificación para la producción de café. Algunas definiciones del proceso son (Conservation International *et al.*, 2002; U.E., 2005):

Acreditación. Determinación hecha por el Estado para que una entidad privada, extranjera o estatal, realice actividades de certificación. Es el medio por el cual se garantiza que la calidad de los productos son certificados por organismos competentes.

Área de operación. Tipos de operación como las cosechas, ganadería, cosechas silvestres que un organismo certificador así lo certifique.

Auditoría. Revisión de la documentación para calificar y rotular un producto como “100% orgánico”.

Autoridad de control u organismo certificador. Cualquier organismo privado o autoridad del Estado que proporcione servicios de certificación.

Autoridad designada. Organismo nacional o extranjero reconocido y elegido por la autoridad de control para que realice funciones de acreditación.

Autoridad competente. Organismo gubernamental oficial con amplio conocimiento en la producción orgánica.

Certificación. Determinación que hace el agente certificador al verificar que la producción orgánica se lleva a cabo de acuerdo a las normas establecidas nacional e internacionalmente.

Inspección. Examen y verificación de los sistemas de producción y productos finales con el fin de determinar si éstos se han producido según normas nacionales o internacionales.

Inspector. Persona competente contratada por un organismo certificador para llevar a cabo inspecciones de solicitantes de certificación.

Norma de producción. Exigencia incluida dentro de un estándar básico, por ejemplo: Normas IFOAM, con las cuales debe cumplir el productor para que su producto sea certificado como orgánico.

Autoridad de control. Organismo acreditado para realizar actividades de certificación. Es el encargado de verificar que los productos etiquetados como orgánicos, se han producido, elaborado o manipulado según normas orgánicas.

Plan orgánico. Plan para la administración, producción o manejo orgánico acordado entre el productor y el agente certificador.

Sistema de inspección y certificación. Sistemas que han sido oficialmente aprobados por organismos gubernamentales con conocimiento en la materia.

Tabla 10.1. Principales características de los sistemas de certificación de café (Ponte, 2004).

Nombre	Organizaciones	Características	Cobertura geográfica y tamaño de la finca
Café amigable con las aves	Centro de aves migratorias del Smithsonian Institution	Estándares mínimos sobre cobertura de vegetación y diversidad de especies para obtener el uso de la etiqueta; además, abarca el manejo de los suelos	Hasta el momento, normas aplicadas a la producción de café en América Latina
Orgánico	Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) y organizaciones afiliadas	Agencias acreditadas de certificación que supervisan los estándares sobre producción orgánica, procesamiento y comercialización. También incluyen asuntos de justicia social	Es una institución mundial. La mayoría de café orgánico proviene de América Latina, especialmente de México. Aplica para todas las fincas
Comercio justo	Fair Trade Labeling Organizations International (FLO) y asociadas Fair Trade Guarantee Organizations.	Precio mínimo garantizado pagado a las organizaciones de pequeños agricultores registrados, que cumplen con los estándares sobre desarrollo socioeconómico. Las organizaciones sin ánimo de lucro establecen y supervisan los estándares y sirven de mediadoras entre los productores registrados y los importadores del café.	Mundial. Una cantidad considerable de este café es comprado en África. Aplica solo para minifundistas.
Eco-OK	Alianza para el Bosque Tropical.	Certifica fincas con base en estándares de sostenibilidad y abarca la protección ambiental, el sombrío, el trabajo básico, las condiciones de vida y las relaciones comunitarias.	Trabaja en países latinoamericanos, y en éstos, la mayoría de los productores poseen haciendas aunque también algunas cooperativas.
Utz Kapeh	Fundación Utz Kapeh	Código de conducta para café sostenible cultivado con base en las 'buenas prácticas agrícolas' del EUREP. Incluye estándares de manejo y protección ambiental y sobre las condiciones laborales y de vida	Certifica principalmente en países latinoamericanos, también incluye productores de Asia (India, Indonesia y Vietnam) y África (Uganda y Zambia), en su mayoría haciendas y algunas cooperativas

Tabla 10.2. Comparación de las normas o criterios para el producción de café establecidos por: Utz Kapeh, Rainforest Alliance, Starbucks, IFAM, y Comercio Justo (Cague *et al.*, 2002; Gaivronsky, 2004; Gibson y Hoefkens, 2003).

1. Comparación de Estándares.

Comparación de Estándares.						
Organismo	Objetivo Estándar	Exigencias	Cuerpo de Acreditación	Sistema de Auditoría	Etiquetado	Premio
Utz Kapeh	Primario: Seguridad alimentaria, protección de trabajadores y el ambiente, cuidado de registros y capacidad de rastreo.	Alta capacidad de rastreo, cuidado de la documentación, cuidado de registros, criterios en la selección de variedades, información de sitios, información sobre suelos, sustratos empleados, uso de fertilizante, riegos, métodos de protección de cultivos, manejo de cosecha y postcosecha, reciclaje de residuos, reducción de la contaminación, condiciones del trabajador, conservación del medio ambiente, entre otros.	EUREP	Productores de café certificados por la Fundación Utz Kapeh y certificación de terceros.	Logo de la Utz Kapeh (Certificado de café responsable).	Ningún premio específico. El estándar proporciona el acceso de mercado.
Rainforest Alliance	Agricultura ecológicamente sana, socialmente equitativa, económicamente viable.	Puntos de Control Críticos: Conservación del ecosistema, protección forestal, prevención de incendios, conservación de la fauna y trato justo y buenas condiciones para los trabajadores en términos de salud, seguridad, alojamiento y servicios básicos; además de buenas relaciones con la comunidad, conservación del recurso agua y suelo; buenos procesos de conservación, planificación y supervisión.	Red de Acción Sostenible (SAN).	Certificado por los miembros de los SAN.	Certificado Rainforest Alliance	No específica premio
Starbucks	Conservación de los recursos naturales y del ambiente, además de la responsabilidad social y desarrollo económico.	Transparencia, verificación económica independiente, buenas condiciones de salud y seguridad, salarios justos, buenas condiciones de vida, reducción del empleo de agroquímicos, manejo integrado de suelos, manejo de basuras, reducción en la utilización del agua para el lavado del café, reducción de la contaminación del agua, protección del agua para beber, establecimiento de zonas de amortiguamiento para la protección de bosques, empleo de la sombra para conservar la biodiversidad, cuidado en el uso de energía.	Certificado por un tercero independiente. Varía por país	Documentación de terceros en cuanto a progreso según directrices de Starbucks.	Ninguna etiqueta por no ser un sistema de certificación. El sistema de clasificación de 100% de los puntos permite el acceso a mercados de Starbucks como un Proveedor Preferido.	Si todos los criterios son encontrados (100% de los puntos), los proveedores reciben un premio de 10 centavos por libra. Los proveedores certificados orgánicos reciben un premio de 15 centavos por libra.

Continúa...

Continuación...

Comparación de Estándares.						
Organismo	Objetivo Estándar	Exigencias	Cuerpo de Acreditación	Sistema de Auditoría	Etiquetado	Premio
IFOAM	<p>Primario: Producción sin sustancias químicas, cuidado en el tratamiento y manejo de los productos. Secundario: Responsabilidad social</p>	<p>Puntos de control críticos divididos en dirección de ecosistemas (agua, suelo y diversidad biológica), materiales genéticamente modificados, pesticidas y fertilizantes Puntos sociales: justicia, transporte y buen trato.</p>	<p>Servicios de Acreditación Internacionales Orgánicos, S.A.. (IOAS).</p>	<p>Por un tercero, IOAS-Acreditada la certificación de cuerpos de certificación.</p>	<p>Varía por el cuerpo de certificación acreditado.</p>	<p>No especifica premio</p>
Comercio justo	<p>Primario: Desarrollo social y económico para pequeños agricultores, y responsabilidad social Secundario: Protección de medio ambiente</p>	<p>Desarrollo social, desarrollo económico, desarrollo ambiental y condiciones de trabajo.</p>	<p>FLO International</p>	<p>La certificación de FLO es controlada por una unidad autónoma dentro de FLO International tercero independiente.</p>	<p>Sistemas de etiquetaje nacionales, varían por países.</p>	<p>Los productores certificados reciben 1,26 \$/libra.</p>

2. Comparación de criterios

Comparación de criterios	
Organismo	Seguridad Social y Salud
Documentación y Sistema de Control	
<p>Utz Kapeh</p> <p>Trazabilidad: El café debe ser rastreable en todo el proceso de producción hasta postcosecha, la cooperativa, el grupo certificado y la finca</p> <p>Mantenimiento de registros: Los registros de la finca, incluyendo usos químicos, registros de cultivo y la documentación de leyes sobre uso y conservación de suelos deben conservarse mínimo por uno o dos años. Protección de cultivos: Los registros deben detallar los productos químicos usados, cuándo, dónde, por qué, cuánto, forma de aplicación, fecha y fecha de reingreso de trabajadores al lote.</p> <p>Sistema de quejas: El sistema debe estar en un lugar disponible para los clientes, junto con la documentación y respuesta a las quejas. Las fincas deben conservar registros de las quejas.</p> <p>Sistema de control interno: Se hace un control interno anual, documentado y se toman medidas para asegurar la conformidad con el código de Utz Kapeh.</p>	<p>Salud y seguridad del trabajador: los riesgos del trabajador, relacionados con salud y seguridad deben evaluarse y tomarse las acciones apropiadas para evitar riesgos. Los trabajadores deben recibir el entrenamiento apropiado. La finca debe tener equipos de primeros auxilios en sitio adecuados, procedimientos comprensibles de emergencia. También debe haber alguien entrenado en primeros auxilios. Deben tenerse medidas de control adecuadas de parásitos, por ejemplo en instalaciones sanitarias, etc.</p> <p>Bienestar del trabajador: Los trabajadores deben tener acceso al cuidado médico básico y al agua potable.</p>
<p>Rainforest Alliance</p> <p>Planeamiento y supervisión: Un plan debe demostrar brevemente las metas sociales y ambientales de la finca a largo plazo, con una evaluación de impactos potenciales. Este programa debe permanecer en un sitio específico para ser consultado. El café certificado debe mantenerse separado del café no certificado y éste debe documentarse con información acerca del movimiento del café en toda la cadena.</p>	<p>Salud y seguridad: Todos los trabajadores deben gozar de los servicios básicos y de condiciones de trabajo seguras y limpias. También deben recibir el entrenamiento apropiado en el uso de agroquímicos y del equipo. En trabajos potencialmente peligrosos, los trabajadores deben tener acceso a los chequeos médicos.</p>
<p>Starbucks</p> <p>Verificación independiente: La participación en el programa debe estar conforme a la verificación de terceras personas.</p> <p>Transparencia económica: Los compradores deben proporcionar la documentación confiable de los precios pagados a los productores.</p>	<p>Salud y seguridad pilotos del programa: Las condiciones de trabajo deben cumplir con las leyes aplicables de salud y de seguridad, e incluir el manejo seguro de agroquímicos.</p>
<p>IFOAM</p> <p>Producción dividida y paralela: La producción orgánica y la convencional se pueden realizar simultáneamente si la separación entre ellas es clara, continua y verificable.</p> <p>Procesamiento y manejo (incluye control de plagas y enfermedades): Los productos orgánicos y no orgánicos no deben mezclarse. Los productos orgánicos deben marcarse como tales y almacenarse lejos de los productos convencionales. Es necesario evitar toda forma de contaminación.</p>	<p>No incluye un lenguaje sobre seguridad y salud.</p>
<p>Comercio Justo</p> <p>No incluye un lenguaje ni documentación de un sistema de control</p>	<p>Salud y seguridad: Se debe trabajar hacia la prevención de accidentes y de lesiones, reduciendo al mínimo los peligros en el lugar de trabajo, según la convención 155 de la OIT.</p>

Continúa...

Continuación...

Organismo	Condiciones Laborales	Empleo de Agroquímicos
<p>Utz Kapeh</p>	<p>Bienestar del trabajador: En las fincas debe tenerse un responsable del bienestar del trabajador, que sea competente en leyes nacionales y locales del bienestar. Los salarios deben pagarse de acuerdo con las regulaciones locales y nacionales. Las fincas deben regularse por las convenciones de la OIT sobre horas de trabajo mínimo, trabajo forzado, discriminación, igualdad, libertad de la asociación y expresión. Los niños menores de 15 años deben tener acceso a la educación. Los cuartos de la finca deben ser habitables con todos los servicios básicos disponibles, incluyendo el agua potable y servicios sanitarios.</p>	<p>Empleo de fertilizantes: Debe evaluarse para evitar toxicidad en el suelo y la planta (Documentar). Los trabajadores deben estar entrenados en el uso de enmiendas, los equipos se deben mantenerse buenas condiciones. Los fertilizantes químicos y orgánicos deben identificarse y, almacenarse separados de otros productos, en áreas secas, y debe prevenirse la contaminación en canales y bodegas de almacenamiento de café. Las basuras no serán utilizadas como fertilizantes.</p> <p>Protección de cultivos: Es necesario emplear el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Los productos químicos no pueden utilizarse a 5 metros de ningún canal permanente. Solamente deben utilizarse los agroquímicos para una cosecha en particular. Los caficultores no pueden utilizar productos químicos prohibidos en los Estados Unidos ni en la Unión Europea. en los productos destinados a estos mercados. Los registros deben detallar los agroquímicos usados, cuándo, dónde, porqué, cuánto, cómo fue aplicado, fecha de posible recolección después de la aplicación y la época de reingreso del personal nuevamente al lote. Los trabajadores deben entrenarse en el uso apropiado de agroquímicos y portar el equipo adecuado. Los agroquímicos deben almacenarse en áreas seguras con el fin de evitar la contaminación de trabajadores y del ambiente. Los agroquímicos no usados y los envases vacíos se deben disponer según etiquetas y regulaciones locales.</p>
<p>Rainforest Alliance</p>	<p>Condiciones justas y buen trato a los trabajadores: Las políticas de empleo deben ser conformes a las leyes nacionales y a las convenciones internacionales, con el fin de mejorar el estándar de la vida de los trabajadores y de sus familias. Las prácticas del empleo estarán libres de la discriminación, proporcionarán sueldo igual o mayor que el mínimo legal, harán cumplir leyes de trabajo del niño y prohibirán cualquier forma de trabajo forzado. La libre asociación y negociación se hará de acuerdo con las convenciones internacionales. Los empleados serán informados de cualquier cambio de la gerencia y de sus impactos potenciales. Servicios básicos: Todos los trabajadores que residen en la finca tendrán acceso a los servicios básicos tales como: educación, asistencia médica, transporte, vivienda digna e instalaciones recreacionales.</p>	<p>Manejo integrada del cultivo: Emplear un MIP en el cual se integren los controles naturales con el fin de reducir el uso de agroquímicos. Los agroquímicos usados en la finca deben estar aprobados por leyes nacionales y la agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos. El personal tendrá el entrenamiento apropiado para aplicar, transportar y almacenar agroquímicos. Los niños no pueden acceder a estos productos. Los agroquímicos deben almacenarse debidamente en áreas específicas para reducir la contaminación. Los trabajadores deben disponer de duchas y áreas separadas para el lavado de equipos.</p>
<p>Starbucks</p>	<p>Salarios y beneficios: Las políticas de empleo de la finca deben estar conformes con los estándares locales e internacionales para los derechos de los trabajadores. Los salarios y los beneficios deben cumplir con los estándares de locales o nacionales. El derecho de los trabajadores a la organización y negociación debe estar de acuerdo a normas locales y convenciones internacionales.</p>	<p>Control de plagas: Deben emplearse los sistemas integrados de control de plagas para limitar el uso de pesticidas en casos extremos. Agroquímico aceptado: El uso de agroquímicos debe reducirse a un mínimo y deben emplearse preferiblemente los productos orgánicos. No pueden emplearse sustancias químicas prohibidas internacionalmente.</p>

Continúa...

Continuación...

Organismo	Condiciones Laborales	Empleo de Agroquímicos
IFOAM	<p>Justicia social: Establecer políticas sobre justicia social de acuerdo a las convenciones internacionales, por ejemplo: la prohibición del trabajo forzado, la libertad de la asociación y no discriminación, los derechos de los niños empleados con oportunidades educativas. Las violaciones claras de derechos humanos básicos o de injusticias sociales se traducen en la prohibición del etiquetado de un producto como orgánico.</p>	<p>Control de plagas, enfermedades y arvenses agresivas: El control de plagas, enfermedades y arvenses agresivas deben ser eficaces en condiciones normales.</p> <p>Los productos preparados localmente o formulados pueden utilizarse cuando el sistema de control natural no es suficiente por sí solo. Estos productos deben prepararse de plantas, residuos de animales o de microorganismos locales y deben estar aprobados por el organismo que emite los estándares.</p>
Comercio justo	<p>Trabajo forzado y del niño: El trabajo forzado no se debe permitir. El trabajo del niño no debe comprometer su educación. Los menores de 18 años no deben realizar labores que comprometan su salud, seguridad o moralidad. La finca debe procurar por no emplear niños menores de 15 años.</p> <p>Condiciones del empleo: Los trabajadores deben tener libertad de asociación. Los salarios deben ser acordes con las leyes nacionales</p> <p>Medicina del trabajo y seguridad: Se debe trabajar hacia la prevención de accidentes y lesiones, minimización de peligros en el lugar de trabajo (según la convención 155 de la OIT).</p> <p>Desarrollo Social: La organización debe tener una estructura democrática y una administración transparente que permita un control eficaz de los miembros. La participación está abierta a todos sin la discriminación según las pautas de la convención de la OIT.</p>	<p>Protección del medio ambiente: Debe seguirse la legislación internacional sobre el uso de pesticidas, manejando prácticas y la gestión de desechos. Los pesticidas clasificados en el WHO como 1A-1B y docena "sucia" de la red de la acción del pesticida no pueden utilizarse. El productor debe trabajar hacia la adopción de un sistema de control integrado de plagas para reducir el uso de fertilizantes y de pesticidas.</p>

Continúa...

Continuación...

Organismo	Conservación de Suelos	Manejo de Residuos
Utz Kapeh	Manejo del suelo y del sustrato: Las técnicas del cultivo deben reducir la erosión.	Control de la contaminación reciclaje y reutilización de basuras: Los subproductos del café deben reutilizarse como fertilizantes o fuente de energía. El pergamino no debe quemarse. La finca debe emplear un plan de gestión de desechos para evitar o reducir la basura y para animar a la disposición apropiada de basuras no-reutilizables, a excepción de quemarse.
Rainforest Alliance	Conservación del suelo: Un plan de manejo de suelos debe ejecutarse para aumentar la salud y fertilidad del suelo y reducir la erosión. Las fincas nuevas deben estudiar la conveniencia de cultivar según la clasificación del suelo.	Manejo de desechos: Se debe emplear un sistema de manejo de desechos para reducir la producción de basuras, para aumentar la reutilización y el reciclaje en lo posible, y para proporcionar la disposición sanitaria de basuras residuales.
Starbucks	Conservación del suelo: Las prácticas deben controlar la erosión y debe aumentarse la fertilidad por medios orgánicos.	Manejo de desechos: Debe implementarse un sistema de gestión de desechos para reducir el impacto de los subproductos en el ambiente.
IFOAM	Conservación del suelo y del agua: Es necesario prevenir la erosión, no quemar la vegetación, mantener la fertilidad del suelo con enmiendas naturales y el reciclaje de nutrientes. El agricultor debe prevenir la salinización del agua. Los recursos hídricos deben manejarse de manera sostenible. Fertilidad y fertilización de suelo: La fertilidad de suelo será mantenida o aumentada por medio del uso de un sistema basado en enmiendas y reciclaje, empleando materiales de origen microbiano o animal. Todas las enmiendas del suelo deben ser la aprobadas por los organismos que emiten los estándares y deben aplicarse de manera que se proteja el suelo, el agua y la biodiversidad. Los fertilizantes minerales naturales pueden aplicarse solamente si son parte del programa que incluya la aplicación o la práctica de métodos orgánicos como abonos verdes. Los residuos humanos se prohíben para aplicación en cultivos de consumo humano. Diversidad en la producción vegetal: Para las cosechas perennes no rotativas, la empresa certificadora fijará los estándares mínimos para el establecimiento de coberturas vegetales del suelo, que sirvan de hospederos de plagas y enfermedades y que contribuyan al mantenimiento de la salud del suelo.	Evitar toda forma de contaminación: El uso de materiales sintéticos como redes y barreras será limitado, deben ser de polietileno o polipropileno, y después de usarlos deben ser quemados en los lotes de cultivo.
Comercio justo	Protección del medio ambiente: Seguir la legislación internacional sobre la protección de recursos y ecosistemas naturales y la erosión. La mayoría de los productores orgánicos asociados en una cooperativa deben producir café bajo sombra.	Protección del medio ambiente: Seguir la legislación internacional sobre el uso de pesticidas y manejo de desechos.

Organismo	Conservación del agua	Ecosistemas y Biodiversidad
Utz Kapeh	<p>Irrigación y ferti-irrigación: Las aguas residuales no deben usarse para riego. Así mismo, es necesario evaluar anualmente el potencial de contaminación del agua y mantener los registros para probar las acciones tomadas. El agua de irrigación debe extraerse de fuentes sostenibles.</p>	<p>Historia y mantenimiento del sitio: La deforestación de tierras para aumentar el tamaño de la finca está prohibida. Deben atenderse las leyes nacionales y locales con respecto a la utilización del suelo y a la conservación de la biodiversidad. Todos los campos deben tener un sistema de archivo, junto con un sistema visual de referencia para la identificación.</p>
Rainforest Alliance	<p>El recurso agua: Las fuentes de agua deben estar separadas de los cultivos y no se debe alterar su curso natural. El uso del agua debe reducirse al mínimo y reciclarse en lo posible. Los caficultores deben propender por no contaminar los acuíferos. El agua empleada en el proceso de beneficio debe filtrarse y tratarse antes de devolverla a la naturaleza. Todas fuentes de contaminación del agua, incluyendo agroquímicos, deben eliminarse o reducirse a niveles nacionalmente aceptables. La salud del recurso de agua debe ser supervisada y mantenida.</p>	<p>Conservación del ecosistema: Los ecosistemas deben identificarse y protegerse y no deben degradarse para la ampliación de fincas. Protección forestal: Las áreas no convenientes para cultivos se deben reforestar o restaurar. Es necesario establecer áreas vegetales a lo largo de los canales. Los bordes de la carretera públicos deben ser reforestados. En fincas donde se empleen agroquímicos deben establecerse áreas vegetales entre las zonas de trabajo y viviendas. Plantar líneas de árboles nativos donde el café se produce bajo sombrero. Realizar podas sin afectar la biodiversidad y el hábitat. Prevención contra incendios: Las quemadas son prohibidas. Los agricultores deben tener un plan de prevención de incendios y trabajadores entrenados para la extinción de incendios. Conservación de la fauna: Identificar los hábitats críticos y manejar los corredores biológicos para la protección de la fauna. Las fincas deben tener un plan de protección y restauración de la biodiversidad. La caza o la recolección de flora y de fauna será prohibida, a menos que sea para la protección de especies en peligro de extinción. Las unidades de producción no pueden localizarse en zonas donde puedan afectar las áreas de conservación.</p>
Starbucks	<p>Reducción del uso del agua: El proceso debe reducir al mínimo el uso de agua. Limpiar el agua: El proceso debe prevenir la contaminación superficial y subterránea del agua. Zona tapón: Las fuentes de agua deben estar separadas de los cultivos y no se debe alterar su curso natural.</p>	<p>Bosque y conservación de la biodiversidad: La producción debe realzar la diversidad biológica y no debe afectar bosques nativos. Uso de sombrero: La producción existente del café bajo cubierta del bosque debe mantener y/o realizar biodiversidad.</p>
IFOAM	<p>Conservación del suelo y del agua: El caficultor debe prevenir la salinización del agua. Los recursos de agua deben manejarse de manera sostenible.</p>	<p>Manejo del ecosistema: Los operadores mantendrán y mejorarán el paisaje para la biodiversidad. Se prohíbe la deforestación.</p>
Comercio justo	<p>Protección del medio ambiente: Seguir la legislación internacional sobre la protección de los recursos naturales y los ecosistemas.</p>	<p>Protección del medio ambiente: Seguir la legislación internacional sobre la protección de los recursos naturales y los ecosistemas. Los caficultores asociados en cooperativas deberán producir café bajo sombrero.</p>

3. Comparación de otros criterios

Organismo	Comparación de otros criterios Criterios
Utz Kapeh	<p>Varietades y rizomas: Cualquier ensayo con organismos genéticamente modificados (GMOs) debe ajustarse a las regulaciones nacionales y el agricultor debe notificar al cliente sobre el uso de estas variedades.</p> <p>Cosecha: Todo el equipo de cosecha debe mantenerse limpio para prevenir contaminaciones. El café recolectado debe beneficiarse en un plazo de 24 horas posterior a la cosecha. Las balanzas y equipos de medida se deben calibrarse mínimo cada año.</p> <p>Manejo del café postcosecha: Si el café no es procesado por el caficultor, la central de beneficio debe ser certificado por Utz Kapeh. Se debe tener un análisis anual del riesgo de salud y de seguridad para todas las operaciones de beneficio, este análisis debe estar documentado. Las recomendaciones dadas en el análisis deben ser puestas en ejecución. Los caficultores deberán tener un sistema administrativo definido. Contar con documentación que demuestre que el agua usada y los subproductos producidos durante el proceso de beneficio húmedo se reducen al mínimo. El agua debe ser reutilizada nuevamente en el proceso. Los canales de lavado del café deben permanecer libres de agentes contaminantes. Las instalaciones de secado deben contar con un sistema de ventilación, las instalaciones deben mantenerse limpias y el café no debe estar en contacto directo con el suelo. La humedad del café debe medirse con el equipo adecuado. El café beneficiado y secado debe transportarse y almacenarse en condiciones limpias y secas para prevenir la contaminación.</p>
Rainforest Alliance	<p>Relaciones con la comunidad: El desarrollo de las actividades de la finca debe considerar los intereses de comunidad, el respecto por la comunidad y una responsabilidad compartida en la preservación de recursos naturales. Las comunidades adyacentes deben tener prioridad para ser entrenadas y empleadas. La posesión legal de la tierra debe ser documentada. La salud humana y ambiental, la capacitación la salud y la educación deben ser parte del programa con los trabajadores de la finca y sus familias.</p>
Starbucks	<p>Calidad preferida: Preferiblemente un café con cero defectos y color y tamaño uniformes. El café debe provenir de un sitio en particular (origen).</p> <p>Uso de energía: Las técnicas de secado deben ser sostenibles y no depender de la madera del bosque.</p>
IFOAM	<p>Ingeniería genética: Se prohíbe el uso de GMOs en cualquier forma, incluyendo la producción paralela.</p> <p>Conversión: El período mínimo de conversión es de 18 meses a partir de la puesta en práctica de las normas orgánicas en cultivos perennes. Durante el período de conversión deben ajustarse todos los requisitos planteados en los estándares.</p> <p>Administración orgánica: El operador demostrará que en su sistema de producción aplica criterios orgánicos y que no alterna los métodos orgánicos y convencionales.</p> <p>Elección de variedades: Las semillas y el material de plantación deben ser orgánicos si hay disponibilidad de ellos. Los organismos de control determinarán la utilización de material de propagación no orgánico si las variedades orgánicas no están disponibles.</p> <p>Evitar la contaminación: El caficultor utilizará medios apropiados tales como barreras y/o zonas tampón para evitar la contaminación de productos orgánicos. El caficultor tomará las medidas necesarias para identificar y eliminar fuentes potenciales de contaminación. El uso de materiales sintéticos debe ser limitado, así como el uso de polietileno y polipropileno, los cuales deben incinerarse después de su uso. Todo el equipo usado en la producción convencional debe limpiarse muy bien antes de usarse en el sistema orgánico.</p> <p>Dirección del proceso: Los productos orgánicos y químicos no deben mezclarse. Los productos orgánicos se deben etiquetar como tal y almacenarse y transportarse lejos del contacto con los productos convencionales. Los operarios y caficultores tomarán las precauciones para evitar contaminar los productos orgánicos con agentes contaminantes, incluyendo residuos en el equipo e instalaciones.</p> <p>Empacado: Los productos orgánicos no pueden empacarse o almacenarse en materiales que puedan contaminar con sus residuos (productos químicos) al café.</p>
Comercio justo	<p>Desarrollo potencial: Los premios del comercio justo permitirán la promoción del desarrollo social y económico para los pequeños caficultores. Los miembros son productores pequeños: La mayoría deben ser pequeños productores y más del 50% de su producción debe ser “Comercio justo”.</p> <p>Premio: Administrativamente, los premios son transparentes y democráticos.</p> <p>Exportación: Deben haber medios logísticos, administrativos y técnicos para exportar un producto de calidad.</p> <p>Consolidación económica de la organización: La organización debe apuntar hacia la consolidación económica, democrática, participativa y transparencia en la organización de la finca.</p>

Productividad de café en sistemas intercalados

Argemiro M. Moreno B.



Estructura de los sistemas de producción

Un sistema de producción agrícola es una actividad dirigida a transformar componentes abióticos (oferta ambiental) en ingresos económicos, mediante componentes bióticos (genotipos) ordenados en arreglos espaciales y cronológicos, sometidos a prácticas adecuadas de manejo. Por ejemplo, la planta de café (genotipo) transforma CO₂, agua, energía solar y minerales en granos de café para satisfacer mercados.

La estructura de los sistemas de producción se denomina arreglo y ordena los componentes bióticos en el tiempo y el espacio.

Arreglos interespecíficos

Se relacionan directamente con los componentes de tipo biótico, representados en poblaciones de cultivos (componentes específicos), que interactúan para formar el sistema. Ciertas características estructurales de las plantas cultivadas como la altura, el volumen de raíces y el área foliar determinan la población óptima total y el arreglo espacial y cronológico del sistema. En consecuencia, a la hora de elegir los cultivos es conveniente tener en cuenta las interacciones negativas (competencia o alelopatía), para optimizar los recursos invertidos en la producción de las especies vegetales.

Arreglos espaciales

Son el resultado de la distribución de las poblaciones de los componentes específicos en el terreno. El arreglo espacial define los diferentes tipos de sistemas de producción, puesto que las poblaciones pueden distribuirse en arreglos indefinidos o definidos como surcos, franjas o bordes y las combinaciones de éstos. Por ejemplo, en el sistema café intercalado con maíz, cada cultivo domina su espacio a manera de una superposición sin que coincidan los sitios donde se ubican las plantas; a diferencia del sistema frijol voluble asociado con maíz donde las plantas de ambos cultivos comparten el mismo sitio.

El arreglo espacial, es determinante a la hora de diseñar un sistema de producción, sea experimental o comercial, porque debe hacerse de tal manera que las interacciones interespecíficas afecten lo menos posible los productos del sistema. En café, según los resultados de la investigación se ha concluido que la producción es independiente del arreglo espacial de las plantas en el campo.

Arreglos cronológicos

Se refiere a las fechas relativas de siembra de los componentes específicos, lo cual ofrece la posibilidad

de realizar una siembra simultánea, adelantada o subsecuente con referencia a uno de los cultivos. El propósito de este tipo de arreglos como el de los espaciales, es reducir las interacciones tanto intraespecíficas como interespecíficas, con el fin de maximizar la producción del sistema.

Los diferentes tipos de arreglos cronológicos que pueden ocurrir entre dos o más cultivos dependen del momento de la siembra y del grado de traslape entre los ciclos de los cultivos; por tanto, es posible producir diferentes niveles de interacción entre los cultivos en el tiempo. Como ejemplo se puede citar: la siembra simultánea, la siembra con retraso, la siembra en relevo y la rotación de cultivos.

Interacciones entre los componentes específicos

Cuando dos o más cultivos comparten el espacio ocurren una serie de interacciones que se describen como alelopatía y competencia.

La alelopatía, que es la influencia directa de un compuesto químico liberado por las plantas de una especie que inhiben o alteran el crecimiento normal de plantas de otras especies. Es la interacción menos deseada en un sistema de producción con arreglos interespecíficos, porque afecta una de las especies y no es fácil disminuir su efecto sobre ésta.

La competencia, que de forma general se da en detrimento de una de las especies, tampoco es deseable en un arreglo interespecífico, y debe controlarse con el manejo independiente de los cultivos, utilizando distintos arreglos espaciales y cronológicos.

En términos generales, puede decirse que el estudio de los sistemas de producción implica el diseño de una estructura de la cual se conocerá su función utilizando la experimentación. Por ejemplo, al estudiar el sistema café intercalado con maíz se optó por incluir en su estructura el número de ciclos de cultivo de maíz, diferentes poblaciones y varias distancias de siembra de café, para evaluar las interacciones y de esta forma recomendar la estructura que permita producir maíz de forma rentable sin afectar la producción de café, componente principal del sistema.

Evaluación de los sistemas de producción agrícolas

Al considerar que el fin de cualquier sistema de producción agrícola es su salida como productos comerciales, éstos en su fase experimental deben evaluarse para recomendar la mejor estructura en función de sus componentes

específicos (cultivos), del espacio y del tiempo, ante un recurso escaso como puede ser el suelo. Por tanto, debe estudiarse el comportamiento biológico, agronómico, económico y financiero del sistema de producción.

Evaluación biológica. Se hace con base en la producción de biomasa o de producto comercial para medir la eficiencia del sistema. El IRRRI¹ (1973, 1974) y Mead y Willey (1980), han propuesto el concepto de “Índice Equivalente de Terreno” (IET), para expresar y evaluar:

- La ventaja o desventaja, en términos de producción biológica del sistema de producción, con referencia a cada componente específico en unicultivo (criterio de máxima producción).
- La eficiencia o ineficiencia de un sistema comparado con otro, con relación al uso del suelo (criterio de menor área).
- La ventaja o desventaja de una práctica agronómica sobre otra dentro del sistema de producción (comparación entre prácticas agronómicas).
- La competencia entre los componentes específicos (cultivos).

El IET se calcula sumando los rendimientos relativos de los cultivos. Se entiende por rendimiento relativo la relación entre la producción del cultivo dentro del sistema y la producción del cultivo fuera del sistema (unicultivo). El resultado puede ser igual a 1, menor que 1 ó mayor que 1.

Si tenemos que en el sistema de producción café intercalado con maíz las producciones de maíz fueron de 4,2 t/ha dentro del sistema y de 5,0 t/ha como unicultivo, y las del café 220 arrobas (@) de cps/ha dentro del sistema y de 240 @ cps/ha como unicultivo, el IET se calcula de la siguiente forma:

$$IET = \frac{4,2}{5,0} + \frac{220}{240} = 0,84 + 0,91 = 1,75$$

Significa que al usar este sistema de producción, lo que se produce en una hectárea, necesitaría 1,75 ha en unicultivos para obtener la misma producción; por tanto, en este caso el sistema de producción café intercalado con maíz es más eficiente que los unicultivos. A manera de ilustración puede observarse en la Tabla 11.1, el IET en diversos arreglos entre frijol voluble tipo cargamanto y tres cultivares de maíz, con tres fechas relativas de siembra del frijol respecto de la siembra del maíz e intercalados en zocas de café. Aunque los cálculos se

hicieron sólo con los datos de maíz y de frijol, el sistema en general muestra gran eficiencia.

Evaluación fisiológica. Se basa en todas las variables que determinan el desarrollo y el crecimiento de los cultivos, tanto para medir sus efectos inmediatos como subsecuentes; por ejemplo, el café puede experimentar elongación de los entrenudos ante la presencia de otro cultivo y afectarse de esta manera la producción, si no se corrige la causa de dicho efecto. Por eso, para el caso de la siembra de café intercalado con maíz, no se recomienda hacer dos ciclos seguidos con una población inicial de maíz de 45.000 plantas/ha; la segunda puede hacerse con un máximo de 30.000 plantas/ha.

Evaluación agronómica y de la competencia. Esta evaluación se hace de manera exclusiva con las producciones de cada cultivo, calculando la tasa de competencia en función de los rendimientos relativos y de sus respectivas porciones de espacios, para medir el grado de competencia entre los cultivos, de tal forma que pueda establecerse si un cultivo fue mejor o menor competidor que el otro en un sistema de producción determinado.

La tasa de competencia se calcula al dividir los rendimientos relativos y multiplicar este resultado por las porciones relativas de espacio de cada cultivo (Leihner, 1983). A manera de ejemplo, si en los datos anteriores el café estuvo sembrado a 1,0 m x 1,0 m y el maíz a 1,0 m x 0,4 m (2 plantas/sitio), con las producciones ya mostradas, las tasas de competencia se calculan así:

$$\begin{aligned} \text{Tasa de competencia del maíz} &= \left(\frac{4,2}{5,0} / \frac{220}{240} \right) * \left(\frac{1}{1} \right) \\ &= (0,84/0,91) * \left(\frac{1}{1} \right) = 0,92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasa de competencia del café} &= \left(\frac{220}{240} / \frac{4,2}{5,0} \right) * \left(\frac{1}{1} \right) \\ &= (0,91/0,84) * \left(\frac{1}{1} \right) = 1,08 \end{aligned}$$

Aunque la diferencia no es grande, con los datos anteriores se observa que el café es más competitivo que el maíz y por esta razón ya habíamos observado un IET bastante alto, como una indicación de la alta eficiencia del sistema, con valores de la tasa de competencia alrededor de uno.

Evaluación económica. Se hace en función de los costos variables de cada cultivo y puede expresarse como el margen bruto de cada cultivo.

¹ International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas.

Tabla 11.1. Índices equivalentes de terreno (IET) de frijol en relevo con tres cultivares de maíz y tres fechas relativas de siembra con respecto de la fecha de siembra del maíz (DDSM), intercalados en zocas de café. Subestación El Rosario, 2006 (Granada, 2006).

Arreglos interespecíficos y cronológicos	IET
Frijol con relevo de maíz FNC-3054 intercalado con café (60 DDSM)	2,1
Frijol con relevo de maíz FNC-3054 intercalado con café (90 DDSM)	2,0
Frijol con relevo de maíz FNC-3054 intercalado con café (120 DDSM)	1,8
Frijol con relevo de maíz regional intercalado con café (60 DDSM)	2,3
Frijol con relevo de maíz regional intercalado con café (90 DDSM)	2,0
Frijol con relevo de maíz regional intercalado con café (120 DDSM)	2,2
Frijol con relevo de maíz ICA V-305 intercalado con café (60 DDSM)	2,0
Frijol con relevo de maíz ICA V-305 intercalado con café (90 DDSM)	1,6
Frijol con relevo de maíz ICA V-305 intercalado con café (120 DDSM)	1,7

Al considerar, que el propósito de intercalar cultivos transitorios en los lotes de café es aprovechar el espacio de las calles del cafetal antes de la primera cosecha sin que se afecte su producción, el ingreso adicional que producirá el cultivo intercalado, después de cumplir la condición de ninguna o mínima competencia, dependerá del manejo que se le haga a dicho cultivo.

Para el caso del maíz por ejemplo, las experiencias que se tienen en fincas de agricultores con actitud de empresarios agrícolas ha sido la de haber logrado ingresos netos de por lo menos un millón de pesos por hectárea.

Evaluación financiera. La evaluación se hace cuando desea compararse un sistema de producción con cualquier otro negocio, y en tal caso, se calculan indicadores financieros como la relación beneficio/costo y la tasa interna de retorno, entre otros; tal como se hace al evaluar cualquier proyecto de inversión.

Diseños experimentales usados en el estudio de arreglos interespecíficos

Ya se ha visto que un sistema de producción está conformado por los cultivos en arreglos espaciales y cronológicos, el cual en ambientes determinados tendrá diferentes salidas como producto de su función; por tanto, es necesario diseñar experimentos en el campo para conocer la función del sistema con la cual se obtengan los mejores resultados en términos de IET, de tasas de competencias o de ingresos netos, para luego recomendarlo a los caficultores.

Para lograr lo anterior se cuenta con metodologías de diseño experimental, que para el caso de modificar la población de los cultivos cuenta con los diseños aditivos y las series de reemplazo.

Los diseños aditivos, consisten en variar la población de un cultivo manteniendo la del otro constante para determinar de esta manera con cual densidad se logra la tasa de competencia mínima con el cultivo principal. Cuando se estudió el sistema café intercalado con maíz, la población de maíz varió entre 15.000 y 45.000 plantas/ha. Estos diseños son útiles cuando se quiere conocer la máxima población que debe intercalarse con otro cultivo, cuando éste es el cultivo principal, de tal manera que la competencia del cultivo intercalado no sea significativa.

Lo anterior tiene aplicación, cuando se establecen cultivos perennes con tiempos de establecimiento relativamente largos e improductivos, para aliviar el flujo de caja durante ese período. Aparte de esto, es una oportunidad para aumentar el reciclaje de la materia orgánica que queda en los residuos de cosecha del cultivo intercalado; el cual dentro de lo posible debe ser de ciclo corto, para poder sembrarlo más de una vez, aunque también se puede hacer rotación de los cultivos transitorios.

Las series de reemplazo permiten variar de forma simultánea las poblaciones de dos o más cultivos, de tal manera que la población total se mantenga constante. Por ejemplo, si se fuera a estudiar el sistema café intercalado con yuca podría trabajarse con una población de 10.000 plantas/ha para el sistema, variando la

población de yuca entre 0 y 10.000 plantas/ha y la de café entre 10.000 y 0 plantas/ha, cumpliendo con que la densidad de siembra de las dos poblaciones sea siempre igual a 10.000 plantas/ha. Este tipo de diseño permite conocer la combinación máxima de poblaciones entre dos especies con la mínima competencia y la máxima eficiencia biológica.

Opciones tecnológicas para los sistemas de producción complementarios al café

Durante década y media, Cenicafe ha experimentado con sistemas de producción donde el café ha sido el cultivo principal, como una forma de ofrecer opciones tecnológicas a los caficultores para generar ingresos adicionales en su etapa de establecimiento, la cual es improductiva y exigente en gastos como las desyerbas.

Entre los sistemas de producción de café en arreglos interespecíficos estudiados figuran aquellos con cultivos transitorios como el frijol arbustivo, frijol voluble, tomate de mesa y arroz intercalados con café, tanto en siembras nuevas como con zocas. Y entre los cultivos semiperennes el plátano Dominico Hartón y el banano Gross Michel intercalado en siembras nuevas de café. Además, se ha estudiado la rotación de cultivos transitorios como el maíz, el frijol y el tomate de mesa, intercalados con zocas de café y manejo integrado de arvenses.

De estas investigaciones puede concluirse que al intercalar cualquier cultivo con el café debe hacerse el manejo agronómico independiente a cada cultivo, con el fin de reducir la posible competencia del cultivo intercalado con el café, y de esta forma obtener ingresos adicionales sin afectar la producción de café.

De otra parte, al planificar la fertilización de los cultivos intercalados el análisis de suelo debe corresponder a una muestra tomada en las calles del café, porque los resultados del análisis de suelo entre la muestra tomada en el plato y la tomada en las calles del café, presentan algunas diferencias (Tabla 11.2). Por tanto, el resultado

del análisis de suelo que se tiene para el cafetal no debe usarse para otros cultivos.

Producción de maíz intercalado con café

En varios países donde se cultiva el café existe preocupación por los ingresos de los caficultores y los resultados de investigación demuestran que la rentabilidad del café se aumenta cuando se intercalan cultivos. Chengapa y Rebello (1977), informan que aunque existe poca diferencia entre los costos de cultivos de café intercalados y no intercalados, los rendimientos netos más altos se obtuvieron con cultivos intercalados. Bheemaiah y Shariff (1989), afirman que el café intercalado con pimienta, naranja, plátano y otras frutas, producen altas ganancias.

Algunos resultados de investigaciones de cultivos intercalados con café, han mostrado que éstos reducen la producción de café, a causa de la competencia por agua, luz y nutrientes. Pero esa reducción puede variar o compensarse con la producción del otro cultivo. El efecto de competencia por el intercalamiento, depende de: edad del café, tipo de cultivo, sistema de siembra, manejo agronómico y de los arreglos espacial y cronológico. Por tanto, con buenas prácticas agronómicas en el cultivo intercalado, con el uso de materiales mejorados, con las poblaciones acordes con las distancias de siembra del cultivo principal, con los sistemas adecuados de siembra y con el buen manejo de los suelos, es posible obtener otros productos aumentando así la eficiencia biológica y económica del sistema, para mantener o aumentar el nivel y calidad de vida de los cultivadores (Melles *et al.*, 1985; Mestre y Salazar, 1989).

Al considerar la necesidad de buscar opciones para diversificar el ingreso y la producción en la zona cafetera, se decidió hacer investigación del sistema de producción maíz intercalado con café (Figura 11.1), para ofrecer a los caficultores las opciones tecnológicas que le permitieran a los caficultores colombianos intercalar maíz tanto en los lotes con siembras nuevas de café

Tabla 11.2. Resultado del análisis de suelo de las muestras tomadas en un mismo lote tanto en el plato como en las calles del café. Subestación El Rosario, 2005 (Granada, 2006).

Sitio de muestreo	pH	Porcentaje		P (mg.kg ⁻¹)	cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹				Textura
		N	Materia Orgánica		K	Ca	Mg	Al	
En el plato	4,4	0,62	17,9	9,0	1,29	0,6	0,5	3,7	F
En la calle	4,6	0,62	17,7	9,0	0,44	1,4	0,5	2,7	F



Figura 11.1. Siembra de café intercalda con maíz.

como en los renovados por medio del zoqueo; y de esta forma mejorar los ingresos, diversificar la producción y generar empleo rural.

Localidades. Los experimentos se establecieron en once localidades con características de suelo y clima contrastantes; siete en lotes con siembras nuevas de café y cuatro en lotes de café renovados por zoqueo (Tabla 11.3).

Se usaron líneas derivadas de Caturra x HT, tanto en siembras nuevas como en zocas; por tener buena

arquitectura de planta, buen comportamiento agronómico y ser resistentes a la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). De maíz (*Zea mays* L.), según la localidad se usaron las variedades ICA V-305 e ICA V-354, estos materiales fueron obtenidos para las condiciones de la zona cafetera colombiana (Tabla 11.4).

En todas las localidades se evaluó el efecto sobre la producción de café, de dos ciclos seguidos de maíz en tres poblaciones intercalados con café en tres distancias de siembra, bajo un diseño de bloques completos al azar en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones.

Siembra. Tanto en los lotes con siembras nuevas de café como en los zoqueados, el primer ciclo de maíz se hizo de forma simultánea o en los dos primeros meses y el segundo en la época adecuada de siembra, pero ambos antes de la primera cosecha de café.

Los cultivos se manejaron de manera independiente, lo cual se fundamentó en los resultados de Margate *et al.*(1993), quienes al estudiar el sistema coco (*Cocos nucifera* L.) intercalado con café, concluyeron que la aplicación de fertilizantes al coco, con o sin fertilizar el café, incrementaron la cosecha de copra; el coco no fertilizado, aunque el café lo estuviera, produjo cosechas bajas, sugiriendo que el coco no se beneficiaba de los fertilizantes aplicados al café; si el coco estaba fertilizado, la cosecha de café no se beneficiaba del

Tabla 11.3. Localidades donde se evaluó el sistema de producción maíz intercalado con café.

Departamento	Municipio	Localidad	Estado del café
Caldas	Chinchiná	Estación Central Naranjal	Siembra nueva
Cauca	El Tambo	Concentración Escolar San Joaquín	Siembra nueva
Cundinamarca	Sasaima	Subestación Experimental Santa Bárbara	Zoca
Huila	Gigante	Subestación Experimental Gigante	Siembra nueva
Quindío	Buenavista	Subestación Experimental Paraguaicito	Siembra nueva
Quindío	Montenegro	Subestación Experimental Maracay	Zoca
Nariño	La Unión	Finca El Pará	Siembra nueva
Santander	Floridablanca	Subestación Experimental Santander	Siembra nueva
Tolima	Líbano	Subestación Experimental Libano	Zoca
Valle del Cauca	El Cairo	Subestación Experimental Albán	Siembra nueva
Valle del Cauca	Sevilla	Subestación Experimental La Sirena	Zoca

fertilizante aplicado al coco, por tanto fue necesario aplicar fertilizante por separado a los dos cultivos. Con base en lo anterior, se optó por hacer el manejo agronómico independiente al maíz y al café; conforme a las labores propias de cada cultivo, incluida la fertilización según el análisis de suelo.

Al momento de la siembra o diez días después de la emergencia se fertilizó el maíz, aplicando 200 kg.ha⁻¹ de difosfato de amonio (DAP) más 50 kg.ha⁻¹ de cloruro de potasio, con un refuerzo de 150 kg.ha⁻¹ de urea más 50 kg.ha⁻¹ de cloruro de potasio, treinta días después de la emergencia.

En los experimentos establecidos en cafetales con siembra nueva de café, hubo efecto significativo del número de ciclos de producción de maíz sobre la producción de café, independiente de la distancia de siembra de éste, de tal manera que con 45.000 plantas/ha de maíz sólo se puede intercalar un ciclo de producción y uno adicional con un máximo de 30.000 plantas/ha de maíz. Los dos ciclos de maíz deben establecerse hasta la primera cosecha del café. Tanto las producciones de café como las de maíz estuvieron dentro de los valores esperados (Tablas 11.5 y 11.7).

Tabla 11.4. Características agronómicas de las variedades ICA V-305 e ICA V - 354 (Navas *et al.*, 1993).

Característica agronómicas	ICA V - 305 (Swan x La Posta)	ICA V - 354 (Across 8422)
Altura de planta (m)	2,34	2,18
Altura de la mazorca (m)	1,26	1,25
Días a floración femenina	72	70
Longitud de la mazorca (cm)	19	18
Diámetro de la mazorca (cm)	4,8	5,3
Número de hileras	14 - 16	14 - 16
Granos por hilera	42	40
Color y textura del grano	Amarillo semicristalino	Blanco semicristalino
Porcentaje de desgrane	85	84
Población comercial	40.000 - 50.000 plantas/ha	40.000 - 50.000 plantas/ha

Tabla 11.5. Producción de café (@ cps/ha) en siembra nueva intercalada con dos ciclos de maíz en la etapa de establecimiento. Finca El Pará (La Unión, Nariño) (Cenicafé, 2000).

Distancia de siembra del café (m)	Población de maíz (plantas/ha)	Cosecha 1		Cosecha 2		Media	
		ciclos de cultivo de maíz y su producción en kg.ha ⁻¹					
		Uno	dos	uno	dos	Uno	Dos
1,00 x 1,00	0	626,4	663,1	638,6	666,5	632,4	664,8
	15.000	834,5	879,1	604,2	617,4	719,3	748,2
	30.000	784,4	739,5	628,6	608,9	706,5	674,2
	45.000	799,4	675,8	634,6	671,1	717,0	673,5
1,15 x 1,15	0	668,9	572,5	587,7	552,4	628,3	562,4
	15.000	879,1	658,4	560,8	519,9	720,0	589,1
	30.000	703,8	643,6	543,4	646,7	623,6	645,1
	45.000	742,6	482,2	562,7	587,1	652,7	634,6
1,42 x 1,42	0	494,6	450,6	483,8	462,8	489,2	456,7
	15.000	444,3	440,6	516,6	388,8	480,5	414,7
	30.000	476,8	418,0	474,2	432,7	475,5	425,4
	45.000	498,4	439,3	477,2	489,0	487,8	464,1
Media general		662,8	588,6	559,4	553,6	611,0	571,1
Coeficiente de variación (%)		23,5		14,3		13,1	

Tabla 11.6. Producción (kg.ha⁻¹) y prolificidad de maíz intercalado en una siembra nueva de café. Finca El Pará (La Unión, Nariño) (Cenicafé, 2000).

Distancia de siembra del café (m)	Poblaciones de maíz (Plantas/ha)	kg.ha ⁻¹ de maíz seco		Prolificidad	
		Ciclos de cultivo de maíz y su producción en kg.ha ⁻¹			
		Uno	Dos	Uno	Dos
Maíz solo	15.000	2.317	2.950	1,64	1,55
	30.000	3.621	3.500	1,43	1,14
	45.000	3.936	4.183	1,14	1,06
	55.000	5.050	4.583	1,08	1,03
1,00 x 1,00	15.000	2.933	1.800	1,62	1,55
	30.000	3.803	2.740	1,42	1,39
	45.000	4.358	3.617	1,15	1,31
1,15 x 1,15	15.000	2.378	2.570	1,68	1,64
	30.000	3.578	2.848	1,33	1,46
	45.000	4.530	4.611	1,18	1,10
1,42 x 1,42	15.000	2.754	1.690	1,80	1,68
	30.000	3.718	2.918	1,35	1,29
	45.000	4.834	3.880	1,21	1,01
Media general		3.678	3.222	1,37	1,32
Coeficiente de variación (%)		26,3	31,0	18,7	17,4

Tabla 11.7. Producción de café (@ cps/ha) en siembra nueva intercalada con dos ciclos de maíz. Estación Central Naranjal (Caldas) y Subestaciones Experimentales Albán (Valle) y Gigante (Huila) (Moreno *et al.*, 1995).

Plantas de café/ha	Plantas de maíz/ha	Producción de café (arrobos de café pergamino seco por hectárea)					
		Estación Central Naranjal (Caldas)		S. Experimental Albán (Valle)		S. Experimental Gigante (Huila)	
		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
10.000	0	424	477	428	332	403	357
	15.000	415	401	357	314	368	302
	30.000	421	386	348	301	259	246
	45.000	438	314	391	268	344	230
7.500	0	404	347	291	267	410	357
	15.000	302	429	262	221	360	305
	30.000	353	278	276	270	290	230
	45.000	381	307	274	200	238	180
5.000	0	277	250	196	204	256	190
	15.000	277	239	184	173	233	159
	30.000	280	220	211	193	219	144
	45.000	207	191	178	176	209	143
Media general		348	320	283	243	299	237
Coeficiente de variación (%)		15,4		18,8		24,4	

Con relación al maíz, no se observó ningún efecto del café sobre la producción ni el número de mazorcas por planta (prolificidad), lo cual es una ventaja del sistema al tener en cuenta que la producción de maíz es la fuente de ingreso adicional. Se observó una variación

inversa entre la prolificidad y el número de plantas por sitio, con los valores más altos con una y dos plantas por sitio, lo cual puede ser interesante cuando el caficultor siembre maíz para vender las mazorcas y no grano seco. En la Tablas 11.6 y 11.8, se muestran los datos de producción y prolificidad de maíz, tanto en las Estaciones

Tabla 11.8. Producción de maíz (kg.ha⁻¹) intercalado en siembra nueva de café. Estación Central Naranjal (Caldas) y Subestaciones Experimentales Albán (Valle) y Gigante (Huila) (Moreno *et al.*, 1995b).

Distancia de siembra del café (m)	Plantas de maíz Por hectarea	kg.ha ⁻¹ de maíz ajustado al 15% de humedad					
		Gigante (Huila)		E. C. Naranjal		Albán (Valle del Cauca)	
		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
1,0 x 1,0	15.000	1.166	1.436	2.022	2.079	3.237	3.711
	30.000	3.919	3.485	3.260	4.370	6.136	5.724
	45.000	5.565	4.825	6.362	6.040	6.561	6.120
1,15 x 1,15	15.000	2.799	2.390	1.984	2.258	3.541	3.609
	30.000	4.316	3.302	3.714	4.561	5.510	5.347
	45.000	5.412	4.544	6.077	6.474	6.723	5.685
1,42 x 1,42	15.000	2.968	2.417	1.343	2.688	3.578	3.531
	30.000	4.484	3.418	3.423	4.039	5.271	4.550
	45.000	5.770	4.018	5.856	6.156	6.556	4.850
Maíz solo	15.000	3.654	3.181	1.405	2.745	4.188	3.939
	30.000	5.387	4.480	3.339	4.591	5.753	4.670
	45.000	6.238	4.787	5.992	6.390	6.305	5.536
	55.000	6.556	5.219	5.961	5.062	5.765	5.245
Media general		4.479	3.659	3.903	4.419	5.317	4.809
Coeficiente de variación (%)		13,9	16,5	17,3	21,5	15,2	21,6

Experimentales como en la finca de un caficultor.

Maíz intercalado en café zoqueado

En las cuatro localidades donde se estableció este experimento los dos ciclos seguidos de maíz no afectaron la producción de café y viceversa. En consecuencia, a diferencia de la respuesta observada en siembras nuevas de café, pueden intercalarse hasta dos ciclos seguidos con 45.000 plantas/ha de maíz en lotes zoqueados sin que se afecte la producción de café. Las Tablas 11.9 y 11.11 muestran los datos de la producción media de café y las Tablas 11.10 y 11.12 los datos de producción y prolificidad (mazorcas por planta) de maíz, que se obtuvieron en las Estaciones Experimentales de Líbano

(Tolima) y Santa Bárbara (Cundinamarca).

Una ventaja adicional que tiene este sistema de producción es que se puede sembrar el maíz con todos los residuos que quedan cuando se zoquea la planta de café, y toda esa biomasa, aparte de retardar la aparición de las arvenses, se recicla y contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo.

Análisis económico. Con base en los datos de caficultores exitosos, que administran sus fincas con criterios empresariales, los ingresos netos que obtuvieron variaron entre \$700.000 y \$1.300.000 por hectárea. En la Tabla 11.13, se muestra la relación de gastos e ingresos promedio de un ciclo de producción en la finca de un caficultor con producción empresarial tanto de café

Tabla 11.9. Producción (@ cps/ha) de café zoqueado intercalado con dos ciclos seguidos de maíz. Subestación Experimental Líbano (Tolima) (Moreno, 2004).

Distancias entre zocas de café (m)	Plantas de maíz/ha	Producción de café (arrobos de café pergamino seco por hectárea)	
		Ciclos de producción de maíz	
		Uno	Dos
1,0 x 1,0	0	679,3	615,0
	15.000	644,3	739,8
	30.000	632,6	680,3
	45.000	734,0	822,0
2,0 x 1,0	0	477,6	517,8
	15.000	460,6	501,6
	30.000	539,0	522,6
	45.000	508,8	556,8
Media general		584,5	619,5
Coeficiente de variación (%)		18,3	

Tabla 11.10. Producción (kg.ha⁻¹), prolificidad e índice de desgrane del maíz intercalado con zocas de café. Subestación Experimental Líbano (Tolima) (Moreno, 2004).

Distancias Entre zocas de café (m)	Plantas de maíz/ha	Prolificidad (mazorcas/plantas)		Índice de desgrane		Producción (kg.ha ⁻¹)	
		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
1,0 x 1,0	15.000	1,80	1,53	74	76	4.747	5.903
	30.000	1,50	1,11	71	74	6.631	8.278
	45.000	1,30	1,16	72	73	8.141	9.754
2,0 x 1,0	15.000	1,80	1,34	74	73	4.399	3.906
	30.000	1,30	1,29	77	73	6.585	3.701
	45.000	1,20	1,13	76	73	7.600	4.873
Maíz solo	15.000	1,40	1,34	72	74	3.832	2.395
	30.000	1,10	1,01	71	73	4.571	2.650
	45.000	1,10	0,98	71	72	5.421	3.484
Media general		1,40	1,2	73	74	5.770	4.923
Coef. de variación (%)		12,3	10,8	6,7	4,1	20,4	22,3

Tabla 11.11. Producción de café zoqueado (@ cps/ha) intercalado con dos ciclos de maíz. Subestación experimental Santa Bárbara (Sasaima, Cundinamarca) (Moreno, 2004).

Distancias entre zocas de café (m)	Población de maíz (plantas/ha)	Producción de café (arrobos de café pergamino seco por ha)							
		1996		1997		1998		Total	
		Ciclos de producción de maíz							
		Uno	Dos	Uno	Dos	Uno	Dos	Uno	Dos
1,0 x 1,0	Café solo	310,6	346,1	487,0	494,8	325,7	365,6	1.123,2	1.206,5
	15.000	341,7	315,8	488,5	447,9	361,8	310,8	1.192,0	1.074,6
	30.000	291,1	309,4	501,7	534,9	402,1	429,7	1.194,9	1.274,1
	45.000	312,5	284,4	528,0	453,0	373,5	355,8	1.214,0	1.093,2
2,0 x 1,0	Café solo	186,0	167,1	289,6	306,3	178,2	190,6	653,7	664,0
	15.000	174,6	142,4	263,8	252,9	152,2	208,0	590,7	603,3
	30.000	145,6	144,7	292,2	280,8	180,9	155,7	618,7	581,3
	45.000	158,2	146,3	219,1	241,9	152,9	282,1	530,2	670,3
Media general		240,0	232,0	383,7	376,6	265,9	287,3	889,7	895,9
Coeficiente de variación (%)		25,3		19,4		19,1		13,8	

como de maíz.

De lo anteriormente expuesto, se puede resumir lo siguiente:

Intercalar maíz en lotes con zocas (Figura 11.2) o siembras nuevas de café, implica administrar el sistema de producción de forma independiente conforme a las prácticas agronómicas de cada cultivo, para reducir al mínimo la competencia intraespecífica.

En los lotes con siembras nuevas de café, puede intercalarse hasta 45.000 plantas/ha de maíz en el primer ciclo, seguido con otro ciclo de 30.000 plantas/ha, sin que se afecte de forma significativa la producción de café de la primera cosecha ni de las subsiguientes.

**Figura 11.2.** Zoca de café intercalada con maíz.

Tabla 11.12. Producción y prolificidad de maíz intercalado con zocas de café en la etapa de establecimiento. Subestación Experimental Santa Bárbara (Sasaima, Cundinamarca) (Moreno, 2004).

Distancias entre zocas de café (m)	Poblaciones de maíz (plantas/ha)	kg.ha ⁻¹ de maíz seco		Prolificidad (Mazorcas por planta)	
		Ciclo uno	Ciclo dos	Ciclo uno	Ciclo dos
Maíz solo	15.000	2.263	2.161	1,36	1,39
	30.000	4.306	4.031	1,13	1,06
	45.000	5.822	5.139	1,01	1,00
	55.000	6.485	6.242	1,00	1,00
1,0 x 1,0	15.000	2.472	2.073	1,48	1,45
	30.000	5.216	4.031	1,16	1,14
	45.000	7.474	5.539	1,08	1,01
2,0 x 1,0	15.000	2.234	1.991	1,51	1,35
	30.000	4.207	3.368	1,22	1,00
	45.000	6.682	6.302	1,13	1,00
Media general		4.747	4.161	1,21	1,11
Coeficiente de variación (%)		18,5	18,5	13,0	13,0

Tabla 11.13. Relación de gastos e ingresos de un ciclo de producción comercial de maíz intercalado con café, en una finca de la zona central cafetera (2004a) (Moreno, 2004).

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Total (\$)
Ingresos				
Venta de maíz	Tonelada	4,3	460.000	1.978.000
Egresos				
Semilla	Ha	1	82.250	82.250
Fungicidas	Ha	1	28.200	28.200
Fertilizantes foliares	Ha	1	16.450	16.450
Insecticidas	Litro	2	23.500	47.000
Herbicidas	Litro	3	7.050	21.150
Fertilizante edáfico	Kg	500	470	235.000
Preparación del lote	Jornal	15	11.750	176.250
Siembra	Jornal	5	11.750	58.750
Fumigaciones	Jornal	7	11.750	82.250
Manejo de arvenses	Jornal	16	11.750	188.000
Aplicación fertilizantes	Jornal	4	11.750	47.000
Recolección	Jornal	14	11.750	164.500
Manejo residuos de cosecha	Jornal	2	11.750	23.500
Desgrane	Jornal	8	11.750	94.000
Total egresos				\$ 1.264.300
Ingresos - egresos (ingreso neto/ha)				\$ 713.700

En los lotes con zocas de café, se puede intercalar dos ciclos de maíz seguidos con 45.000 plantas/ha de maíz, sin que se afecte de forma significativa la producción de café de la primera cosecha ni de las subsiguientes.

El arreglo interespecífico maíz intercalado con café, es una opción económica para que el caficultor pueda aliviar su flujo de caja antes de la primera cosecha de café, bajar costos de producción del café, diversificar la producción y obtener ingresos adicionales a los que obtiene con el café; de tal manera que en el 2005, en la zona cafetera colombiana, el área de café intercalada con maíz se aproximó a las 50.000 ha, con ingresos medios por hectárea por ciclo de producción entre \$700.000 y \$1.300.000.

Actualmente se cuenta con dos híbridos comerciales, FNC 3054 y FNC 3056, que tienen promedios de producción superiores a 7 t/ha, y son tolerantes a las enfermedades más comunes en la zona cafetera colombiana. Estos materiales son producto del convenio entre la FNC, CIMMYT y Fenalce.

Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) intercalado con café

El frijol es la principal leguminosa que se produce en América Latina y es considerado como uno de los productos básicos de la economía campesina de pequeños y medianos productores (Figura 11.3), ubicados especialmente en la zona andina de Colombia. Cerca del 90% de la producción se obtiene de las zonas altas de Antioquia, Nariño, Cundinamarca y Santander, utilizando la asociación maíz - frijol voluble y en menor escala con frijol arbustivo. Este cultivo también se produce en la zona cafetera intercalado con café, tanto en siembras nuevas como en lotes renovados por zoca.

El frijol se adapta bien a las condiciones de clima y de suelos existentes en la zona cafetera; donde se produce el 30% y se consume el 80% del total nacional. Además de aprovechar el terreno y de fijar nitrógeno de la atmósfera, el frijol tiene un gran poder para movilizar el fósforo, permite reducir los costos en la compra de abonos químicos, proporcionando ingresos y alimento al agricultor (Lobo, 1991).

Las labores requeridas en la producción del frijol permiten mantener bajas coberturas de arvenses en los lotes de café, lo que indirectamente reduce los costos de producción. Además, al establecerse una cobertura sobre el terreno se protege el suelo y se mantiene la

humedad por más tiempo en épocas de sequía.

La renovación de cafetales sembrados a libre exposición, mediante el zoqueo o por siembra nueva, permite intercalar cultivos durante la etapa de crecimiento del café (Gomez *et al.*, 1988); el frijol es una de las opciones, porque hace parte de la cultura y la seguridad alimentaria de la zona cafetera.

El fomento del cultivo del frijol en la zona cafetera estuvo algo restringido por la falta de investigación en los sistemas de producción comunes en la zona, pero eso ha cambiado por la oferta de opciones tecnológicas y de materiales mejorados obtenidas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), y evaluadas mediante ensayos regionales en diferentes localidades de la zona cafetera en los últimos años, los cuales al conseguir materiales con buena adaptación, han dado posibilidades agronómicas y económicas para ser intercaladas con café porque son de ciclo corto (90 días), de crecimiento arbustivo determinado y aceptación comercial (Posada, 1991, 1993).

La disponibilidad de esas variedades de frijol adaptadas a la zona cafetera permitió realizar experimentos para evaluar el sistema de producción de frijol intercalado con café, con el propósito de conocer la mejor combinación entre poblaciones de café y de frijol que diera el mayor ingreso neto antes de la primera cosecha de café sin afectar las producciones del café. Los experimentos se desarrollaron en las subestaciones Experimentales de Cenicafé y en algunas fincas de caficultores, tratando de cubrir gran parte de la geografía cafetera.

Los experimentos se hicieron con siembras nuevas de líneas de café de Caturra x HT, con diferentes distancias de siembra del café y distintas poblaciones de frijol (diseño aditivo), con uno y dos ciclos seguidos de frijol para el caso de siembras nuevas de café y de dos y tres ciclos seguidos de frijol cuando las siembras se hicieron



Figura 11.3. Cultivo de frijol.

en lotes zoqueados.

El frijol se sembró con labranza mínima, en los primeros 60 días después de la siembra del café. Tanto el café como el frijol se manejaron de forma independiente, conforme a las prácticas agronómicas propias de cada cultivo. La fertilización del frijol consistió en incorporar en el momento de la siembra 250 kg.ha⁻¹ de difosfato de amonio (DAP), y como prácticas agronómicas se hicieron: el manejo integrado de arvenses y los oportunos controles fitosanitarios al frijol, para mantenerlo en buen estado hasta la cosecha.

Sistema de producción frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) intercalado con siembras nuevas de café

Con el análisis estadístico de los datos de las dos primeras cosechas de café (Tabla 11.14), se demostró que la siembra de dos ciclos seguidos de frijol arbustivo hasta con 160.000 plantas/ha, no afecta la producción del café, y se obtienen producciones de frijol seco (15% de humedad) entre 587 y 1.113 kg.ha⁻¹ y una producción media de 850 kg.ha⁻¹, en la Estación Central Naranjal y las Subestaciones La Catalina (Risaralda) y Gigante (Huila) (Tabla 11.15); resultados similares fueron encontrados por Araya *et al.* (1989). De igual manera Centeno *et al.* (1994), al evaluar el efecto del asocio del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el crecimiento y el desarrollo del café, no encontraron efectos significativos en cuanto

al crecimiento del café.

Es importante considerar que las distancias de siembra del café de 1 x 1 m, afectaron la producción de frijol frente a distancias de siembra más amplias; por tanto, sembrar café a distancias amplias y con dos plantas por sitio, aparte de ahorrar costos de establecimiento, también da la posibilidad de producir más frijol por unidad de área.

Si se considera que antes de la primera cosecha de café, el agricultor no recibe ningún ingreso, el intercalamiento de frijol con el manejo ya descrito es una opción para obtenerlos por la producción de frijol, además de los beneficios adicionales por el manejo agronómico en fertilización y desyerbas del frijol.

Los resultados descritos muestran la factibilidad de intercalar dos ciclos seguidos de frijol arbustivo con 160.000 plantas/ha en poblaciones de café hasta de 10.000 plantas/ha; sin que se reduzca la producción de café por efectos de competencia del frijol. El número de surcos de frijol entre las calles del café depende de la distancia entre surcos de café; sin embargo, los surcos de frijol no deben quedar a menos de 25 cm del surco de café y a máximo 50 cm entre los surcos de frijol. Dentro de cada surco de frijol se debe garantizar de 8 a 10 plantas por metro lineal, sembradas al chorrillo o a chuzo (Figura 11.4).

Tabla 11.14. Producción (@cps/ha) de café intercalado con frijol en tres localidades, con tres poblaciones de café y tres poblaciones de frijol, en uno y dos ciclos seguidos de siembra (Moreno *et al.*, 1995a)

Distancias de siembra del café (m)	Poblaciones de frijol (plantas/ha)	Producción de café (arrobos de café pergamino seco por ha)					
		Estación Central Naranjal		Subestación Experimental La Catalina		Subestación Experimental Gigante	
		Ciclos de producción de frijol					
		Uno	Dos	Uno	Dos	Uno	Dos
1,00 x 1,00	80.000	555	507	290	378	519	502
	120.000	558	558	348	425	590	535
	160.000	490	523	338	441	612	579
	Café solo	518	540	388	463	601	571
1,15 x 1,15	80.000	454	531	294	379	441	415
	120.000	519	491	298	315	489	422
	160.000	528	543	246	355	429	392
	Café solo	496	463	313	364	453	443
1,50 x 1,50	80.000	254	310	180	200	255	221
	120.000	252	270	215	228	321	266
	160.000	222	269	146	229	291	225
	Café solo	296	316	218	185	289	235
Media general		429	443	273	330	441	401
Coeficiente de variación (%)		14,7		15,9		16,3	

Al tomar como base los resultados descritos y siguiendo las recomendaciones técnicas para establecer el cultivo de frijol y el manejo independiente de cada cultivo, puede obtenerse una tonelada y media de frijol seco, en los dos ciclos de producción. Aparte de lo anterior, se generan sesenta jornales por hectárea en cada ciclo de cultivo.

Producción de frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) intercalado en lotes de café renovados mediante zoqueo

Los lotes de café renovados mediante zoqueo, también tienen gastos tanto en las labores del zoqueo como en el establecimiento de la zoca, por lo cual también se pensó en la posibilidad de producir ingresos adicionales para aliviar el flujo de caja mediante el intercalamiento de frijol en las calles de las zocas (Mestre *et al.*, 1989).

En este caso, lo único que se retira del lote son los tallos de café; mientras que las ramas y las ramillas deben quedar en el lote debidamente picadas y repicadas, y después de dos a cuatro semanas se puede sembrar el

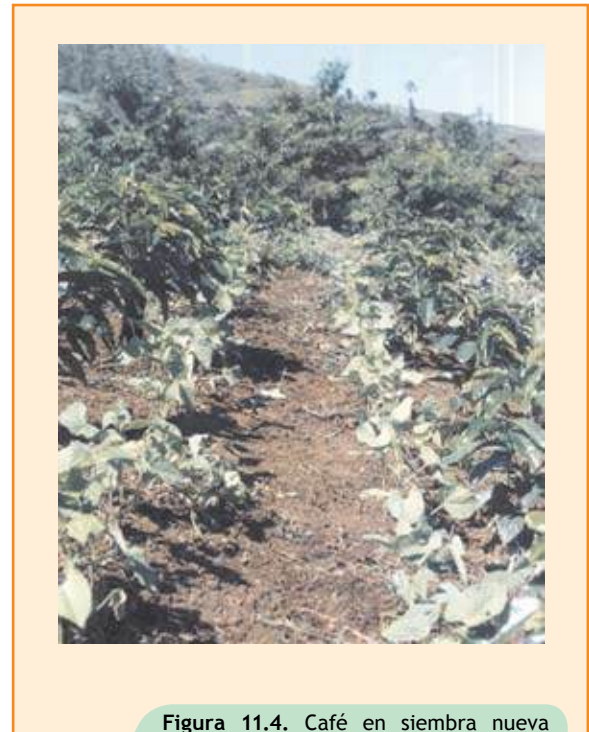


Figura 11.4. Café en siembra nueva intercalado con frijol.

Tabla 11.15. Producción ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de frijol arbustivo intercalado en tres poblaciones de café usando tres poblaciones de frijol con uno y dos ciclos seguidos (Moreno *et al.*, 1995a).

Distancias de siembra del café (m)	Poblaciones de frijol (plantas/ha)	Producción de frijol arbustivo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)					
		Estación Central Naranjal		Subestación Experimental La Catalina		Subestación Experimental Gigante	
		Ciclos de producción de frijol					
		Uno	Dos	Uno	Dos	Uno	Dos
1,00 x 1,00	80.000	527	486	706	577	657	515
	120.000	549	496	862	634	737	668
	160.000	572	534	905	737	941	797
1,15 x 1,15	80.000	560	513	903	711	708	490
	120.000	638	578	918	791	911	692
	160.000	654	587	1.067	818	1.063	742
1,42 x 1,42	80.000	647	573	862	693	785	658
	120.000	654	597	941	714	813	630
	160.000	780	712	952	890	1.113	800
Frijol solo	80.000	700	630	1.023	785	656	643
	120.000	824	723	1.037	792	778	722
	160.000	833	759	1.239	1.000	949	839
Media general		662	599	951	762	843	683
Coeficiente de variación (%)		20,4		21,0		15,1	

fríjol con labranza mínima, por sitios o al chorrillo, para lo cual la cobertura del lote no ofrece dificultad alguna.

El manejo agronómico se hace de la misma forma como se explicó en las siembras nuevas de café.

Los resultados de la investigación en este caso muestran que a diferencia de lo que ocurre con las siembras nuevas de café, en los lotes zoqueados se puede intercalar hasta tres ciclos consecutivos de fríjol arbustivo con una población de 160.000 plantas/ha, tanto en café a 1 x 1 m con un tallo/sitio como en café a 2,0 x 1,0 m con dos tallos/sitio. Los rendimientos tanto de café como de fríjol fueron bastante satisfactorios (Tablas 11.16 y 11.17).

Para la zona cafetera colombiana se ha reportado un gran potencial de los frijoles arbustivos como: Cafetero, Caucajá, Citará y Quimbaya, con rendimientos promedio de 1.687, 1.758, 1.441 y 1.392 kg.ha⁻¹, respectivamente; resistentes a roya (*Uromyces appendiculatus*), bacteriosis (*Xanthomonas* spp.) y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y susceptibles a mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk) y la mancha angular (*Phaseoisaropsis griseola*). Estas variedades de fríjol tienen un período vegetativo alrededor de los noventa días (Posada *et al.*, 1995).

La experiencia con los anteriores materiales en cuanto a la presencia de enfermedades, sólo se tuvo con la

Tabla 11.16. Producción (kg.ha⁻¹) de fríjol arbustivo intercalado en dos poblaciones de café zoqueado, con tres poblaciones de fríjol con uno, dos y tres ciclos seguidos de siembra. Subestación experimental Libano (Tolima) (Cenicafé, 1997).

Distancia entre las zocas (m)	Plantas de fríjol/ha	Cosechas de fríjol y su producción en kg.ha ⁻¹		
		Una	Dos	Tres
1,0 x 1,0 (un tallo/sitio)	80.000	1.103	1.804	700
	120.000	1.386	1.989	769
	160.000	1.527	2.119	887
2,0 x 1,0 (dos tallos/sitio)	80.000	1.110	1.632	856
	120.000	1.253	1.706	926
	160.000	1.390	1.812	937
Media general		1.246	1.881	964
Coeficiente de variación (%)		10,2	19,4	11,2

Tabla 11.17. Producción (@ cps/ha) de café intercalado en dos poblaciones de café zoqueado, con tres poblaciones de fríjol con uno, dos y tres ciclos seguidos de siembra. Subestación experimental Libano (Tolima) (Cenicafé, 1997).

Distancia entre las zocas (m)	Plantas de fríjol/ha	Ciclos seguidos de fríjol y la producción en kg.ha ⁻¹	
		Dos	Tres
1,0 x 1,0 (un tallo/sitio)	80.000	699,2	646,4
	120.000	668,4	661,7
	160.000	648,1	643,4
	Café solo	770,0	679,0
2,0 x 1,0 (dos tallos/sitio)	80.000	486,9	481,2
	120.000	418,9	503,4
	160.000	450,4	551,8
	Café solo	487,4	551,8
Media general		578,7	589,8
Coeficiente de variación (%)		13,4	

cenicilla (*Erysiphe polygoni* D. C.), la cual se maneja fácilmente usando productos a base de azufre, sobre todo en las épocas de frecuentes precipitaciones.

Sistema de producción: frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) intercalado en lotes de café renovados por zoqueo

En los últimos años se ha observado en las zonas marginales altas de la zona cafetera, la siembra de frijol voluble tipo cargamanto intercalado con café, por ejemplo en los municipios de Guática y Belén de Umbría (Risaralda), dentro del Ecotopo 106B.

En los lotes visitados, se encontró que el tutor usado para las plantas de frijol, es el de espalderas construidas con hilo de polipropileno y tutores vegetales como la llamada caña flecha (Figura 11.5), lo cual aumenta los costos de producción. Como respuesta a este escenario, se propuso una investigación para buscar la posibilidad de usar como tutor las plantas de maíz mejorado en reemplazo de las espalderas, con el propósito de reducir

los costos de producción y conseguir un ingreso adicional con la producción de maíz.

El experimento se desarrolló en la Subestación Experimental El Rosario (Venencia, Antioquia), y se encontró que es posible usar el maíz como tutor de las plantas de frijol así como reemplazar el cultivar de maíz “regional o criollo” por cultivares mejorados como el ICA V-305 o el híbrido FNC-3054 (Figura 11.6). Aparte de esto, la siembra del frijol puede hacerse a los noventa días después de haber sembrado el maíz, lo que se conoce como sistema de producción frijol en relevo con maíz. En este sistema también se hace el manejo agronómico independiente, para garantizar la máxima eficiencia del sistema.

De acuerdo con Granada (2006), la producción de frijol superó los 900 kg.ha⁻¹ y los de los cultivares de maíz mejorados estuvieron por encima de las 4 ha⁻¹, con lo cual se contribuye a la generación de ingresos adicionales al café y a la seguridad alimentaria de la zona cafetera (Tablas 11.18 y 11.19).



Figura 11.5. Zoca de café intercalado con frijol voluble.



Figura 11.6. Zoca de café intercalado con frijol voluble.

Tabla 11.18. Producción (kg.ha⁻¹) de maíz híbrido FNC-3054, variedad ICAV-305 y Regional, en función de tutor de frijol cargamanto intercalados en zoca de café. Subestación Experimental El Rosario. Venecia, Antioquia. (2006a) (Granada, 2006).

Cultivar de maíz	Rendimiento de grano seco kg.ha (ajustado al 15 % de humedad)
FNC-3054	7.081 a
ICA V-305	5.149 b
REGIONAL	4.746 b
Media general	5.658
Coeficiente de variación (%)	8,4

Tabla 11.19. Rendimiento (kg.ha⁻¹), número de granos/vaina, vainas/planta y peso de 100 granos para cada tipo de tutor de frijol cargamanto en relevo con maíz intercalado en zocas de café. Subestación Experimental El Rosario (Venecia, Antioquia) (2006a) (Granada, 2006).

Tutor	kg.ha ⁻¹	Vainas/planta	Granos/vaina	g/100 granos
Artificial	1.141 a	5,4 a	5,16 a	76,2 a
ICA V-305	973 b	5,0 a	4,98 ab	71,9 a
FNC-3054	985 ab	5,2 a	4,86 ab	72,3 a
REGIONAL	897 b	4,9 a	4,82 b	73,8 a
Media	999	5,1	5,0	73,5
C. de V. (%)	15,0	16,8	6,0	8,2

Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) intercalado con siembras nuevas de café

En siembras nuevas de café o en lotes renovados por zoca, es posible intercalar dos cosechas seguidas de tomate de mesa (Figura 11.7), con 35.000 plantas/ha, sin que se afecte la producción de café. En este sistema también deben manejarse los cultivos independientemente.

La producción media de tomate de primera en la Subestación Experimental Líbano (Tolima) fue de 25 t/ha, en un lote renovado por zoqueo (Tabla 11.20), lo cual muestra la posibilidad de generar ingresos adicionales con una buena producción, sin afectar la producción de café (Tabla 11.21). Este sistema de producción se logra sembrando los surcos de tomate en el centro de la calle del café (surcos alternos) y sin aporcar las plantas de tomate, lo cual aparte de ser un gasto innecesario, predispone el lote a la erosión.



Figura 11.7. Cultivo de tomate intercalado con siembras nuevas de café.

Otro aspecto importante en este sistema es que si se maneja de forma técnica racionalizando los pesticidas en el cultivo del tomate, puede obtenerse una buena producción a costos bajos por este concepto. Y de paso se saca un producto de calidad y con menos residuos de pesticidas.

Tabla 11.20. Producción de tomate (t/ha) de mesa intercalado en zocas de café con dos sistemas de siembra y dos sistemas de manejo del tomate. Subestación Experimental Líbano (Tolima) (Cenicafé, 1997).

Distancias de las zocas de café (m)	Sistema de siembra del tomate	Sistema de manejo del tomate	Producción de tomate (t/ha)	
			Primera cosecha	Segunda Cosecha
1,00 x 1,00 (un tallo/sitio)	Surcos Alternos	Sin aporque	30,4	35,8
		Con aporque	25,9	27,6
	Surcos Comunes	Sin aporque	33,7	40,2
		Con aporque	29,8	38,2
2,00 x 1,00 (dos tallos/sitio)	Surcos Alternos	Sin aporque	21,9	12,8
		Con aporque	19,9	11,0
	Surcos Comunes	Sin aporque	25,5	17,9
		Con aporque	21,3	14,2
Media general			26,0	24,7
Coeficiente de variación (%)			11,6	13,0

Tabla 11.21. Producción de café (@ cps/ha) intercalado intercalado con tomate de mesa usando dos sistemas de siembra y dos sistemas de manejo. Subestación Experimental Líbano (Tolima) (Cenicafé, 1997).

Distancias de las zocas de café (m)	Sistema de siembra del tomate	Sistema de manejo del tomate	Producción de café pergamino seco/ha	
			Cosechas	
			Primera	Acumulado
1,00 x 1,00 (un tallo/sitio)	Surcos Alternos	Sin aporque	307,5	1085,6
		Con aporque	319,1	1010,0
	Surcos Comunes	Sin aporque	247,3	1034,2
		Con aporque	295,8	1070,4
2,00 x 1,00 (dos tallos/sitio)	Surcos Alternos	Sin aporque	243,7	827,9
		Con aporque	266,6	887,0
	Surcos Comunes	Sin aporque	170,1	884,3
		Con aporque	162,2	772,8
Media general			251,5	946,5
Coeficiente de variación (%)			14,8	14,5

Producción de plátano (*Musa sp.* Grupo AAB) intercalados con siembras nuevas de café (*Coffea arabica L.*)

El cultivo del plátano en Colombia tiene gran importancia socioeconómica, porque es uno de los productos fundamentales de la canasta familiar y es fuente generadora de trabajo y divisas para el país.

El plátano puede cultivarse en diferentes zonas agroecológicas dentro del rango altitudinal de 0 a 2.000 m y

temperaturas entre 17 y 35°C. En Colombia se cultivan alrededor de 384.957 ha, con una producción total anual de 2,6 millones de toneladas de racimos, de las cuales 96% se dedican al mercado interno y el resto a la exportación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Anuario Estadístico 1996). Los principales centros productores se encuentran en las zonas cafeteras de la Región Andina, donde se cultivan 234.843 ha (61% del área cultivada) que aportan el 58% de la producción nacional.

Del área cultivada en plátano, el 87% se encuentra como cultivo tradicional intercalado con café, cacao, yuca y frutales, y el 13% está como unicultivo tecnificado. El consumo nacional anual *per capita* año es de 68 kg, y es uno de los más altos del mundo. Es el tercer producto

agrícola que se consume en Colombia, después de la papa y la leche. En la zona cafetera central el cultivo del plátano genera aproximadamente unos 44.790 empleos permanentes por año y aporta el 7% del producto interno agrícola. El clon Dominico-Hartón es el material más cultivado, y su producción total representa el 31,4% de la producción nacional, abasteciendo la mayoría de los principales mercados del país. En el resto del país, el clon predominante es el Hartón, más adaptado y productivo en zonas de altitudes menores a 1.000 m (Belalcázar *et al.*, 1991; Cayón *et al.*, 1998).

Una de las limitaciones en el negocio del plátano, es que su comercialización tiene muchas dificultades a causa de la dispersión de las zonas productoras, la ausencia o la deficiencia de vías de comunicación con los centros de consumo urbano y la concentración irregular del mercado por los mayoristas e intermediarios que imponen los precios. Aparte de esto, los productos perecederos como el plátano, sufren constantes deterioros por el mal manejo en postcosecha, aumentando las pérdidas en cantidad y calidad de la producción, lo cual influye sobre el precio final.

Producir plátano aplicando la tecnología disponible es imprescindible para garantizar la seguridad alimentaria de la población, fundamentalmente de los grupos con menor capacidad de acceso a bienes y servicios, para quienes los alimentos básicos como el plátano, representan la mayor proporción de gastos de la llamada canasta familiar y para aumentar la rentabilidad del cultivo. Aun así, el plátano se ha constituido en un renglón de gran importancia socioeconómica, desde el punto de vista de seguridad alimentaria y generación de empleo, pues la generación de empleo se estima en 142.515 empleos permanentes por año, es decir, estarían ocupadas 36.000 familias, en promedio, destinadas a las labores del cultivo en todo el país.

El mercado mundial de plátano es abastecido por los mismos países que proveen el banano. Dada la abundancia de la oferta (frente a una demanda y un precio relativamente estable), cada uno de los países exportadores impone un control sobre el volumen de sus exportaciones a fin de evitar la sobre oferta y la caída de los precios en los mercados internacionales.

A pesar de que el plátano es un producto de permanente producción, las épocas de cosecha se ven afectadas por factores como la producción y la recolección de café, o por las épocas de fuerte invierno. Estos movimientos o períodos de producción originan a su vez movimientos en los precios según los volúmenes ofrecidos.

El plátano Dominico hartón, es el que más se cultiva en la zona cafetera, tiene en promedio cinco manos y alrededor de 8 a 12 dedos por mano y su producción



Figura 11.8. Café intercalado con plátano en barreras.

es permanente durante todo el año. Los principales sistemas para su producción son unicultivo tecnificado, mateado en los lotes de café (arreglo espacial irregular) e intercalado con café como barreras.

Los resultados de la investigación del sistema barreras de plátano (Dominico Hartón) intercaladas con café (Figura 11.8), mostraron que si el plátano se maneja de manera adecuada, es decir, material de siembra de buena calidad y libre de plagas, el ciclo de vida del cultivo alcanza seis años y se logra una productividad de un racimo por unidad productiva por año. De igual forma, se determinaron las distancias mínimas entre barreras a las que se debe sembrar el plátano para que no afecte la producción de café y con las cuales puede lograrse las mayores producciones de racimos por hectáreas, como otra forma de generar ingresos adicionales al café aprovechando el mismo lote con un cultivo semiperenne (Tabla 11.22).

Tabla 11.22. Sistema de producción de café intercalado con barreras de plátano en tres distancias de siembra del café (Moreno *et al.*, 2005).

Distancia de siembra del café (m)	Distancia entre las barreras de plátano (m)	Surcos de café entre barreras	Unidades productivas de plátano/ha
1,0 x 1,0	16	15	298
2,0 x 1,0	14	9	340
1,5 x 1,5	14	14	340
2,0 x 2,0	12	9	396

Rotación de cultivos transitorios intercalados con café

Aparte de los sistemas de producción de cultivos transitorios intercalados con café, también se cuenta con resultados de investigación que demuestran que es factible hacer rotación de los cultivos transitorios, con el fin de diversificar según las necesidades del caficultor, de

tal manera que puede rotarse entre maíz, frijol arbustivo y tomate de mesa. En cualquiera que sea la secuencia, lo más conveniente es empezar siempre con maíz, sin el riesgo de que se afecte la producción de café.

De otra parte, el establecimiento de las arvenses nobles mediante el manejo integrado de éstas no afecta la producción de café ni de los cultivos intercalados. Es así como al intercalar cultivos transitorios con zocas de café en levante, el manejo de arvenses puede realizarse con machete o guadaña y el equipo selector de arvenses.

Las buenas prácticas agrícolas en la caficultura

Fernando Farfán Valencia



El concepto de Buenas Prácticas Agrícolas (**BPA**) ha evolucionado en los últimos años como resultado de los propósitos de un amplio conjunto de interesados en la producción, en la seguridad, la inocuidad y la calidad de los alimentos y en la sostenibilidad ambiental. Los principales objetivos de las BPA son: la calidad de los alimentos, la eficiencia de la producción, la calidad de vida de productores y consumidores, y los beneficios para el ambiente a mediano y largo plazo.

Los agricultores ponen en práctica las BPA mediante métodos agrícolas sostenibles como el manejo integrado de plagas y enfermedades, uso racional de fertilizantes y las prácticas de conservación del suelo, entre otras (FAO, 2003 b; FAO, 2004 a; EMBRAPA, 2004).

Actualmente las Buenas Prácticas Agrícolas son reconocidas oficialmente e internacionalmente como mecanismos para reducir los riesgos relacionados con el uso de plaguicidas, para velar por la salud pública y del medio ambiente y consideraciones de inocuidad. Su utilización está siendo promovida cada vez más por el sector privado, los comercializadores y los productores como respuesta a la demanda de los consumidores de alimentos sanos y producidos de manera sostenible. Esta tendencia puede crear incentivos para la adopción de las BPA por parte de los agricultores mediante la apertura de nuevas oportunidades de mercado, a condición de que tengan la capacidad de responder a esa demanda y la caficultura no puede ser ajena a estos requerimientos del mercado (University of Maryland, 2002; FAO, 2003 a).

Este tipo de normas surge de la imposición de la demanda, organizada o no, pero que para poder cumplirse requieren de un sistema de información que permita la diferenciación por precio. Cuando esta información no es transparente o no existe, la diferenciación es imposible y el establecimiento de este tipo de normas debe ser por la vía impositiva. Es decir, no siempre existe un premio por cumplirla, sino que es una condición para participar del mercado (Ramírez y Caro, 2005).

Definiciones y conceptos

Definiciones

De acuerdo con la FAO (2003 a), las BPA consisten en *“hacer las cosas bien y dar garantías de ello”*.

Otra definición, más descriptiva, dada por la FAO (2003 b, 2004 a, 2004 b), dice que *“consiste en la aplicación*

del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios inocuos y saludables, a la vez que se procuran la viabilidad económica y la estabilidad social”.

Las BPA son el medio para corregir las “externalidades”¹ del proceso productivo, a través del funcionamiento del mercado, en un espacio de competencia por calidad, regido por la voluntariedad y el autocontrol de los agentes privados participantes de las distintas cadenas agroalimentarias (consumidores, productores, industriales, comerciantes, etc.).

Según Niño de Zepeda y Miranda (2004), se entenderán como Buenas Prácticas Agrícolas todas las acciones involucradas en la producción, el procesamiento y el transporte de productos alimenticios de origen agrícola y pecuario, orientadas a asegurar la higiene y la salud humana y del medio ambiente, mediante métodos ecológicamente más seguros, higiénicamente aceptables y económicamente factibles.

Conceptos

Más que un atributo, las Buenas Prácticas Agrícolas son un componente de competitividad, que le permite al productor diferenciar su producto de los demás, con todas las implicaciones económicas que ello supone, entre las que pueden encontrarse mejores precios, acceso a nuevos mercados y consolidación de los actuales, entre otros. Las BPA constituyen una herramienta cuyo uso persigue la sostenibilidad ambiental, económica y social de las explotaciones agropecuarias, especialmente la de los pequeños productores, lo cual debe traducirse en la obtención de productos alimenticios inocuos para el autoconsumo y para los consumidores en la cadena de comercialización. Actualmente y de manera rápida, vienen estableciéndose normas con el fin de asegurar que los productos desde la finca hasta el consumidor final, cumplan con una serie de requisitos que garanticen su inocuidad (FAO, 2003 a; Niño de Zepeda y Miranda, 2002; FAO, 2004 a; Slob y Oldenzel, 2003).

A dichas normas, además se le introducen especificaciones relativas al cuidado de los recursos naturales y especificaciones vinculadas a la seguridad sanitaria de los trabajadores rurales involucrados en la producción en la finca. En una palabra, se reconoce que al igual que en el proceso industrial, la producción agropecuaria genera algunos subproductos inconvenientes para la salud y que contaminan el medio ambiente. Estos productos afectan de una manera u otra

¹ Las externalidades se definen como la influencia de las acciones de una persona en el bienestar de otra. Estas pueden ser positivas o negativas. Las positivas son aquellas que afectan favorablemente a terceros; las externalidades son negativas cuando afectan desfavorablemente a los demás (Niño de Zepeda y Miranda, 2002).

al resto de la sociedad y por tanto, su manejo debe ser responsabilidad de los productores. De esta manera se conforma lo que hoy se conoce como las BPA.

Las BPA abordan los siguientes aspectos (Figura 12.1).

Relativos al medio ambiente. Las Buenas Prácticas Agrícolas promueven el desarrollo de una agricultura sostenible mediante la minimización del impacto negativo de la producción en el medio ambiente. Para tal efecto, promueven la protección de la biodiversidad y la fertilidad de los suelos, así como la reducción de la contaminación del espacio natural, racionalizando el manejo de productos químicos, fertilizantes y desechos orgánicos.

Relativos a la inocuidad de los alimentos y a la protección de los consumidores. El objetivo de las Buenas Prácticas Agrícolas es minimizar el riesgo de contaminación de los alimentos por agentes microbiológicos, físicos o químicos. En el primero de los casos se sitúan las contaminaciones por manipulación deficiente y por contacto con medios como el agua, el suelo, el estiércol, las superficies y los equipos contaminados con microorganismos patógenos (FAO, 2006).

En el caso de los contaminantes con sustancia químicas, ésta tiene que ver con la aplicación y manipulación de los plaguicidas como con los residuos de fármacos y productos veterinarios en los alimentos de origen pecuario.

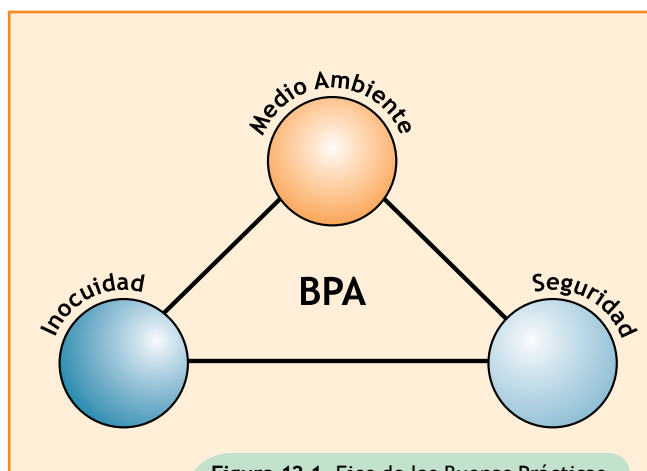


Figura 12.1. Ejes de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

Para estos efectos y particularmente desde la perspectiva del consumidor, tienen especial relevancia los sistemas de trazabilidad² a lo largo de toda la cadena agroalimentaria, debido a que los alimentos pueden entrar en contacto con agentes contaminantes en cualquier punto de su trayectoria hasta llegar a la mesa del consumidor.

Las BPA promueven modelos de gestión de riesgo destinados a garantizar la inocuidad de los alimentos. Tal es el caso de los modelos HACCP (Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos) y SSOP (Procedimientos Operacionales Estándares de Saneamiento) (FAO, 2006). Así mismo, las BPA son una buena base para establecer sistemas de Aseguramiento de Calidad como las ISO-9000.

Relativos a la salud, seguridad y bienestar de los trabajadores. Las Buenas Prácticas Agrícolas deben asegurar que durante todas las actividades relacionadas directa o indirectamente con la producción, la elaboración, el transporte y la distribución de alimentos de origen agropecuario, se implementen las medidas de prevención necesarias para que todas las personas involucradas en el proceso puedan desempeñarse en condiciones de seguridad y bienestar.

Estos objetivos de salud, seguridad y bienestar tienen tres elementos que son: las medidas de prevención necesarias para que los trabajadores no sufran accidentes, daños por intoxicación, contaminación o hagan mal uso de equipos; la capacitación de los trabajadores en primeros auxilios, manejo seguro de maquinaria y equipos y en riesgos en manipulación de sustancias peligrosas y el cumplimiento de los compromisos de seguridad social, sindicales y de condiciones de lugares de trabajo y servicios mínimos.

Al considerar esto, se puede observar que las BPA están fuertemente asociadas a un mecanismo que tiende a minimizar los procesos de contaminación, ya sea de los recursos naturales, del producto en sí (contaminación microbiológica, física o química), o bien, de los trabajadores que se desempeñan en las labores agrícolas. Por tanto, si las BPA significan hacer las cosas bien, es decir sin externalidades, el sistema de producción que las incorpore tenderá a corregir las externalidades negativas asociadas a la producción agrícola convencional. En este sentido, las BPA conforman de hecho un mecanismo de internalización de externalidades.

² Trazabilidad: Posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción de un alimento, un preñado, un animal destinado a la producción de alimentos o una sustancia destinada a ser incorporada en alimentos." FAO (2006).

Las buenas prácticas agrícolas en el cultivo del café

Las prácticas agrícolas y los puntos clave para establecer las BPA en la finca cafetera se presentan en la Figura 12.2 y se describen a continuación, de acuerdo con los criterios establecidos por 4C (2004), EurepGap (2004), Utz Kapeh (2004, 2006), Dankers y Liu (2004), National Food Safety Programme (2004), FAO (2003a 2006), Minagricultura (2004), Slob y Oldenziel (2003) y EMBRAPA (2004).

Variedades de café

Elección de las variedades de café

- Es indispensable elegir la variedad de café adecuada para la zona de cultivo, con base en las recomendaciones técnicas. Así mismo, deben adoptarse las prácticas de cultivo tendientes a reducir el empleo de productos fitosanitarios y a hacer un uso racional de los fertilizantes (Figura 12.3).

Material de propagación (germinadores y almácigos)

- La semilla adquirida debe estar acompañada de un certificado que garantice su sanidad.
- Las plantas de los almácigos deben estar libres de signos visibles del ataque de plagas y enfermedades.
- Los almácigos que no sean producidos en la finca deben tener garantías de calidad o en su defecto toda la información referente a su producción.

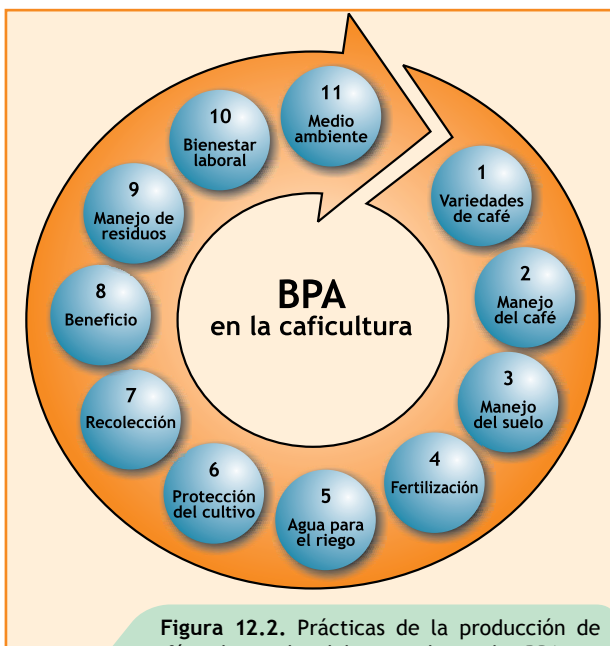


Figura 12.2. Prácticas de la producción de café en las cuales deben emplearse las BPA.



Figura 12.3. Semilla Variedad Castillo® regionales.

- Debe establecerse un sistema de monitoreo y control de plagas y enfermedades en los almácigos, y registrar el insecto o patógeno observado, el sistema de control, el nombre del producto, la dosis aplicada para su manejo y la fecha de aplicación del producto (Figura 12.4).

Historial y manejo del cafetal

Historial del cultivo

- Las nuevas áreas a cultivar con café no deben provenir de un bosque primario o secundario.
- Las nuevas plantaciones de café deben cumplir con la legislación pertinente, de acuerdo al uso de la tierra y a la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, si no existen estas regulaciones dichas plantaciones deben ser compatibles con las buenas prácticas de conservación de los recursos naturales.



Figura 12.4. Inspección y control en almácigos.

Manejo del cultivo

- Para cada lote de café debe establecerse un sistema de registro de producción y del área sembrada, incluyendo aquellas en las que se encuentran los germinadores y los almácigos.
- También es necesario implementar un sistema de identificación visual o de referencia en los germinadores, los almácigos y los lotes cultivados con café. Por ejemplo: descripciones, mapas, puntos identificables del terreno, códigos, nombres, números o colores (Figura 12.5).

Manejo del suelo

Mapas del suelo

- Es conveniente elaborar, en lo posible, mapas para toda la finca con la identificación del tipo de suelo de cada lote y sus respectivos análisis físicos y químicos.

Cultivo

- Se deben emplear técnicas para mejorar o mantener la estructura del suelo y evitar su compactación.

Erosión del suelo

- Deben adoptarse las técnicas de cultivo adecuadas y encaminadas a reducir la erosión del suelo, por ejemplo: la aplicación de coberturas muertas o 'mulch', las siembras a través de la pendiente, la construcción de drenajes, el manejo de coberturas vivas, la aplicación de fertilizantes orgánicos y el establecimiento de árboles y arbustos en las orillas de caminos, carreteras y fuentes de agua, entre otros (Figura 12.6).



Figura 12.5. Identificación de lotes con café.



Figura 12.6. Prácticas de conservación de suelos.

Fertilización

Nutrientes

- Debe velarse por el mantenimiento de la fertilidad del cultivo mediante la aplicación de fertilizantes (orgánicos e inorgánicos). Sin embargo, la cantidad de fertilizantes suministrada no debe exceder las necesidades del cultivo (Figura 12.7).
- Antes de la aplicación de los fertilizantes deben realizarse análisis de suelos o foliares, llevarse los registros de las recomendaciones y las aplicaciones (día/mes/año), el área y el nombre del lote establecido con café, el nombre de la finca, el nombre comercial del producto, el tipo de maquinaria o equipo empleado, así como la cantidad exacta del producto utilizado, su peso o volumen, y su concentración



Figura 12.7. Análisis de suelo.

(ejemplo: 15-15-15). También es necesario prevenir la sobrefertilización.

- La persona técnicamente responsable de la administración de la finca debe tener la competencia y el conocimiento para calcular la cantidad y el tipo de fertilizante (orgánico o inorgánico) que va a utilizar.

Maquinaria y equipo de aplicación

- Se le debe dar buen mantenimiento al equipo utilizado en la aplicación de fertilizantes.

Almacenamiento de los fertilizantes químicos

- En las fincas debe existir un inventario actualizado sobre las existencias de fertilizantes químicos disponibles.
- Los fertilizantes químicos deben almacenarse separadamente de los productos de protección del cultivo, con el fin de prevenir la contaminación entre éstos.
- Los fertilizantes químicos deben almacenarse en áreas secas, techadas, limpias, ventiladas y libres de basuras y de roedores (Figura 12.8).
- Todos los fertilizantes químicos deben almacenarse de tal manera que no presenten riesgos de contaminación de las fuentes de agua.
- Los fertilizantes - tanto orgánicos como inorgánicos se deben almacenar separados del café producido y de otros productos alimenticios.
- Las áreas de almacenamiento de fertilizantes deben estar demarcadas con señales correctas de advertencia de peligro, que sean claras, permanentes, comprensibles y visibles.



Figura 12.8. Almacenamiento seguro de fertilizantes químicos.

Fertilizantes orgánicos

- Los materiales orgánicos deben almacenarse de forma que se reduzca el riesgo de contaminación ambiental. El almacén debe estar diseñado de tal manera que se minimice el riesgo de contaminar las fuentes de agua con derrames de agua de lluvia. Debe estar situado al menos a 25 metros de cualquier cauce directo de agua, incluso de aguas superficiales (Figura 12.9).
- Los subproductos orgánicos pueden utilizarse como fertilizantes en la finca.

Riego

Calidad del agua para el riego

- Se debe desarrollar un plan de manejo de agua para optimizar su uso y reducir su desperdicio. No pueden utilizarse para el riego de germinadores y almácigos, aguas negras ni residuales sin previo tratamiento



Figura 12.9. Almacenamiento seguro de fertilizantes orgánicos.



Figura 12.10. Riego del germinador.

(Figura 12.10).

- En cuanto a la contaminación de aguas, el caficultor debe contar con asesorías anuales sobre este aspecto, con el fin de conocer los peligros que se corren al utilizar estos recursos hídricos, así como para evaluar los riesgos potenciales de contaminación química o física de todas las fuentes de agua.

Procedencia del agua de riego

- El agua de riego puede extraerse de fuentes sostenibles, siempre y cuando éstas suministren suficiente agua en condiciones normales. No obstante, para la extracción de agua de riego deben solicitarse los permisos de las autoridades competentes.

Protección del cafetal

Elementos básicos de la protección del cultivo

- En el control de plagas, enfermedades y arvenses, es necesario emplear al mínimo y adecuadamente, los productos fitosanitarios. Todos los tratamientos fitosanitarios deben estar justificados por escrito y documentados (Figura 12.11).
- El caficultor debe emplear técnicas de manejo integrado de plagas (MIP) reconocidas.
- La persona responsable técnicamente de la finca debe recibir información, capacitación y asesoría de un técnico externo sobre el desarrollo de los sistemas de MIP.
- No deben utilizarse fertilizantes o productos fitosanitarios a menos de cinco metros de un arroyo permanente, y deben impartirse instrucciones claras acerca de esta medida a todas las personas que usan los productos fitosanitarios.



Figura 12.11. Manejo Integrado de la Broca.

Elección de productos fitosanitarios

- Todos los productos fitosanitarios empleados en la finca deben utilizarse de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones contenidas en la etiqueta del producto, es decir, todos los productos fitosanitarios aplicados sobre el cultivo deben ser los adecuados para la plaga, la enfermedad o la planta arvense, que se desea controlar (Figura 12.12).
- Es necesario seguir las recomendaciones de estrategia antirresistencia para asegurar la efectividad de los productos para la protección de los cultivos. Cuando el nivel de la plaga, la enfermedad o la arvense, requieran varias aplicaciones, debe recurrirse a productos alternativos.
- Todos los productos fitosanitarios aplicados deben estar registrados y autorizados oficialmente por el ente gubernamental correspondiente, en el país de aplicación.
- Debe mantenerse una lista actualizada de todos los productos fitosanitarios para su uso en el cultivo del café. Esta lista debe incluir los nombres comerciales y el ingrediente activo del producto utilizado.
- Cuando el destino de venta del producto agrícola es la Unión Europea, Estados Unidos o Japón, debe prescindirse del uso de productos fitosanitarios cuyo uso está prohibido en estos países.
- Para el manejo fitosanitario del cultivo deben explorarse alternativas que no impliquen el uso de sustancias químicas.



Figura 12.12. Especificaciones y recomendaciones contenidas en la etiqueta del producto químico.

Recomendaciones de cantidades y tipos de productos fitosanitarios

- El tipo de tratamiento propuesto y la dosis correcta de aplicación del producto fitosanitario debe ser el adecuado para el cultivo del café, y éste debe calcularse, prepararse y documentarse con exactitud de acuerdo con las instrucciones de la etiqueta. Así mismo, debe disponerse de la documentación que demuestre lo anterior.

Registros de aplicación de productos fitosanitarios

- Es necesario registrar todas las aplicaciones de productos fitosanitarios, incluyendo el nombre comercial del producto y el ingrediente activo, las zonas de aplicación, el área, el nombre de la finca y de los lotes, sectores, los germinadores o los almácigos, la fecha exacta (día/mes/año) de la aplicación, así como los organismos benéficos identificados en el cultivo.
- En el registro de aplicaciones de productos fitosanitarios deben incluirse la justificación de la aplicación, incluir el nombre común de la(s) plaga(s), enfermedad(es) o arvenses(s) tratada(s).
- En términos operativos es preciso identificar a la persona encargada de las aplicaciones e incluir en el reporte la cantidad de producto aplicado en unidades de peso o volumen, la cantidad total de agua empleada (u otro medio), la dosis en g/L o en cualquier otro tipo de medida reconocida internacionalmente para productos fitosanitarios y consignar el nombre del equipo empleado para la aplicación del producto.
- Finalmente, deben registrarse todas las aplicaciones fitosanitarias, aclarar sobre la posible fecha de recolección del café en cada lote y adicionar todas las fechas de posibles aplicaciones y el intervalo de reingreso de personas en los lotes tratados.

Seguridad, capacitación e instrucciones

- Los trabajadores deben estar capacitados en el manejo y la aplicación de productos fitosanitarios. Así mismo, todos los trabajadores, aun los subcontratados, deben estar equipados con ropa protectora adecuada, de acuerdo con las instrucciones de la etiqueta y según lo planteado sobre los riesgos de salud y seguridad (Figuras 12.12 y 12.13).
- Toda la ropa, el equipo de protección y los filtros de reemplazo deben almacenarse en áreas ventiladas y



Figura 12.13. Aplicación segura de productos químicos.

aparte de los productos fitosanitarios.

Equipos de aplicación

- El equipo o maquinaria de aplicación de productos fitosanitarios debe mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento (Figura 12.13).
- El caficultor debe participar en un plan o programa de calibración y certificación.
- Al mezclar los productos fitosanitarios, deben seguirse los procedimientos indicados en la etiqueta. Las instalaciones donde se preparan los productos fitosanitarios deben ser adecuadas y contar con utensilios de medición (Figura 12.14).

Manejo de los excedentes de productos fitosanitarios

- La mezcla sobrante del tratamiento o los residuos de lavado del tanque deben aplicarse sobre una zona del cultivo que no haya sido tratada (siempre que la dosis recomendada no esté excedida).



Figura 12.14. Dosificación correcta de productos químicos.

- Cuando la mezcla sobrante del tratamiento o los residuos de lavado del tanque se apliquen sobre tierras destinadas a barbecho, debe demostrarse que esta práctica es legal y que se está evitando cualquier riesgo de contaminación de las aguas superficiales y las subterráneas.

Almacenamiento y manejo de los productos fitosanitarios

- Los productos fitosanitarios deben almacenarse de conformidad con las especificaciones de la etiqueta. De igual manera, el lugar de almacenamiento de los productos debe ser de estructura sólida, asegurado bajo llave, bien ventilado para evitar la acumulación de vapores dañinos y bien iluminado para asegurar que las etiquetas de los productos puedan leerse fácilmente en las estanterías.
- El almacén de los productos fitosanitarios debe ubicarse en un espacio aparte de otros materiales, y debe construirse con materiales resistentes al fuego.
- En el interior del almacén, las estanterías no deben ser absorbentes para prevenir problemas en caso de derramamiento de líquidos; también debe disponerse de tanques o muros de retención, con las paredes y el piso tratados para volverlos resistentes a residuos químicos; así mismo, el caficultor debe asegurarse que no haya ningún escape, filtración o contaminación en el exterior del almacén.
- El caficultor debe tener equipos de medición estandarizados, para asegurar la exactitud de las mezclas de los productos fitosanitarios (Figura 12.15).
- Todas las instalaciones de almacenamiento de productos fitosanitarios y las áreas para preparar las mezclas, deben contar con el equipo y los medios necesarios para el lavado de ojos, el equipo completo de primeros auxilios, y un manual de procedimientos sencillo, para el caso de accidentes y los pasos básicos para atender primeros auxilios, todo señalizado con letreros claros y permanentes.
- Todas las instalaciones de almacenamiento y las áreas para mezclar productos fitosanitarios, deben estar equipadas con un contenedor de material inerte absorbente, por ejemplo: arena, cepillo para pisos, pala para basura, sacos plásticos, ubicados en un lugar fijo con un letrero, para que puedan utilizarse en caso de un derramamiento accidental.
- Debe existir un procedimiento visible, permanente, completo y de fácil acceso para la atención en



Figura 12.15. Calibración de los equipos de aspersión.

caso de accidentes, con los contactos telefónicos para emergencias. En el inventario de los productos fitosanitarios debe incluirse el listado de los síntomas por intoxicación e información de los primeros auxilios para cada producto.

- Todos los productos fitosanitarios que estén actualmente en el almacén deben estar en sus envases originales. Solamente cuando el envase original se haya estropeado o roto, podrá guardarse el producto en un nuevo envase, el cual deberá tener toda la información incluida en la antigua etiqueta.
- Todos los productos fitosanitarios formulados como polvos o granulados deben estar ubicados en estanterías por encima de aquellos productos que tengan fórmula líquida, por seguridad en caso de derrames accidentales.

Manejo de envases vacíos de productos fitosanitarios

- Los recipientes vacíos de productos fitosanitarios no pueden reutilizarse de ninguna manera.
- El sistema utilizado para desechar los recipientes vacíos de los productos fitosanitarios, debe conducir a la reducción del riesgo de contaminación del medio ambiente, de las corrientes de agua, de la flora y de la fauna, y debe existir un sistema oficial de recolección y manejo de envases fitosanitarios vacíos.

- Cada recipiente vacío debe lavarse tres veces antes de descartarlo y debe existir un equipo instalado para lavar a presión todo tipo de recipientes.
- El agua procedente del enjuague de los envases debe regresarse al tanque de aplicación para cuando se realice la próxima mezcla.
- En un lugar seguro y aislado, separado de los cultivos y del material de embalaje, se deben almacenar los envases vacíos hasta su eliminación. Dicho lugar debe estar señalizado de forma permanente y su acceso restringido a personas y animales.

Productos fitosanitarios caducados

- Todos los productos fitosanitarios caducados deben conservarse e identificarse en forma segura, para luego ser eliminados a través de los canales autorizados o aprobados.

Transporte de productos fitosanitarios

- El transporte de los productos fitosanitarios debe hacerse en forma segura, minimizando el riesgo de contaminación para seres humanos y el medio ambiente.



Figura 12.16. Recolección normal del café en “recipientes o cocos”.

Recolección y manejo postcosecha del café

Recolección

Higiene

- Para el proceso de recolección debe establecerse un procedimiento que considere la higiene de los recipientes de recolección, los empaques reutilizables, las herramientas y los equipos, para evitar la contaminación (Figura 12.16). Así mismo, debe existir un procedimiento para el transporte del café en la finca.
- Los vehículos empleados para el transporte de café cereza recolectado deben estar limpios y en buen estado, para evitar la contaminación con tierra, suciedad y fertilizantes, entre otros.

Prevención de hongos

- Debe minimizarse el contacto entre las cerezas de café recolectadas y las fuentes de contaminación fúngica. No debe beneficiarse el café cereza que haya tenido contacto con alguna otra fuente de contaminación fúngica; tampoco debe almacenarse.

- Para preservar la sanidad y la calidad del café, éste debe beneficiarse el mismo día de la recolección.

Medición del café recolectado

- Las básculas empleadas para medir el peso del café recolectado deben calibrarse por lo menos una vez al año.

Manejo Postcosecha del Café

Beneficio y secado

- En caso que el productor no beneficie su propio café, debe estar asegurada la trazabilidad o seguimiento del producto en el centro de beneficio subcontratado.
- El caficultor debe realizar evaluaciones de riesgos de la operación del tratamiento postcosecha y considerar temas de salud, higiene y seguridad del trabajador. Después de la evaluación de riesgos debe desarrollarse un manual de procedimiento.
- Es necesario prevenir la contaminación del café por hongos en cada etapa del manejo postcosecha del producto beneficio, trilla, almacenaje y transporte interno).

- En el proceso de beneficio húmedo debe establecerse un plan para el manejo efectivo del agua, minimizando su uso durante todo el proceso; por ejemplo, utilizando el transporte en tornillos sinfín y por gravedad, entres otros (Figura 12.17).
- Al beneficiadero debe ingresar agua limpia para el proceso de beneficio. En caso contrario, debe filtrarse o tratarse antes del lavado del café para no introducir agentes contaminantes.
- Después del beneficio del café, el agua debe tratarse por oxigenación o filtración, para minimizar el impacto en las corrientes de agua.
- Durante el proceso de secado el caficultor debe evitar el contacto del café con fuentes de contaminación fúngica y el contacto directo con el suelo. También, durante esta etapa de secado el café debe revolverse regularmente y protegerse de la lluvia y otras fuentes de humedad.
- Al finalizar el secado, los granos de café deben contener una humedad máxima de 12,5%.
- Las instalaciones y los equipos empleados para el beneficio, el secado y el almacenamiento del café deben mantenerse limpios (Figura 12.18).
- Para el adecuado almacenamiento del café es necesario emplear una bodega limpia y sin goteras, con el fin de evitar el rehumedecimiento del producto.

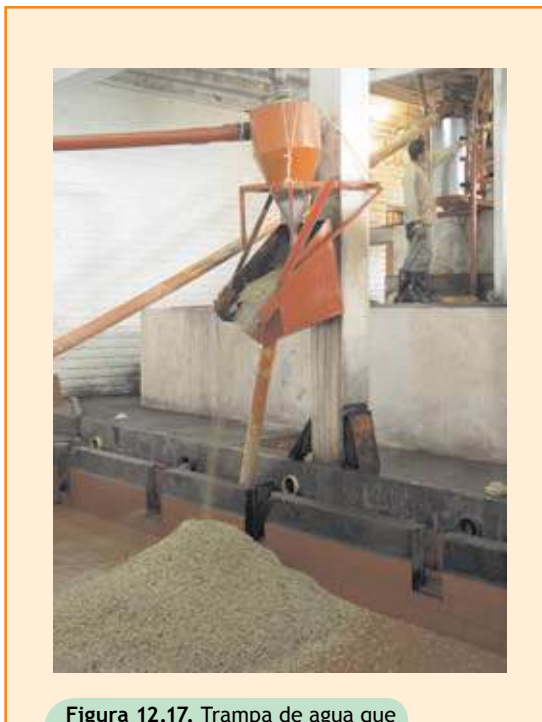


Figura 12.17. Trampa de agua que la separa del café pergamino.



Figura 12.18. Limpieza del equipo de beneficio del café.

- Antes de empacar el café seco, éste debe seleccionarse para descartar los materiales con defectos. El producto sano debe empacarse en bolsas limpias, dispuestas en la bodega sobre estibas y separadas a 30 cm de los muros, como mínimo. Es importante recordar que el café no debe entrar en contacto con el piso de la bodega.
- Durante el almacenamiento del café seco debe evaluarse la humedad midiéndola con un equipo confiable y que esté en buenas condiciones.
- Finalmente, no debe exponerse el café a la lluvia cuando se realice la operación de cargue y transporte. También es importante que los camiones que se utilicen para el traslado del café estén limpios, secos y libres de olores.

Instalaciones en la finca para el manejo del producto en postcosecha y/o almacenamiento

- Las instalaciones para el manejo del producto y el equipo dispuesto en las mismas, por ejemplo las líneas de proceso y maquinaria, paredes, pisos y almacenes, deben permanecer limpios para prevenir la contaminación del café.
- Almacene el café con defectos y los subproductos en áreas aparte del café de buena calidad.
- Mantenga los productos de limpieza, al igual que otros como lubricantes en un área separada de la zona de almacenamiento del café, para evitar la contaminación.
- Deben emplearse lámparas con un mecanismo de protección, sobre las áreas donde se clasifica, pesa y almacena el café, para prevenir la contaminación del café en caso de rotura de éstas.

- Todas las instalaciones y sus alrededores deben permanecer limpios y secos. También es indispensable tomar medidas preventivas para evitar la proliferación de plagas en el café.
- El caficultor debe impedir el acceso de animales a las instalaciones, para prevenir la contaminación del producto.
- El personal subcontratado y las visitas deben estar informados acerca de los requerimientos de higiene personal.

Manejo de residuos y agentes contaminantes (reciclaje y reutilización)

Utilización de subproductos del café

- Los subproductos del café pueden emplearse como fertilizantes, coberturas orgánicas y fuentes de energía, o también pueden venderse. El pergamino puede utilizarse como combustible para silos (Figura 12.19).

Identificación de residuos y agentes contaminantes

- Todos los residuos y posibles fuentes de contaminación generados durante el proceso de producción de café como, aguas negras y grises, combustibles y lubricantes, excesos de fertilizante y humo del tubo de escape de los silos, entre otros, deben clasificarse y registrarse.

Plan de acción para el manejo de residuos y agentes contaminantes

- Es necesario que los caficultores desarrollen un plan para evitar, reducir o reciclar los residuos generados durante la producción de café, para evitar el uso de vertederos o la incineración de residuos (Figura 12.20).



Figura 12.19. Empleo de subproductos del café.



Figura 12.20. Lombricultivo a base de pulpa de café.

Salud, seguridad y bienestar laboral

Evaluación de riesgos

- Para tener condiciones de trabajo seguras y saludables es necesario realizar evaluaciones de riesgos, considerando la información histórica de accidentes y de problemas de salud en el área.
- En la finca cafetera, debe existir un plan de acción documentado sobre las medidas a tomar para promover las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, indicando la persona responsable de llevarlas a cabo.

Formación

- En cada finca deben impartirse instrucciones y la información necesaria a todos los trabajadores contratados para que manejen equipos y/o máquinas complejas o peligrosas.
- Es importante que en cada finca con personal contratado y en cualquier momento del día en que se estén realizando actividades como beneficio, lavado, secado mecánico, o cualquier actividad de mantenimiento, esté presente al menos una persona que haya recibido formación en primeros auxilios.

Instalaciones, equipos y procedimientos para casos de accidentes

- En todos los sitios de trabajo con personal permanente, incluso en el campo, deben encontrarse disponibles botiquines de primeros auxilios.

- Todos los riesgos y los peligros deben estar claramente identificados con señales de advertencia, por ejemplo, el almacén de productos fitosanitarios, el almacén de fertilizantes, los fosos de desecho, los tanques de gasolina, los talleres y los cultivos tratados, entre otros.
- En las fincas deben disponerse manuales con los procedimientos que describan cómo actuar en la eventualidad de un accidente o de una emergencia, identificando a las personas que se deben contactar, sitio de localización del medio de comunicación más cercano (teléfono, radio), y una lista actualizada de números telefónicos de emergencia (policía, ambulancia, hospital, bomberos).
- Todas las señales de advertencia permanentes deben estar escritas en el léxico predominante de los trabajadores. En lo posible, las mismas deberán ser respaldadas por símbolos. Los trabajadores analfabetas debe recibir dichas instrucciones verbalmente.

Manejo de productos fitosanitarios

- El personal que tiene contacto con productos fitosanitarios en la finca debe recibir anualmente chequeos de salud.

Ropa y equipo de protección personal

- Todos los trabajadores, incluso el personal subcontratado, debe equiparse con la ropa de protección adecuada de acuerdo a los riesgos de salud y los peligros. Así mismo, deben revisarse y mantenerse en buen estado todos los materiales del equipo de protección (botas de goma, ropa resistente al agua, delantales, guantes de goma y mascarillas, entre otras.)
- El equipo de protección personal (incluso los filtros de recambio, etc.), deben guardarse aparte y separado de los productos fitosanitarios, en un área bien ventilada.

Bienestar laboral

- Es necesario realizar reuniones de intercambio entre el administrador y/o el propietario de la finca y los empleados para tratar temas relacionados con las preocupaciones de los trabajadores acerca de la salud, la seguridad y el bienestar laboral.
- En la finca, los alojamientos de los trabajadores deben ser habitables (Figura 12.21), con techo firme y sólido, ventanas, puertas, servicios básicos de agua, aseo y desagües.



Figura 12.21. Instalaciones adecuadas para los trabajadores de la finca.

Seguridad para las visitas

- El personal subcontratado y las visitas deben estar informados acerca de las exigencias en materia de seguridad personal. Dichos requerimientos deben encontrarse señalizados en un lugar visible, donde todas las visitas y el personal subcontratado lo puedan leer.

Medioambiente

Impacto medioambiental de la explotación

- El caficultor debe comprender y evaluar el impacto medioambiental que causan las actividades de su explotación.
- El caficultor debe participar en iniciativas y acciones tendientes a la protección de los recursos naturales, así mismo debe demostrar esta participación ante el grupo que coordina las actividades de manejo medioambiental.

Gestión de conservación del medio ambiente

- En la finca debe establecerse un plan de gestión para la conservación de los recursos naturales, ya sea de manera individual o basado en un plan regional.
- Los caficultores deben conservar todos los núcleos de bosque que no se utilizan en las plantaciones de café, y recordar que la deforestación del bosque primario es prohibida y que no es permitida la deforestación de bosque secundario sin compensación o plan de recuperación.

- Todas las cuencas hidrográficas de la finca deben protegerse y conservarse.
- Las especies nativas serán las preferidas como sombrío para el café (Figura 12.22), pero también deben plantarse árboles nativos dentro y alrededor del cafetal, para obtener frutas, madera y un hábitat para la flora y la fauna, especialmente cuando las plantaciones de café no tienen sombra .
- Debe dejarse crecer vegetación nativa a lo largo de los arroyos para controlar la erosión, como filtro natural de agroquímicos y para proteger la flora y la fauna.
- Con el fin de proteger las especies amenazadas y su hábitat, deben tomarse medidas para restringir la caza y la recolección de flora y fauna con fines comerciales.
- Toda finca que se encuentre a menos de dos kilómetros de un parque público o de una reserva natural, debe mantener abiertos los canales de comunicación con las autoridades.
- Todas las áreas con significativo valor ecológico, social, cultural o religioso, deben estar claramente identificadas, delimitadas y preservadas.



Figura 12.22. Cafetal con sombrío de *Inga* sp.

Uso de energía

- Se debe establecer un plan para vigilar el uso de energía.
- En la finca o la unidad de beneficio, debe demostrarse que se han tomado medidas tendientes a conservar u optimizar el empleo de energía en actividades intensivas en su uso, incluso durante el tratamiento postcosecha.
- El caficultor debe establecer un sistema o plan de acción para medir o vigilar el ahorro energético, reduciendo el consumo y sustituyendo las fuentes de energía no renovables por fuentes de energía renovables.
- Dentro de lo posible y cuando lo permita el clima, use la energía solar en el proceso de secado del café.
- En caso de utilizar madera como fuente de energía en el secado del café, ésta debe provenir de arboledas o de la poda dentro de la propia finca (Figura 12.23). Debe prescindirse de la utilización de madera proveniente de bosques nativos, bosques públicos, cuencas o áreas protegidas.



Figura 12.23. Tallos provenientes de la renovación del cafetal por zoca.

Lista de chequeo

La lista de chequeo se elabora para ayudar al caficultor en la revisión de cada una de las actividades que debe realizar antes y durante la cosecha (sobre cada punto se señala si efectivamente se cumplió o no con el criterio) (Tomado de Federacafé - Utz Kapeh, 2006; Starbucks, 2004b; EMBRAPA (2004). Esta lista debe ser sencilla, corta y entendible.

Higiene e inocuidad del café

Está relacionada con los criterios de cumplimiento 8.A.2, 9.A.1, y 9.A.2 del código de conducta Utz Kapeh (2006).

Antes de la cosecha

- Estimo el volumen de mi cosecha y el requerimiento de recolectores
- Garantizo buenas condiciones de estadía, y motivo y capacito a todo el personal que trabaja en mi finca
- Verifico que mi capacidad instalada sea la adecuada para procesar la totalidad del café producido
- Realizo mantenimiento y calibración de los equipos de beneficio
- Aseguro el abastecimiento adecuado de agua limpia para el beneficio

Durante la cosecha

En la recolección

- Recolecto frutos maduros
- Evalúo y controlo la calidad de la recolección, en el lote durante el día y en la tolva durante el recibo. Si supero el 2% de grano verde hago ajustes al proceso de recolección. El patrón de corte es un elemento clave para garantizar una excelente recolección.
- Incentivo a los recolectores para que hagan una excelente labor
- Limpio regularmente los recipientes de recolección y me aseguro de utilizarlos solo para la cosecha de café
- Me aseguro de no mezclar café caído al suelo con el producto certificado
- Utilizo solo sacos limpios destinados al café certificado

En el transporte

- Verifico la limpieza del vehículo
- Verifico que no hayan olores que puedan indicar riesgo de contaminación al café en el momento del despacho
- Verifico que la carpa o cubierta estén en buen estado

- Me aseguro de transportar solo café, y no llevarlo con productos fitosanitarios o combustible
- Envío un documento de remisión o transporte

En el recibo y clasificación del fruto

- Limpio diariamente el recibidor y el sistema de clasificación del fruto cereza
- Siempre clasifico por flotes el café recibido para eliminar frutos indeseables

En el despulpado

- Calibro la despulpadora según el tamaño del fruto a procesar, por lo menos tres veces durante la cosecha
- Realizo limpieza diaria del equipo y garantizo que no queden granos resguardados
- Despulpo el fruto el mismo día de la recolección
- Durante el despulpado clasifico con zaranda, evitando en todo momento que pulpas y guayabas contaminen la masa de café

En la remoción del mucílago por fermentación

- Verifico todos los días la limpieza del tanque de fermentación antes de iniciar el proceso
- Admito hasta 90 cm de altura la masa de café en el tanque de fermentación
- Después de 12 horas, permanentemente verifico el punto de lavado
- Lavo todos los días el tanque de fermentación, para evitar granos rezagados, mieles y hongos que contaminen la almendra del día siguiente

Por desmucilagador

- Antes de iniciar el proceso verifico la limpieza del equipo
- Aseguro que el caudal de agua del equipo es el recomendado
- Evalúo la calidad del desmucilagador, de acuerdo al procedimiento recomendado
- Realizo limpieza diaria del equipo, para evitar que se contamine el café del día siguiente con mucílago y granos rezagados

En el lavado

- Uso agua limpia o de nacimiento. Nunca utilizo aguas sucias o recirculadas
- Por ningún motivo amontoño el café después de lavado y evito el pergamino manchado

En el secado

- Verifico la limpieza del equipo o lugar de secado, elementos extraños o granos de cosechas anteriores que pueden contaminar el café
- Evito mezclar cafés con diferentes humedades
- En el secado solar la capa de café no debe sobrepasar los 3,0 cm. Al iniciar utilizo una capa más delgada, y revuelvo el café por lo menos cuatro veces al día
- En el secador mecánico, la temperatura del aire no debe superar los 50°C y la altura de la masa del café no debe sobrepasar los 40 cm.
- Verifico que el termómetro de control esté funcionando correctamente
- Reconozco el color, la estructura y la consistencia de café cuando su humedad está entre 10% y 12%
- Vigilo el proceso de secado frecuentemente, tomo muestras de diferentes puntos de la masa, lo trillo manualmente y verifico que tenga el color adecuado
- Me aseguro de proteger el café del agua y de la lluvia

Almacenamiento

- Garantizo que el sitio de almacenamiento sea exclusivo para el café, no lo utilizo para almacenar agroquímicos y abonos. Lo mantengo limpio y protegido de la humedad
- Almaceno el café en sacos limpios y de fique
- Utilizo estibas de madera para proteger el café de la humedad del piso
- Pongo el café alejado de paredes de la bodega y con buena ventilación, con 30 cm de separación de las paredes
- Si observo un café con defectos o con problemas por hongos lo identifico y lo separo del café certificado
- Me aseguro que haya instrucciones de no fumar o no comer en áreas definidas del beneficio

ANÁLISIS DE RIESGO**Para la salud y seguridad del trabajador**

Riesgo. “Combinación de probabilidad y consecuencias de que ocurra un evento peligroso específico”. Lo que puede salir mal, el peligro inminente

Identificación del riesgo. Proceso para el reconocimiento de una situación que genera riesgos y la definición de sus características.

Puntos clave que ayudan a la identificación de riesgos.

- Oriéntese por medio de una lista de chequeo
- Siempre acentúe lo positivo
- Adopte medidas temporales inmediatas
- Describa e identifique claramente cada aspecto observado

Se puede realizar identificación de riesgos en:

- **Condiciones físicas generales.** Busca identificar condiciones no seguras que posean un riesgo potencial.
- **Salud.** Busca identificar las condiciones ambientales del lugar de trabajo que puedan afectar la salud de los trabajadores.
- **Ambiental.** Se realiza con el fin de identificar los desechos producidos que contaminen el aire, las aguas o el suelo.
- **Elemento de protección personal.** Se revisa la entrega, el estado y uso de los elementos de protección personal.
- **Orden y aseo.** La suciedad y el desorden son enemigos de la seguridad, la calidad y la productividad.

Lista de chequeo, identificación, análisis y evaluación de riesgos y plan de acción y seguimiento:

Precosecha**Riesgos físicos**

- El personal hace uso de los elementos requeridos para protegerse de la exposición a los rayos solares

- Se garantiza el suministro de agua potable o líquidos para el consumo del personal en las labores del campo

Riesgos ergonómicos (asociados a la postura del cuerpo)

- Se han definido normas para el levantamiento y el transporte de cargas (equipos de fumigación, sacos de café, recipientes de mezcla de productos y sacos de fertilizante, entre otros)
- Los trabajadores reciben formación en la prevención del riesgo por malas posturas y para evitar la fatiga excesiva en las labores

Riesgos de seguridad

- Se realiza mantenimiento preventivo a herramientas manuales (machetes), maquinaria y/o equipos (guadañadoras, aspersores de productos químicos)
- Los trabajadores reciben formación específica para los riesgos por manejo de herramientas manuales, maquinaria y/o equipos
- Existe y se ha divulgado un procedimiento de cómo actuar en caso de emergencias (atención básica de primeros auxilios, persona de contacto)

Riesgos químicos

- El personal que realiza la operación de aspersión de plaguicidas cuenta con los elementos de protección personal requeridos para la actividad (ropa de uso exclusivo de acuerdo al producto a aplicar, protección respiratoria, guantes, etc.)
- Se tiene definido un proceso que garantice la entrega y reposición de elementos de protección personal requeridos para la actividad de aspersión de plaguicidas
- Se tiene definido y se han divulgado las normas de seguridad para la manipulación de plaguicidas (que incluyen fichas de seguridad de acuerdo al producto, normas para la mezcla de plaguicidas, prohibición de fumar, higiene personal - baño diario al finalizar la jornada de trabajo)
- Están identificados y señalizados los riesgos principales de acuerdo a la operación y/o actividad a realizarse (visual, identificación por colores, barreras, etc.)

Postcosecha

Riesgos físicos

- Se realiza mantenimiento preventivo a la maquinaria, los equipos y las instalaciones eléctricas (maquinaria que genere ruido, sistemas de iluminación, etc)
- En caso donde el proceso productivo genere ruido (funcionamiento de maquinarias en área de beneficiadero) se suministran elementos de protección auditivo a los trabajadores
- Se tienen establecidas normas de seguridad y suministro de elementos de protección personal en procesos donde exista el riesgo por exposición a altas temperaturas

Riesgos ergonómicos

- Se han definido normas para el levantamiento y transporte de cargas o se cuenta con ayudas mecánicas para su movilización (sacos de café, etc.)
- Los trabajadores reciben formación en la prevención del riesgo por malas posturas y evitar la fatiga excesiva en las labores

Riesgos de seguridad

- Se realiza mantenimiento preventivo a maquinaria y/o equipos (despulpadoras, motores, equipos de secado y beneficio seco)
- Se tiene señalizados los equipos o maquinaria que generen riesgo de atrapamiento, contacto directo o indirecto (alta y baja tensión), alta o baja temperatura.
- Se elabora y ejecuta un programa de orden y aseo periódico para las instalaciones (limpieza de áreas, maquinaria y equipos, instalaciones eléctricas, etc.)
- Los trabajadores reciben formación específica para los riesgos por manejo u operación de maquinaria y/o equipos (despulpadora, motores, equipos de secado y beneficio seco), así como para la prevención y el control del fuego
- Existe y se ha divulgado un procedimiento de cómo actuar en caso de emergencias (atención básica de primeros auxilios, persona de contacto)

- Se tienen extintores para el control de incendios, y éstos se encuentran recargados con fecha vigente
- Las áreas de trabajo son seguras y permiten la circulación y manipulación del producto con seguridad
- Están identificadas y/o señalizadas las áreas, de tal forma que permita su fácil comprensión por personal que labora o circula por los sitios de trabajo (demarcación de áreas, proceso, bodegas, prohibición de ingreso, uso obligatorio de elementos de protección personal, etc.)

Términos empleados en las buenas prácticas agrícolas (Utz Kapeh, 2006; Eurepgap, 2004)

Agua de enjuagado. Es la mezcla de agua usada para enjuagar el remanente del producto fitosanitario con la mezcla de agua resultante del enjuague de la maquinaria de aplicación o de los envases de producto fitosanitario.

Agua potable. Agua que cumple con el estándar de calidad de agua bebible.

Análisis de riesgos. Es una estimación de la probabilidad que se presente un peligro o un incumplimiento con relación a la calidad o la seguridad de un alimento.

Auditoría de documentación. Estudio, del manual de gestión de calidad y de seguridad en los alimentos por un panel auditor.

Auditoría de validación. Evaluación de todo el sistema para asegurar que se apliquen los procedimientos documentados en el manual del sistema de gestión de calidad y de seguridad de los alimentos.

Auditoría de verificación. Rutina de auditorías no anunciadas.

Auto-inspección. Inspección interna que el productor realiza en su finca.

Beneficio. Proceso por el cual se remueven las diferentes capas naturales que protegen el grano de café.

Biodiversidad. Variedad de organismos vivos en los ecosistemas; incluye diversidad dentro y entre especies.

Bosque primario. Es un bosque que no ha sido perturbado o intervenido directamente por el hombre.

Bosque secundario. Es el bosque que ha vuelto a crecer después de la tala o de una alteración significativa.

Cadena de custodia. Serie de pasos que aseguran la continuidad del proceso, así como la seguridad de la información, los registros y/o las muestras. Proceso para mantener y documentar la historia cronológica de la evidencia.

Calibración. Operaciones para establecer, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de las cantidades indicadas por el instrumento de medida y los valores exigidos por la normativa.

Centro de manipulado. Lugar destinado a la manipulación del producto recolectado.

Certificación. Todas las acciones que conducen a la emisión de un certificado.

Chequeo del sistema. Auditoría del sistema de gestión interno de calidad y de control.

Comité de certificación. Persona o grupo de personas dentro del Organismo de certificación que tiene la responsabilidad de tomar la decisión final acerca de si un productor o grupo de productores son aprobados.

Compost. Cualquier tipo de materia vegetal orgánica descompuesta.

Declaración. Escrito que cubre un tema relevante y es firmada por el productor o el grupo de productores que emiten dicha declaración.

Titular del certificado. Propietario del certificado. Es el responsable de implementar y controlar los requerimientos del código de conducta. Es el responsable del manejo del Sistema Interno de Control.

Evidencia documental. Pueden ser copias de certificados de asistencia a talleres sobre aplicación de fertilizantes o del manejo seguro de productos fitosanitarios, etc.

Fertilizante inorgánico. Fertilizante químico comercial.

Finca. Unidad de producción agrícola o grupo de unidades de producción agrícola manejadas con los mismos procedimientos de operación, administración y actividades para la toma de decisiones relacionadas con las BPA.

Fuentes sostenibles. Son fuentes que suministran suficiente agua en circunstancias normales.

Grupo de productores. Productores de café que se postulan para una certificación con un procedimiento y un Sistema Interno de Control (SIC) y que están dispuestos a cumplir los códigos de conducta.

Herbicida. Sustancia química que controla o destruye plantas no deseadas dentro del cultivo.

Idioma de trabajo. El idioma en el que se puede realizar una auditoría o inspección sin la necesidad de un traductor.

Ingrediente activo. Componente de un producto fitosanitario que controla o produce la muerte de las plagas objetivo.

Inspección interna. Inspección a un grupo de productores regidos por un sistema de control Interno, para garantizar que los miembros del grupo cumplan con el Código de Conducta.

Inscripción. Proceso por el cual un productor individual o un grupo de productores comienza la solicitud para obtener la certificación.

Incumplimiento. Incidente que implica que los requisitos de la normativa no se cumplen. Desconfianza que haya un sistema de gestión de calidad y de seguridad en los alimentos colocando en riesgo la certificación de exportación.

Inspección. Examen realizado a los alimentos, a los sistemas de control de alimentos, materias primas, proceso y distribución, e incluye pruebas realizadas durante el proceso y la obtención del producto final, para verificar el cumplimiento de los requisitos.

Intervalo de re-entrada. Tiempo que transcurre entre la aplicación del producto fitosanitario y el primer contacto humano con los cultivos tratados.

Manejo del producto. Actividades de manipulación del producto en la finca que son de bajo riesgo.

Manejo Integrado de Plagas (MIP). Aplicación racionalizada de una combinación de medidas biológicas, biotécnicas, químicas y culturales, tendientes a limitar o mantener las poblaciones de plagas por debajo del umbral de daño o pérdida económica.

Mapas de suelos. Describen los tipos de suelos que se encontraron y se registraron dentro de una localidad.

Medida preventiva. Factores físicos, químicos u otros, que pueden ser usados para controlar un riesgo de salud identificado.

Mulch. Cualquier material utilizado alrededor de plantas como cobertura protectora con el objetivo de reducir las malezas, aumentar o bajar la temperatura del suelo o retener la humedad alrededor de la planta.

Pared robusta. Barrera física no-inflamable que no permite el contacto de líquidos, gases o polvo entre ambos lados de dicha barrera.

Productor. Persona que representa la finca y quien tiene la responsabilidad jurídica sobre los productos vendidos por la finca.

Productor individual. Persona responsable de la producción de la finca y quien mantiene la propiedad de todo el café que se menciona en el certificado. Persona que representa legalmente a la finca.

Punto Crítico de Control (PCC). Paso o procedimiento en el que se puede realizar un control, de manera que un riesgo a la seguridad pueda ser prevenido, eliminado o reducido a niveles aceptables.

Registro. Documento que contiene evidencia objetiva y demuestra cómo se están realizando las actividades y qué tipos de resultados se están obteniendo.

Rastrear. Capacidad de seguirle el paso a una unidad específica del producto mientras se mueve a través de la cadena de suministros, de organización a organización.

Reducción del riesgo de contaminación. Correcto manejo de los productos agrícolas, incluye manejo de productos fitosanitarios y fertilizantes orgánicos.

Riesgo. Es una estimación de la probabilidad de que suceda un peligro imprevisto.

Seguridad alimenticia. Garantía que el alimento no causará daño alguno al consumidor cuando el producto se prepara y consume conforme a su utilización prevista.

Trabajador. Persona en la finca que haya sido contratada para hacer una tarea, incluyendo a los dueños de la finca y sus administradores.

Trabajo forzado. Todo trabajo o servicio que se obtiene de una persona bajo la amenaza de una penalización, y por el cual dicha persona no se ofrece en forma voluntaria.

Trabajo de niños. Trabajo realizado por menores de 15 años, a menos que la legislación local determine un límite de edad superior a 15 años.

Trazabilidad. Capacidad de poder identificar el origen de una unidad particular y/o lote del producto dentro

de la cadena de suministro por medios de registros mantenidos más adelante en la cadena de suministro.

Verificación. La confirmación a través de un examen y la presentación de evidencia, que se han cumplido los requisitos específicos referentes a la certificación en BPA.

CONSIDERACIONES FINALES. *Las Buenas Prácticas Agrícolas son reconocidas oficialmente e internacionalmente como mecanismos para reducir los riesgos relacionados con el uso de plaguicidas, para velar por la salud pública y del medio ambiente y por consideraciones de inocuidad. Su utilización está siendo promovida cada vez más por el sector privado, los comercializadores y los productores como respuesta a la demanda de los consumidores de alimentos sanos y producidos de manera sostenible.*

Las BPA le permiten al agricultor:

- *Estar preparado para exportar a mercados exigentes (mejores oportunidades y precios). En el futuro próximo, probablemente se transforme en una exigencia para acceder a dichos mercados.*
- *Obtener mejor y nueva información de su propio negocio. El productor comprende mejor su negocio y por ende, lo habilita a tomar mejores decisiones.*
- *Mejor gestión (administración y control de personal, insumos, instalaciones, etc.) de la finca (empresa) en términos productivos y económicos. Aumento de la competitividad de la empresa, por reducción de costos (menores pérdidas de insumos, horas de trabajo, tiempos muertos, etc.)*
- *Reducir la cadena comercial (menos intermediarios). Al habilitar la entrada directa a supermercados, empresas exportadoras, etc..*
- *Tener personal comprometido con la empresa, con aumento de la productividad por mayor especialización y un trabajo agropecuario digno.*
- *Poseer mejor imagen de la empresa ante sus compradores. Oportunidades de nuevos negocios, mejor imagen del propio país (Colombia: Café de origen).*
- *Para las comunidades rurales locales, las BPA representan un recurso de inclusión en los mercados locales, regionales e internacionales. Pueden demostrarse a ellas mismas que se pueden integrar con éxito, mejorando su calidad de vida, sin dejar de lado sus valores culturales.*

Bibliografía

- ACERO D., L.E. Árboles de la zona cafetera colombiana. Bogotá, Ediciones Fondo Cultural Cafetero, 1985. 321 p.
- ALDRICH, R. J. Predicting crop yield reductions from weeds. *Weed Technology* 1:199-206. 1987.
- ALIZAGA, R.; HERRERA, J. Desarrollo del fruto y de la semilla en dos cultivares de café (*Coffea arabica*) y su relación con la germinación y el almacenamiento. *Agronomía Costarricense* 19 (1):61-67. 1995.
- ALMEIDA, S.R. DE; COELHO, A.J.E.; MATIELLO, J.B.; PAIVA, J.E.P.; DA SILVA, J.B.S. Sistema radicular deficiente; problema serio em cafezais em formacao no sul de Minas. In: Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras, 2. Pocos de Caldas, Setembro 10-14, 1974. Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1974. p. 317-318.
- ALVARADO A., G. Atributos de calidad de la semilla de café de las variedades Colombia y Tabi. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 324:1-4. 2004.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 337:1-8. 2005.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Naranja para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 338:1-8. 2005.
- ANDERSON, L.S.; SINCLAIR, F.L. Ecological interactions in agroforestry systems. *Agroforestry Abstracts* 6 (2):57-91. 1993.
- ANDROCIOLO, F.A. Café adensado. Espacamentos e cuidados no manejo da lavoura. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 2002. 30 p. (Circular N° 121).
- ÁNGEL C., C.A. Mancha de hierro *Cercospora coffeicola* Berkeley y Cooke. In: GIL V., L.F.; CASTRO C., B.L.; CADENA G., G. Enfermedades del café en Colombia. Chinchiná, Cenicafe, 2003. p 137-144.
- APONTE DE L., M.E.; VALENCIA A., G. Toxicidad de aluminio en plántulas de café. *Cenicafe* 34 (3): 61-97. 1983.
- APONTE DE L., M.E. Toxicidad de aluminio en plántulas de café. *Cenicafe* 34 (3):61-97. 1984.
- ARANGO B., L.G.; DÁVILA A., M.T. Descomposición de la pulpa de café por medio de la lombriz roja californiana. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 161:1-4. 1991.
- ARAYA, R.; ZAMORA, A. Efecto del frijol común sobre la productividad del café podado y en formación. *Agronomía Costarricense* 13 (1):93-97. 1989.
- ARCILA P., J. Anormalidades en la floración del café. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 320:1-8. 2004.
- ARCILA P., J. Evite errores en el manejo de almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 274:1-8. 2000.
- ARCILA P., J. Factores que limitan el desarrollo de las raíces del café. *Cenicafe*. *Avances Técnicos* No. 176:1-8. 1992.
- ARCILA P., J. Productividad potencial del café en Colombia. In: Centro nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. 50 Años de Cenicafe 1938-1988. Conferencias Conmemorativas. Chinchiná, Cenicafe, 1990. p. 105-119.
- ARCILA P., J. Aspectos fisiológicos de la producción del café *Coffea arabica* L. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. Tecnología del cultivo del café. Chinchiná, Cenicafe, 1987. p. 59-111.
- ARCILA P., J. Fisiología de la semilla del café. Indicadores de la germinación de la semilla de café en condiciones de laboratorio. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. Informe Anual de Labores de la Sección de Fitofisiología Julio 1984 - Junio 1985. Chinchiná, Cenicafe, 1985. 60 p.
- ARCILA P., J. Efecto de la luz en la germinación de las semillas de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. Informe Anual de Labores de la Sección de Fitofisiología 1982-1983. Chinchiná, Cenicafe, 1983. p. 34.
- ARCILA P., J. El desarrollo foliar del café. Chinchiná, Cenicafe, 1983. 9 p. (Documento interno)
- ARCILA P., J. Retención y duración de las hojas de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. Informe anual de labores de la Disciplina Fisiología Vegetal Julio 1982 - Junio 1983. Chinchiná, Cenicafe, 1983. p. 2-12. (Mecanografiado).
- ARCILA P., J. Influencia de la temperatura de secado en la germinación de las semillas de café. *Cenicafe* 27(2):89-91. 1976.
- ARCILA P., J. Efecto del Ethepon en la calidad de la bebida del café. *Cenicafe* 26 (1):49-52. 1975.
- ARCILA P., J. Efecto de la luz ultravioleta en plántulas de café en almacigo. *Cenicafe* 25: 90-92. 1974.
- ARCILA P., J.; BOTERO J., M. Densidad máxima de semilla para los germinadores de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. Informe anual de labores de la Sección de Fitofisiología 1984 - 1985. Chinchiná, Cenicafe, 1985. p. 32-56.
- ARCILA P., J.; BOTERO J., M. Fisiología de la semilla del café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. Chinchiná. Colombia. Informe Anual de Labores de la Sección de Fitofisiología 1984 - 1985. Chinchiná, Cenicafe, 1985. p. 1-41.
- ARCILA P., J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; WICKE, H. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea* sp. *Boletín Técnico Cenicafe* No. 23:1-31. 2001.
- ARCILA P., J.; CHAVES C., B. Desarrollo foliar del café en tres densidades de siembra. *Cenicafe* 46(1):5-20. 1995.
- ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. La humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 311:1-8. 2003.
- ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; BALDIÓN R., J.V.; BUSTILLO P., A. La floración del café y su relación con el control de la broca. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 193:1-6. 1993.

- ARIAS B., H. Pruebas rápidas para determinar la viabilidad y/o vigor de la semilla de café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1987. 152 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo)
- AZAM-ALI, S.N.; SQUIRE, G.R. Principles of tropical agronomy. Wallingford, CABI Publishing, 2002. 236 p.
- BACCHI, O. Novos ensaios sobre a seca de semente de café ao sol. *Bragantia* 15:83-91. 1956.
- BACCHI, O. Seca da semente de café ao sol. *Bragantia* 14: 225-236. 1955.
- BAEZA A., C.A. Nematodos fitoparásitos asociados con el cultivo del café en Colombia. *Noticias Fitopatológicas* 4(1):120. 1975.
- BAEZA A., C.A.; LEGUIZAMÓN C., J.E. Control de nematodos en almácigos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 74:1-2. 1978.
- BARBOSA, C.M.; GUIMARAES, R.J.; ALVARENGA, G.; OLIVEIRA, S.; VALLONE, H.S.; CALILLI, B.P. Sistemas de podas e sua conducao em lavouras adensadas. In: Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2. Vitória, Septiembre 24-27, 2001. Vitória, Ministerio da Agricultura e do Abastecimento - EMBRAPA, 2001. 5 p.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; COONS, M.P. The physiology of flowering in coffee: a review. *Journal of Coffee Research* 8(2-3):29-73. 1978.
- BARTHOLO, G. F. Evolucao na adocao de espacamentos na cultura do café. *Informe Agropecuario* 19(193):49-60. 1998.
- BASEL, E. H.; BERLIN, S.H. Panicoid grass weeds. *Grass weeds* 1. Switzerland, CIBA - GEYGY Ltd., 1980. 142 p.
- BEAUMONT, J.H.; FUKUNAGA, E.T. Factors affecting growth and yield of coffee in Kona Hawaii. Hawaii, Hawaii Agricultural Experiment Station, 1958. 39 p. (Bulletin No. 113).
- BEAUMONT, J.H.; LANGE, A.H.; FUKUNAGA, E.T. Initial growth and yield response of coffee trees to a new system of pruning. *Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences* 67:270-276. 1956.
- BEDOYA M., H.J.; SALAZAR A., J.N. Los lodos de la digestión anaeróbica de la pulpa del fruto del café como abono para almácigos. *Cenicafé* 36 (4):112-124. 1985.
- BEER, J.W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5(1):3-13. 1987.
- BEER, J.; BONNEMANN, A.; CHAVEZ, W.; FASSBENDER, H.; IMBACH, A.; MARTEL, I. Productividad y sostenibilidad de los sistemas agroforestales *Theobroma cacao* - *Erythrina poeppigiana* y *T. cacao* - *Cordia alliodora*: Resultados de 10 años del experimento central, CATIE. Turrialba, CATIE, 1989. 4 p.
- BEER, J.W.; MUSCHLER, R.G.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164. 1998.
- BELALCÁZAR CARVAJAL, S. El cultivo del plátano en el trópico (*Musa AAB Simmonds*). Cali, ICA, 1991. 375 p. (Manual de Asistencia Técnica No. 50).
- BERTALANFFY, L. VON Teoría general de los sistemas. México, Editorial Fondo de Cultura Económica, 1976. 311 p.
- BHEEMAIH, M.M.; SHARIFF, M. Multiple cropping in coffee. *Indian Coffee* 53(12):9-13. 1989.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A.; PUPO, E.I.H. Efeitos da epoca de controle do mato sobre a producao de uma lavoura de café em formacao. Resultados de 3 anos de observacoes. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 6. Ribeirao Preto, Outubro 24-27, 1978. Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1978. p. 56-57.
- BLEIHOLDER, H., BOOM, T.; VAN DEN LÁNGELUDECKE, P.; STAUSS, R. Codificación uniforme para los estadios fenológicos de las plantas cultivadas y de las malas hierbas. *Phytoma* 28:1-4. 1991.
- BRADSHAW, L.; RICE, K. L. Competencia por agua entre el café y tres coberturas vivas (*Arachis*, *Desmodium* y malezas) en Nicaragua. *Agronomía Costarricense* 22(1): 51-60. 1998.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The nature and properties of soils. 12. ed. New Jersey, Prentice Hall, 1999. 881 p.
- BRAVERMAN M. P. Simulated glufosinate drift on rice and soybean. *Proc. South. Weed Science Society* 51:269. 1998.
- BRESHEARS D., D. L; BARNES F., J. Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: A unified conceptual model. *Landscape Ecology* 14:465-478. 1999.
- BROWNING, G. Environmental control of flower bud development in *Coffea arabica* L. In: Landsberg, J.J. ; Cutting, C.V. (Eds.). *Environmental effects on crop physiology*. Londres, Academic Press, 1977. p. 321-336.
- BROWNING, G. ; FISHER, N.M. High density coffee: Yield results for the first cycle from systematic plant spacing designs. *Kenya Coffee* 41 (483): 209-218. 1976.
- BUITRAGO H., L. Determinación del área foliar y velocidad de crecimiento de hojas de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Chinchiná. Colombia. Informe anual de labores de la Sección de Fitopatología Julio 1982 - Junio 1983. p 2-12. (Mecanografiado).
- BULL, R.A. Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. I. Changes in the roots system induced by mulching and irrigation. *Turrialba* 13(2):96-115. 1963.
- BURBANO O., H. El suelo; una visión sobre sus componentes biogénicos. Pasto (Colombia), Universidad de Nariño, 1989. 447 p.
- BUSSIÈRE, F.; CELLIER, P. Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue mulch: experiment and modelling *Agricultural and Forest Meteorology* 68 (1-2):1-28. 1994.
- BUSTILLO P., A. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Cenicafé. Boletín Técnico Cenicafé* No. 24:1-40. 2002.
- CADENA G., G. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro en almácigos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 109:1-4. 1983.
- CADENA G., G. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) Berk y Cooke, en almácigos. *Cenicafé* 33 (3):76-90. 1982.
- CAGUE, R.; HUBE A.; GIBSON, D. Beyond the bean: redefining coffee quality. Quick reference guide to standards for sustainable production systems. Environment and Natural Resource Management and Agribusiness Practice Networks. Washington,. Chemonics International, 2002. 33 p.
- CAIXETA, I.F.; ALVARENGA, G. Maturacao fisiológica da semente do cafeiro *Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo. *Ciencia e Prática* 5(1):48-54. 1981.
- CAMARGO, P. de A. Florescimento e frutificacao de café arabica nas diferentes regiones cafeeiras do Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 20(7):831-839. 1985.
- CAMARGO A., P. D.; PEREIRA, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. Ginebra, World Meteorological Organization, 1994. 43 p.

- CAMAYO V., G.C.; ARCILA P., J. Desarrollo floral del cafeto en condiciones de la zona cafetera colombiana (Chinchiná - Caldas). *Avances Técnicos Cenicafé* No. 245:1-8. 1997.
- CAMAYO V., G.C.; ARCILA P., J. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. *Cenicafé* 47(3):121-139. 1996.
- CAMAYO V., G.C.; CHAVES C., B.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná - Caldas. *Cenicafé* 54 (1): 35-49. 2003.
- CAMPOS, C.E. Poda por lote de los cafetos. *Noticiero del Café* 8(79):3-4. 1993.
- CANNELL, M.G.R. Physiology of the coffee crop. In: Clifford, M.N.; Wilson, K.C. (Eds.). *Coffee, botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Westport, Avi Publishing Co., 1985. p. 108-134.
- CANNELL, M.G.R. Effects of irrigation, mulch and N-fertilizers on yield components of arabica coffee in Kenya. *Experimental Agriculture* 9(3):223-232. 1973.
- CANNELL, M.G.R. Photoperiodic response of mature trees of *Coffea arabica* L. *Turrialba* 22:198-206. 1972.
- CANNELL, M.G.R. Primary production; fruit production and assimilate partition in arabica coffee: a review. In: *Coffee Research Foundation - CRF. Ruiru. Kenya. Annual report 1971-1972*. Ruiru, CRF, 1972. p. 6-24.
- CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; BAGIO, A. Arborizacao do cafezal com *Grevillea robusta* no Norte do Estado do Parana coffee shade with *Grevillea robusta* in the North of Parana state, Brazil. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* 38(4):1031-1037. 1995.
- CÁRDENAS M., R.; BENAVIDES G., M. La palomilla del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 29:1-2. 1973.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 334:1-8. 2005.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Ciclo de nutrimentos y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de Inga spp. *Cenicafé* 56 (2):127-141. 2005.
- CASSOL, E. A.; BARROS C., J. R.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(7):685-690. 2004.
- CASTILLO R., M.E.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA R., J. Estructura del dosel e interceptación de la radiación solar en la planta de café *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 47(1):5-15. 1996.
- CASTILLO R., M.E.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA R., J. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con el área foliar del *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 48(3):182-194. 1997.
- CASTILLO R., M.E.; JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J.; SANABRIA R., J. Coeficientes de extinción de la radiación fotosintéticamente activa en *Coffea arabica* L. *Atmósfera* No. 24:65-70. 1996.
- CASTILLO Z., J. Mejoramiento genético del café en Colombia. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. chinchiná. Colombia. 50 años de Cenicafé 1938-1988; conferencias conmemorativas. Chinchiná. Cenicafé, 1990. p. 48-53.
- CASTILLO Z., J. Seleccione la semilla grande de café para las siembras. *Revista Cafetera de Colombia* 19 (146): 60-68. 1970.
- CASTILLO Z., J. Informe especial sobre café Caturra. Chinchiná, Cenicafé, 1967. 32 p.
- CASTILLO Z., J. Rendimiento de las variedades Típica y Bourbon del *C. arabica* L., en diferentes condiciones de cultivo. *Cenicafé* 11(5):137-142. 1960.
- CASTILLO Z., J. Observaciones sobre la relación del crecimiento del cafeto y temperatura en condiciones de campo. *Cenicafé* 8(10):305-313. 1957.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. chinchiná, Cenicafé, 1988. p. 47-51.
- CASTILLO Z., J. LÓPEZ A., R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. *Cenicafé* 17(2):51 - 60. 1966.
- CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Estudio de la producción de seis variedades comerciales de café. *Cenicafé* 19(1):18-39. 1968.
- CASTRO C., B.L. Las llagas radicales del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 163:1-4. 1991.
- CASTRO C., B.L.; MONTOYA R., E.C. El zoqueo de los cafetales y su relación con la infección por llaga macana. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 240:1-8. 1997.
- CASTRO T., A. M.; RIVILLAS O., C.A. Biorregulación de Rhizoctonia Solani en germinadores de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 336:1-8. 2005.
- CAYÓN, G.; BELALCÁZAR, S.; LOZADA, J.E. Ecofisiología del plátano (*Musa AAB Simmonds*). In: SEMINARIO Internacional sobre Producción de Plátano. Armenia, Mayo 4-8, 1998. Memorias. Armenia, CORPOICA - Universidad del Quindío-SENA-Comité de Cafeteros del Quindío, 1998. p. 221-236.
- CENTENO, M.; CAMPO, A. M.; BLANCO, M. Efecto del asocio del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el crecimiento y desarrollo el café. *Boletín Promecafé* No. 65:17. 1994.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. ¿Cómo obtener ingresos adicionales en cafetales renovados? Chinchiná, Cenicafé, 2005. 43 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Manejo integrado de arvenses. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Resumen del informe anual de actividades 2004-2005. Chinchiná, Cenicafé, 2005. p. 141-146.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario meteorológico cafetero 2002. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 536 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Comparación de la producción del café bajo sombra de cinco especies leguminosas a diferentes densidades de siembra. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Resumen del informe anual de actividades 2003-2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004. p. 49.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Base de datos Flora, Cenicafé. On line Internet. www.orton.ac.cr./flora/htm. (Consultada en mayo 05 de 2004).
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Efecto de la poda del sombrío de *Erythrina fusca* sobre café sometido a diferentes niveles de fertilización, en la zona Norte de Colombia. Resumen del informe anual de actividades 2001-2002. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2002. p. 25 (a).
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Respuesta en producción de cafetales al sol fertilizados con lombricompost. Resumen del informe anual de actividades 2001-2002. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2002. p. 26 (b)

- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Crecimiento del café en diferentes altitudes. Cuantificación de la floración, cuajamiento y desarrollo del fruto en las Subestaciones Experimentales. In: Resumen Informe Anual de Actividades Cenicafé 2000- 2001. Chinchiná, Cenicafé, 2001- p.37 - 38.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Resumen Informe Anual de Actividades 2000-2001. Chinchiná, Cenicafé, 2001. 140 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Sistemas de obtención del número de plantas por sitio y su efecto en la producción de café. In: Resumen Informe Anual de Actividades Cenicafé 2000 - 2001. Chinchiná, Cenicafé, 2001. 140 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Sistemas de cultivos. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Resumen informe anual de actividades 1999 - 2000. Chinchiná, Cenicafé, 200. p. 161.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Fitotecnia. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Resumen informe anual de actividades 1996 - 1997. Chinchiná, Cenicafé, 1997. p. 115.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Una buena administración de la finca es fundamental para el manejo de la broca del café. Brocarta No. 29:1-2. 1995.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Control químico de la mancha de hierro en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 192:1-8. 1993.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. La renovación de los cafetales por zoca. Avances Técnicos Cenicafé No. 174:1-8. 1992.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Germinadores. Avances Técnicos Cenicafé No. 3:1. 1971.
- CHALLENGE AGRICULTURE. FRANCIA. Watermark. L'Eau Du Sol Maitrisee. Gardonne; Challenge Agriculture, s. f. 10 p. 1990
- CHANG, S.X.; AMATYA, G.; BEARE, M.H.; MEAD, D.J. Soil properties under a *Pinus radiata* - ryegrass silvopastoral system in New Zealand. Part I. Soil N and moisture availability, soil C, and tree growth. *Agroforestry Systems* 54(2):137-147. 2002.
- CHEBABI, A. O esqueletamento: Uma poda para cafeeiro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 3. Curitiba, Novembro 18-21, 1975. Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1975. p. 148.
- CHEE, Y. K.; ALIF, A. F.; CHUNG, G. F. Management of weeds in plantation crops in 2000. In: AZIZ, A.; KADIR, S. A.; BARLOW, H. S. Pest management and the environment in 2000. Wallingford, CAB International, 1992. p. 270-280.
- CHENGAPPA, P.G.; REBELLO, N.S.P. An economic analysis of intercropping in coffee states of Coorg. *South Indian Horticulture* 25(4):154-157. 1977.
- CIETTO, S.; HAAG, H.P.; DECHE, A.R. Acumulacao de matéria seca, absorcao de N, P e K pelo cafeeiro *Coffea arabica* L. cv. Catuaí com dois, três, quatro e cinco anos de idade, nas fases fenológicas de repouso, granacao e maturacao vegetando em um latossolo vermelho amarelo, fase cerrado. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"* 48(1):245-268. 1991
- CISNEROS, D.B. Estudio de la poda de bandola a dos alturas del eje ortotrópico en el café. In: Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, 18. San José, Septiembre 16-18, 1997. Memorias. San José, ICAFE-IICA-PROMECAFE, 1997. p. 147-150.
- COBLE, H. D.; MORTENSEN D. A. Threshold concept and its application to weed science. *Weed Science* 6: 191-195. 1992.
- COMISION NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y SO DE LA BIODIVERSIDAD - CONABIO. On-line Internet. <http://www.conabio.gob.mx> (consultado julio de 2006)
- COMMON CODE FOR THE COFFEE COMMUNITY (4C). Código común para la comunidad cafetera, versión: 9 de 2004.32 p. On line Internet. www.sustainable-coffee.net/download-section/index.html (Consultado marzo de 2005)
- CONCEPCIÓN, M. DE J. La pulpa de café y su utilidad como abono orgánico. In: SIMPOSIO Latinoamericano sobre Caficultura, 5. San Salvador (El Salvador), Octubre 20-22, 1982. Turrialba (Costa Rica), IICA-PROMECAFE, 1982. p. 10-16.
- CONSERVATION INTERNATIONAL; CONSUMER'S CHOICE COUNCIL; RAINFOREST ALLIANCE; SMITHSONIAN MIGRATORY BIRD CENTER; SUMMIT FOUNDATION. WASHINGTON. ESTADOS UNIDOS. Conservation principles for coffee production. Washington, 2001. 11 p.
- CORDERO, J.; BOSHIER, D.H.; BARRANCE, A.; BEER, J.; BOSHIER, D.H.; CHAMBERLAIN, J.; CORDERO, J.; DETLEFSEN, G.; FINEGAN, B.; GALLOWAY, G.; GÓMEZ, M.; GORDON, J.; HANDS, M.; HELLIN, J.; HUGHES, C.; IBRAHIM, M.; KASS, D.; LEAKEY, R.; MESÉN, F.; MONTERO, M.; RIVAS, C.; SOMARRIBA, E.; STEWART, J.; PENNINGTON, T. Arboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba, CATIE, 2003. 1079 p.
- CORLEY, R.H.V. Potential productivity of tropical perennial crops. *Experimental Agriculture*, 19 (3): 217-237. 1983.
- COUSENS, R. A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology* 107: 239-252. 1985.
- COUTTS, M.P.; NIELSEN, C.C.N. ; NICOLL, B. C. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root systems of conifers. *Plant and Soil* 217:1-15. 1999.
- CRISOSTO, C.H.; GRANTZ, D. A.; MEINZER, F.C. Effects of water deficit on flower open in coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree Physiology* 10:127-139.1992
- CRUZ, R. DE LA. Las malezas en el cultivo del frijol en América Latina. Guía de estudio como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, CIAT, 1989. 40 p. (Serie 04W - 02.03).
- DA MATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research* 86(2-3): 99-114. 2004.
- DÁVILA A., M.T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 225:1-11. 1996.
- DAVIS J., H.C.; SMITHSON, J. B.; Principles of Intercropping with beans. Cali, CIAT, 1986. 40 p.
- DE LAS SALAS., G. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. San José (Costa Rica), IICA, 1987. 450 p.
- DEDECCA, D.M. Anatomía e desenvolvimiento ontogenético de *Coffea arabica* L. Var. Typica Cramer. *Bragantia* 16:315-366. 1957.
- DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. WASHINGTON, ESTADOS UNIDOS. The National Organic Program. The NOP Final Rule. Read the National Standards on Organic Agricultural Production and Handling. View the Final Regulations. Washington, USDA, 2000. 120 p.
- DEW, D. A. An index of competition for estimating crop loss due to weeds. *Canadian Journal Research* 52: 921-927. 1972.
- DIBB D.W. Nutrientes inorgánicos y orgánicos: Cuál es la diferencia?. Instituto de la Potasa y el Fósforo-INPOFOS, México. *Informaciones Agronómicas* (México), N° 48:1-3. 2002.
- DIJKSTRA F. Effects of tree species on soil properties in a forest of the northeastern United States. Wageningen, Wageningen University,

2001. 120 p. (Dissertation No. 30120). On line Internet: www.gcw.nl/dissertations/3028/dis3028.pdf (Consultado Marzo de 2006).
- DOLL, J. Los herbicidas: modo de actuar y síntomas de toxicidad. 2. ed. Cali, CIAT, 1982. 15 p.
- DOLL, J. Factores que condicionan la eficacia de los herbicidas. 2. ed. Cali, CIAT, 1981. 20 p.
- DREW, M. C. Effects of flooding and oxygen deficiency on plant mineral nutrition. *Advances in Plant Nutrition* 3:115-159. 1988.
- DUQUE, J. P. La evolución en los métodos del cultivo del café en Colombia. *Revista Cafetera de Colombia* 6 (105):2607-2610. 1940.
- DUQUE, J. P. Nuevas observaciones sobre el descope de yema en el café. *Revista Cafetera de Colombia* 6 (93-96): 2145-2148. 1937.
- DUQUE O., H. Cómo reducir los costos de producción en la finca cafetera. 2. ed. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 101 p.
- DUQUE O., H.; ARBOLEDA V., C; ARCILA P., J. Colinos de café descopados: Una opción para obtener altas densidades de siembra a menor costo. *Avances Técnicos Cenicafé No. 309:1-4. 2003.*
- DUQUE O., H.; BUSTAMANTE G., F.J. Determinantes de la productividad del café. Chinchiná, Cenicafé, 2002. 53 p.
- DURÁN, V., Y. Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). 2004. 56 p. On line Internet: <http://www.unad.edu.co/pages/cursos/agrarias.htm>. (Consultado Noviembre 2005).
- EIRA, M.T.S.; SILVA, E.A.A. DA; CASTRO, R.D. DE; DUSSERT, S.; WALTERS, C.; BEWLEY, J.D.; HILHORST, H.W.M. Coffee seed physiology. *Brazilian Journal of Plant Physiology* (Brasil) 18(1):149-163. 2006.
- ELGUETA, M. Algunos resultados de experimentos de podas en cafetales. *Suelo Tico* 4(18-19): 36-40.1950.
- ELLIS, R.H.; HONG,T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behavior? I. Coffee. *Journal of Experimental Botany* 41:1167-1174. 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUARIAS - EMBRAPA. BRASILIA. BRASIL. Coffee quality and safety manual. Brasilia, EMBRAPA, 2004. 52 p.
- ERENSTEIN, O. Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: A guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100(1):17-37. 2003.
- ESHETU, T. Weed flora and weed control practices in coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia. A review. In: *Colloque Scientifique International sur le Café*, 19. Trieste, Mayo 14 - 18, 2001. París, ASIC, 2001. 9 p.
- ESPINAL T., L.S. Árboles de Antioquia. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1986. 251 p.
- EUREPGAP. Buenas practicas agrícolas (BPA) en el cultivo del café, criterios EUREPGAP. Puntos de control y criterios de cumplimiento, CAFÉ. Versión en Español 1.0 Sep 04. Válido a partir de: 1° de Octubre de 2004. 26 p. On line Internet. www.eurep.org (Consultado abril de 2006)
- FAGERIA, N.K. Maximizing crop yields. New York, Marcel Dekker, 1992. 274 p.
- FAIRTRADE LABELLING ORGANISATIONS INTERNATIONAL. Criterio de comercio justo para café. Versión 2004. Bonn, 2004. 16 p.
- FARFÁN V., F. Producción de café en un sistema intercalado con plátano Dominico Hartón con y sin fertilización química. *Cenicafé* 56(3):269-280. 2005.
- FARFÁN V., F. Efecto del grado de sombreado sobre la producción en sistemas agroforestales con café. Chinchiná, Cenicafé, 2003. 1 p. (Seminario Julio 11, 2003).
- FARFÁN V., F. Cómo producir café orgánico en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé No. 279:1-8. 2000.*
- FARFÁN V., F. La caficultura orgánica y su viabilidad. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 1 p.
- FARFÁN V., F. Aspectos generales de la producción de café orgánico en Colombia. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1995. 94 p.
- FARFÁN V., F. El zoqueo del café conserva el bosque nativo. *Avances Técnicos Cenicafé No. 209:1-4. 1994.*
- FARFÁN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Desarrollo de una metodología para medir sombrío en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 54 (1): 24-34. 2003.
- FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. *Cenicafé* 55(2):161-174. 2004 (a).
- FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetera norte de Colombia. *Cenicafé* 55(3):232-245. 2004 (b).
- FARFÁN V., F.; URREGO, B. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. *Cenicafé* 55(4):317-329. 2004.
- FARFÁN V., F.; URREGO, J.B. Descomposición de residuos y transferencia de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia Alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales. *Cenicafé* (Colombia) (En proceso de edición).
- FASSBENDER, H.W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, CATIE, 1987. 475 p.
- FASSBENDER, H.W.; ALPIZAR O., L.A.; HEUVELDOP, J.; ENRÍQUEZ C., G.A.; FOLSTER, H. Modelling agroforestry system of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6:49-62. 1988.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a. ed. rev. aum. San José (Costa Rica), IICA, 1987. 420 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Juan Valdez Café. On Line Internet: <http://juanvaldezcafe.com/index.php?id=1533>. (consultado, marzo de 2007).
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Cafés especiales colombianos. On line Internet. Disponible en: www.cafedecolombia.com/nuestroprod/cafespeciales (Consultado en Julio de 2005).
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA.; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Cartilla cafetera Vol. 1. Chinchiná, Cenicafé, 2004.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe Final. Bogotá, FNC, 1997. 178 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual de uso de fotografías aéreas. Aplicación al sistema de información cafetera. Bogotá, FNC, 1993. 53 p.

- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. El maravilloso Mundo del abono orgánico. Bogotá (Colombia), FNC, 1990. 29 p. (Boletín de Extensión No. 73).
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual del cafetero Colombiano. 4. ed. Bogotá, FNC, 1979. 209 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual del cafetero colombiano. 3. ed. Bogotá, FNC, 1969. 398 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual del cafetero Colombiano. 2. ed. Bogotá, FNC, 1958. 571 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA ; COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE CALDAS; UTZ KAPEH. Lista de chequeo. Higiene e inocuidad del café. In: Día de productores Utz Kpeh Colombia. Manizales, Utz Kapeh Colombia, 2006. s.p.
- FERNÁNDEZ B., O.; CADENA G., G.; LÓPEZ D., S.; BUITRAGO DE S., H.L.; ARANGO B., L.G. La mancha de hierro del cafeto *Cercospora coffeicola* Berk y Cooke, biología, epidemiología y control. In: COLLOQUE Scientifique International sur le Café, 10. Salvador, Octubre 11-14, 1982. París, ASIC, 1982. p. 541-551.
- FERNIE, L.M. A comparison of the multiple and single stem pruning systems under conditions of light shade. In: Research report 1960. Tanganyika, Coffee Research and Experimental Station, 1961. p. 18-21.
- FIGUEROA Z., R.; FISCHERSWORRING H., B.; ROSSKAMP R., R. Guía para la caficultura ecológica: Café orgánico. 2. ed. Lima (Perú), GTZ, 1998. 176 p.
- FIGUEIREDO, J.P.; BARROS, U.V.; SANTINATO, R. Recuperacao de cafezal geado com queima severa a traves de recepa baixa, alta e alta associada ao esqueletamento, com diferentes numeros de brotos por tronco. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 10. Pocos de Caldas, Agosto 29 - Setembro 1, 1983. Anais. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1983. p. 157-159.
- FOURNIER O., L.A.; HERRERA DE F., M.E. Una década de observaciones fenológicas en café (*Coffea arabica* L.) en ciudad Colon, Costa Rica. Revista de Biología Tropical 31(2): 307-310. 1983.
- FRANCO, C.M. A Água do solo e o sombreamento dos cafezais em Sao Paulo. Boletim da Superintendencia dos Servicos do Café 27(299):10-19. 1952.
- FRANCO, C.M. Fotoperiodismo em cafeiro. C. arabica L. Revista do Instituto do Café 27(164):1586-1592. 1940.
- FRANCO, C.M. Influence of temperature on growth of coffee plant. New York, IBEC Research Institute, 1958. 24 p. (Boletín Técnico N° 16)
- FRANCO, C.I.; ALVARENGA, G. Maturacao fisiologica da semente do cafeiro (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). Ciencia e Prática 5:48-54. 1981.
- FRANCO, C.M. ; INFORZATO, R. Quantidade transpirada pelo cafeiro sombreado e pelo Ingazeiro. Bragantia 11(4-6):121-125. 1951.
- FREIRE, A.C.F.; MIGUEL, A.E. Rendimiento e qualidade do cafe colhido nos diversos estagios de maturacao, em Varginha-MG. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 12. Caxambu, Outubro 28-31, 1985. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1985. p. 176-179.
- FREIRE, F.M.; MONNERAT, P.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Nutricao foliar principios e recomendacoes. Informe Agropecuario. Brasil 7(81):54-62. 1981.
- FRIEND, D.J.C. Shade adaptation of photosynthesis in *Coffea arabica* Photosynthesis Research 5(4):325-334.1984.
- FRIESSLEBEN, U.; POHLAN, J.; FRANKE, G. The response of *Coffea arabica* L. to weed competition. Café Cacao Thé 35(1):15-20. 1991.
- FUENTES D., C. Metodología y técnicas para evaluar las poblaciones de malezas y su efecto en los cultivos. Revista Comalfi 13: 29-50. 1986.
- FUENTES, C.L.; ALMARIO G., O.; CIFUENTES V., F. Malezas cyperáceas asociadas con el cultivo del arroz en Colombia. Bogotá, AGREVO, 1999. 136 p.
- GAITÁN B., A.L. Volcamiento o mal del tallito *Rhizoctonia solani* Kühn. In: Gill V., L.F.; CASTRO C., B.L.; CADENA G., G. Enfermedades del cafeto en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2003. p. 85-99.
- GAIVIRONSKY L., A. Estándares orgánicos internacionales. OneCert. Lincoln, Lincoln, NE. USA, 2004.80 p.
- GALLO, P.B.; RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J.A.; PEREIRA, L.C.E. Resposta de cafezais adensados a adubacao NPK. Bragantia 58(2):341-351. 1999.
- GALVIS G., C.A. Mal Rosado *Corticium salmonicolor* Berk. Y Br. In: Gil V, L.F.; CASTRO C., B.L.; CADENA G., G. (Eds.). Enfermedades del cafeto en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2003. p. 121-127.
- GARCÍA, U. Efecto de la época de poda sobre el crecimiento del cafeto. Revista Cafetera de Guatemala No. 125:27-41.1973.
- GAUTZ, L.D.; BITTENBENDER, H. C.; MAURI, G.S. Effect of mechanized pruning on coffee regrowth and fruit maturity timing. In: ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress. Chicago, Illinois, July 28-July 31, 2002 (Paper Number: 021110).
- GIBSON., D.; HOEFKENS., D. Triple standards: integrating developing country producers into the value chain. Quick reference guide to private environmental, quality, and social standards. Washington, Agribusiness Practice Network - Chemonics International Inc., 2003. 17 p.
- GIL V., L.,F. Descripción de daños ocasionados por *Colletotrichum* sp en flores y frutos de café en Colombia. Avances Técnicos Cenicafé No. 248:1-4. 2001.
- GIOVANNUCCI, D.; KOEKOEK, F.J. The state of sustainable coffee: a study of twelve major markets. Cali, ICO-IISD-UNCTAD, 2003. 199 p.
- GIRALDO A., N.; DUQUE O., H.; FARFÁN V., F. Análisis económico de la caficultura orgánica. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 41 p.
- GÓMEZ A., A. Las coberturas nobles previenen la erosión. Avances Técnicos Cenicafé No. 151:1-4. 1990a.
- GÓMEZ A., A. Manejo integrado de malezas en el cultivo del café y la erosión de los suelos. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA.50 años de Cenicafé 1938 - 1988; conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1990b. p. 5-22.
- GÓMEZ A., A.; RAMÍREZ H., C. J.; CRUZ K., R. G.; RIVERA P., J. H. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera colombiana. Chinchiná, FNC - Cenicafé, 1985. 254 p. (Mecanografiado).
- GÓMEZ A., A.; RIVERA P., J. H. Descripción de arvenses en plantaciones de café. Chinchiná, Cenicafé, 1987. 490 p.
- GÓMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. Cenicafé 28(1):3-17. 1977.
- GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá, FNC, 1991. 131 p.

- GÓMEZ, P.F.; GÓMEZ, J.E. Adaptación de once materiales de soya (*Glycine max*) intercalados con café en la zona central cafetera de Caldas. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1988, 125 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- GÓMEZ., P. Producción ecológica. Concepto y consideraciones sobre perspectivas. Movimiento Argentino para la Producción Orgánica, MAPO. EEA INTA Balcarce. Tiempo de Orgánico. (Argentina). On line Internet. Disponible en: <http://www.mapo.org.ar> (consultado octubre de 2006).
- GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B. Caracterización del azufre en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 54 (3):226-233. 2003.
- GRANADA D., D. Estudio del sistema de producción frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) relevo maíz (*Zea mayz* L.) intercalado en zocas de café (*Coffea arabica* L.). Pasto, Universidad de Nariño, 2006. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- GRIME, J.P. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature* 242:344-347.1973
- GRISALES G., A. Suelos de la zona cafetera; clasificación y uso. Medellín, Fondo Cultural Cafetero, 1977. 142 p.
- GUHARAY, F.; MONTERROSO, D.; STAVAR, C. El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. *Agroforestería en las Américas* 8(29):22-29. 2001.
- GUTIÉRREZ, C.H. El PF y su aplicación en irrigación. *Cenicafé*. 2(19):1-40. 1958.
- GUZMÁN G., C.A.; RIAÑO H., N.M. Respuesta de plantas de café en etapa de almacigo a la fertilización foliar. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 232:1-4. 1996.
- HACK, H. ; BLEIHOLDER, H. ; BUHR, L.; MEIER, U.; SCHNOCK F., E.; WEBER, E. ; WITZENBERGER, A. Einheitliche codierung der phanologischen Entwicklungsstadien mono-und dikotyler pflansen-Erweiterte BBCH-skala, Allgemein. *Nachrichtenblatt Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 44:265-270. 1992.
- HAGGAR, J.P.; SCHIBLI, C.; STAVAR, C. Cómo manejar árboles de sombra en cafetales. *Agroforestería en las Américas* 8(29):37-41. 2001.
- HARPER, J.L. Population biology of plants. Londres, Academic Press, 1977. 892 p.
- HART, R.D. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Turrialba, CATIE, 1985. 159 p.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1999. 499 p.
- HEAP, M.I. Criteria for confirmation of herbicide resistant weeds. On line Internet. Disponible en: www.weedscience.org. (Consulta: Febrero 01, 2005a).
- HEAP, M.I. The International survey of herbicide resistant weeds. Online Internet. Disponible en: www.weedscience.com. (Consulta: Enero 17, 2005b).
- HERRERA A. Verdades y mitos sobre la materia orgánica y los abonos orgánicos. Instituto de la Potasa y el Fósforo-INPOFOS, México. *Informaciones Agronómicas (México)*, N° 5:4-5. 2001.
- HERRERA E., J.S.; PALMA O., M. R.; ORDOÑEZ V., M.A.; ZUNIGA, M.D. Efecto de la aplicación de Nitrógeno en la producción de café bajo sombra de *Inga* sp. In: Seminario Nacional de Investigación y Transferencia en Caficultura, 6. Tegucigalpa, Noviembre 22-24, 1995. *Memorias. Tegucigalpa, Instituto Hondureño del Café*, 1997. p. 400-406.
- HERRERA O., M. Expectativas sobre la aplicación de herbicidas en áreas cafeteras de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1983. 221 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- HERRERA, J.; ALIZAGA, R.; ALIZAGA, G. Efecto de la madurez del fruto de café (*Coffea arabica*) cv. Caturra sobre la germinación y el vigor de las semillas. *Agronomía Costarricense* 17(1):25-32. 1993.
- HESS, M.; BARRALIS, G.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; EGGERS, TH.; HACK, H. ; STAUSS, R. Use of the extended BBCH scale-general for the description of the growth stages of mono - and dicotyledonous weed species. *Weed Research* 37:433-441. 1997.
- HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P. The EIL concept. In: HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P. Economic thresholds for integrated pest management. Nebraska, University of Nebraska Press, 1997. p. 9-21.
- HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Efecto del manejo integrado de coberturas sobre los costos y la producción del cultivo del café. In: CONGRESO Latinoamericano, 16; Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 12. Cartagena, Septiembre 26 - Octubre 1, 2004. Programa y memorias. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2004. 4 p.
- HOLM, L.; PLUCKNETT, D.; PANCHO, J.; HERBERGER, J. The world's worst weeds, distribution and biology. Honolulu, University Press of Hawaii, 1977. 609 p.
- HOYOS B., J. Espectro de control y persistencia de la acción de herbicidas (sistémicos y de contacto) y guadañadora, en 20 especies de malezas más frecuentes en cafetales. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1990. 175 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- HUXLEY, P.A. Coffee germination test recommendations and defective seed types. *Proceedings International Seed Testing Association* 30(3):705-714. 1965.
- HUXLEY, P.A. Some factors which can regulate germination and influence viability of coffee seeds. *Proceedings International Seed Testing Association* 29:33-57. 1964.
- HUXLEY, P.A. The effects of hydrogen-ion concentration, temperature and seed drying method on the germination of coffee seeds. *Proceedings International Seed Testing Association* 29:61-70. 1964.
- HUXLEY, P.A. The structure of the coffee fruit and "Bean". *Kenya Coffee* 34(405):364-366. 1969.
- HUXLEY, P.A. ; ISMAIL, S.A.H. Floral atrophy and fruit set in Arabia coffee in Kenya. *Turrialba* 19(3):345-354. 1969.
- HUXLEY, P.A.; PATEL, R.Z. ; KABAARA, A.M. ; MITCHELL, H.W. Tracer studies with 32P on the distribution of functional roots of Arabica coffee in Kenya. *Annals of Applied Biology* 77: 159-180. 1974.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. RIO DE JANEIRO. BRASIL. Práticas culturais no cafezal. Instrucoes técnicas sobre a cultura de café no Brasil. 4. ed. Rio de Janeiro, IBC-Gerca, 1981. p. 233-269 (No. 6)
- INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS - IFOAM. Normas básicas para la producción y el procesamiento ecológico acordadas por la Asamblea General de IFOAM en Mar del Plata, Argentina, Noviembre de 1998. *Okozentrum Imsbach, IFOAM*, 1999. 68p.
- JACKSON, J.E.; PALMER, J.W. A simple model of light transmission an interception by discontinuous canopies. *Annals of Botany* 44:381-388.1979.
- JAPANESE AGRICULTURAL STANDARD OF ORGANIC AGRICULTURAL PRODUCTS (JAS). Notification No.59 of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of January 20, 2000. Revised to correct mistakes in translation on February 21, 2001. 25 p.
- JARAMILLO R., A. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 196 p.

- JARAMILLO R., A. Balance hídrico de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé* 33 (1):15-34. 1982.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Épocas recomendables para la siembra de los cafetos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 229:1-8. 1996.
- JARAMILLO R., A.; ESCOBAR E., B. Balance de energía en *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 34(4):115-126. 1983.
- JARAMILLO R., A.; ESCOBAR E., B.; SANTOS, J.M. DOS. Flujos de radiación solar y de energía en cafetales. In: Concurso Nacional de Meteorología y Climatología, 2. Bogotá, Sociedad Colombiana de Meteorología, 1980. 28 p.
- JARAMILLO R., A.; GÓMEZ G., L. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Cenicafé* 40(3):65-79. 1989.
- JARAMILLO R., A.; GÓMEZ G., L. Estudio de la temperatura del suelo a diferentes profundidades. *Cenicafé* 25(1):3-18. 1974.
- JARAMILLO R., A.; GUZMÁN M., O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé* 35:57-65. 1984.
- JARAMILLO R., A.; SANTOS, J.M. DOS Balance de radiación solar en *Coffea arabica* L. variedades Catuai y Borbón Amarillo. *Cenicafé* 31(3):86-104. 1980.
- JARAMILLO R., A.; VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *C. arabica* L. en Chinchiná (Colombia). *Cenicafé* 31 (4):127-143. 1980.
- JIMÉNEZ S., A.M. Evaluación agronómica de las especies leguminosas *Cajanus cajan* (Guandul), *Crotalaria juncea* (Crotalaria) y *Tephrosia candida* (Tephrosia) y su efecto como abonos verdes en el cultivo del café. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2004. 235 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- JIMÉNEZ S., A.M.; FARFÁN V., F.; MORALES L., C.S. Biomasa seca y contenido de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida*, empleadas como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé* (Colombia) 56(2):93-109. 2005 (a).
- JIMÉNEZ S., A.M.; FARFÁN V., F.; MORALES L., C.S. Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé* 56(3):216-236. 2005 (b).
- JOINT INSTITUTE FOR FOOD SAFETY AND APPLIED NUTRITION. Buenas Prácticas Agrícolas - GAPS, Sección II: Mejorando la seguridad y calidad de frutas y hortalizas frescas: Manual de formación para instructores. Maryland, University of Maryland, 2002. 75 p.
- JONES, H.G. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge, Cambridge University Press, 1989. 323 p.
- KANNAN, S. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R.R. Eds. Crops as enhancers of nutrient use. Academic Press, London. 574 p. 1990.
- KIARA, J. M.; NAGED, T. F. Establishment of rust resistant arabica coffee cultivar under temporary shade and inorganic fertilizer regimes in Papua Nueva Guinea. In: Colloque Scientifique International sur le Café, 16 Kyoto, Avril 9-14, 1995. Paris, ASIC, 1995. p. 816-820.
- KROPFF, M. J.; LOTZ, L.A.P. Systems approaches to quantify crop-weed interactions and their application in weed management. *Agricultural Systems* 40: 265-282. 1992.
- KUMAR, D. Primary investigations into some flowering abnormalities of coffee in Kenya. *Kenya Coffee* 47:16-24. 1982.
- KUPPER, A.; GAOHMANN, F.; FRANCO, C.M. A masa específica do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5. Guarapí, Outubro 18-21, 1977. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1977. p. 144-145.
- LA O., F.; PÉREZ, E.; PAREDES, E.; GARCÍA, R. Umbrals de daño y económico de *Rottboellia cochinchinensis* en papa y maíz. *Protección de Plantas* 2 (4):53-65. 1992.
- LABRADOR M., J. La materia orgánica en los agroecosistemas. Mundiprensa. Barcelona (España). 1996. 174 p.
- LAMBOT, C.; BOUHARMONT, P. Pruning. In: Wintgens, J.N. Coffee: growing, processing, sustainable production. Wienheim, Wiley-VCH, 2004. p. 284-307.
- LANCASHIRE, P. D. ; BLEIHOLDER, H.; LÁNGELUDECKE, P.; STAUSS, R. ; VAN DEN BOOM, T.; WEBER, E. ; WITZENBERGER, A. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119:561-601. 1991.
- LEGUIZAMÓN C., J.E. La mancha de hierro del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 246:1-8. 1997.
- LEIHNER, D. Yuca en cultivos asociados; manejo y evaluación. Cali, CIAT, 1983. 79 p.
- LEON, J. ; FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. *Turrialba* 12:65-74. 1962.
- LOBO, M. Limitantes de perspectivas de la producción de frijol en Colombia. *Actualidades ICA. Boletín Informativo* 5 (55):20p. 1991.
- LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity; an estimate. *Crop Science* 3(1):67-72. 1963.
- LÓPEZ A., M. La fertilización foliar en el café. *Revista Cafetera de Colombia*. p 77-80. 1970
- LÓPEZ A., M. Cambios químicos en el suelo ocasionados por adición de materia orgánica: su valor residual y su efecto sobre plántulas de café hasta un año de edad. *Cenicafé* 17(4):121-131. 1966.
- LÓPEZ C., F.J.; NARANJO J., O.; VILLEGAS E., M.; VALENCIA A., G. Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café en almácigo. *Cenicafé* 23(4): 87-97. 1972.
- MACHADO S., A. Café; Curso limitado para Ingenieros Agrónomos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. In: CURSO sobre Materias Técnicas y Extensión Rural realizado del 6 al 16 de mayo de 1964. Chinchiná, *Cenicafé*, 1964. 87 p.
- MACHADO S., A. Agronomía especial. Café. Curso práctico para cafeteros. Chinchiná, *Cenicafé*, 1953. 118 p.
- MACHADO S., A. ; CASTAÑO A., J. J. El sistema de libre crecimiento con varios cafetos por hoyo. *Cenicafé* 9 (9-10): 235-242. 1958.
- MARGATE, R.Z.; MARAVILLA, J.N.; EBUÑA, R.M.; EROY, M.N. Response of coconut and coffee to fertilizers applied on either or both crops in an intercropping system. *Philippine Journal of Coconut Studies* 18(2):1-6. 1993.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants 2nd Ed. Academic Press, London, 889 p.
- MARÍN L., S.M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto del café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54(3):208-226. 2003
- MARÍN L., S.M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Escala de maduración del fruto del café (*Coffea arabica* L.) Variedad Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 315:1-8. 2003.

- MARÍN L., S.M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé* 54(4):297-315. 2003.
- MARRA, M. C.; CARLSON, G. A. An economic threshold model for weeds in soybeans (*Glycine max*). *Weed Science* 31: 604-609. 1983.
- MATTHEWS, S. G.; BRAWLEY, A.; HAYES, R. M. Effect of glyphosate drift on non-glyphosate tolerant corn. *Proc. South. Weed Science Society* 51: 259-260. 1998.
- MELENDEZ G.; SOTO G. Taller de Abonos Orgánicos. proyecto. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), UCR. Sabanilla, Costa Rica, 3 y 4 de marzo (Costa Rica) 2003, 155 p (Memorias).
- MELLES, C.C.A.; CHEBABI, M.A.A.; GUIMARAES, P.T.G. Culturas intercalares em lavouras cafeeiras nas fases de formacao e producao. In: Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 12. Caxambu, Outubro 28-31, 1985. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 1985. p. 198-201.
- MELLES, C.C.A.; GUIMARAES, P.T.G.; BARTHOLO, G.F.; ALVARENGA, M.P. Podas para a renovacao do cafeeiro. *Informe Agropecuario* 14(162):29-32. 1989.
- MENDONÇA E, DE SÁ.; GOMIDE L, E. Matéria Orgânica do Solo, 1a Aproximação. Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Agrárias Departamento de Solos. SOL 375-Fertilidade do Solo. On-Line Internet: www.ufmt.br/petfloresta/disciplinas/solos/Apostila_MateriaOrganica.pdf (Consultado Diciembre de 2005).
- MENZA F., H.D. Evaluación de la resistencia de tres arvenses de la zona cafetera colombiana al glifosato y alternativas para su manejo. Palmira (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, 2006 103 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- MENZA F., H.D.; SALAZAR G., L.F. Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona cafetera colombiana y alternativas para su manejo. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 350:1-12. 2006.
- MES, M.G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. *Portugaliae Acta Biologica* 4 (4): 328-356. 1957.
- MESTRE M., A. Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 231:1-4. 1996.
- MESTRE M., A. Investigaciones realizadas en Cenicafé sobre densidades de siembra del café. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 1 p. (Seminario Agosto 25, 1995).
- MESTRE M., A. Algunas consideraciones sobre manejo de cafetales. Chinchiná, Cenicafé, 1992. 31 p. (Documento interno).
- MESTRE M., A. La desyerba en los cafetales produce ganancias. *Avances Técnicos Cenicafé* N°. 87:1-2. 1979.
- MESTRE M., A. Determinación de la rata óptima de fertilización en plantaciones de café sin sombrío. *Cenicafé* 28 (2):51-60. 1977.
- MESTRE M., A. Evaluación de la pulpa de café como abono para almácigos. *Cenicafé*. 28 (1):18-26. 1977.
- MESTRE M., A. Utilización de la pulpa en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No.28:1-2. 1973.
- MESTRE M., A.; ARBOLEDA V., C. Aumente la densidad de población de los cafetales y la productividad, sin costos adicionales. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 263:1-4. 1999.
- MESTRE M., A.; OSPINA O., H.F. Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 201:1-8. 1994.
- MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Establecimiento de un sistema de manejo de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 254:1-4. 1998.
- MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Mejore sin costo adicional, la productividad de cafetales sembrados en baja densidad. Producción de zocas de café, con uno y dos tallos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 218:1-2. 1995.
- MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Producción de cafetales establecidos con una y dos plantas por sitio. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 213:1-2. 1995.
- MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Productividad de siembras nuevas y zocas de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 215:1-4. 1995.
- MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. La investigación agronómica del café en Colombia. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Chinchiná. Colombia. 50 años de Cenicafé 1938-1988; conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1990. p. 65-69.
- MESTRE M., A.; URIBE H., A. Dosis y frecuencia de aplicación del fertilizante en la producción de café. *Cenicafé* 31(4):145-163. 1980.
- MIGUEL, A.E.; OLIVEIRA, J.A.; MATIELLO, J.B.; FIORAVANTE, N.; FREIRE, A.C.F. Efeitos dos diferentes tipos de podas na morte de raízes do cafeeiro. In: Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 11. Londrina, Outubro 22-25, 1984. Rio de Janeiro, Ministério da Indústria e do Comércio, ICB, 1984. p. 240-241.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. BOGOTÁ. COLOMBIA. Dirección de desarrollo y protección sanitaria. Plan Nacional para la implementación de las buenas prácticas agrícolas. Bogotá, Minagricultura, 2004. 21 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL - Colombia. Resolución No. 0187 del 31 de julio de 2002. Por la cual se adopta el Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaque, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. 2006. 47 p.
- MOENS, P. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. *Turrialba* 18:209 - 233. 1968.
- MONTAÑO S., M. I.; TORRES S., L. M. Determinación de la época crítica y umbral de competencia de malezas en el cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) en la Sabana de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias y Educación. Departamento de Biología, 1994. 129 p (Tesis: Licenciatura en Biología).
- MONTILLA P., J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006. 107 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- MORENO, A. A. El herbicida Roundup, nueva alternativa para controlar malezas en cafetales. *Nueva Agricultura Tropical* 23: 7-14. 1980.
- MORENO R., L.G. Tabi: variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 300:1-8. 2002.
- MORENO B., A.M. Sistemas de producción de maíz intercalado con café en la zona cafetera colombiana. In: Reunión Latinoamericana de Maíz, 20. Lima, Octubre 11 - 14, 2004. Lima, 2005. p. 515-522.
- MORENO B., A.M.; CHATEL, M. H.; OSPINA R., Y.; BORRERO, J.; GUIMARAES, E. P. El arroz de secano, nueva opción de cultivo para la región cafetera. Estudio agroeconómico del sistema arroz (*Oryza sativa* L.) intercalado con siembras nuevas de café (*Coffea arabica* L.). *Fitotecnica Colombiana* 4(1):9-18, 2004.
- MORENO B., A.M.; HERNÁNDEZ, G., E.; GRISALES L., F. L. Productividad del sistema café intercalado con plátano en barreras. *Cenicafé* 56(1): 79-85. 2005

- MORENO B., A.M.; POSADA S., H.E.; MESTRE M., A. Obtenga ingresos adicionales al intercalar frijol en siembras nuevas de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 219: 1-4. 1995. (a).
- MORENO B., A.M.; POSADA S., H.E.; MESTRE M., A. Obtenga ingresos adicionales al intercalar maíz en siembras nuevas de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 220: 1-4. 1995. (b).
- MORENO R., L.G.; TORRES N., C.; CORTINA G., H.A.; ALVARADO A., G. Efecto de la "flor estrella" sobre la producción en genotipos de café. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos, 6. Villavicencio, Julio 14-16, 1999. Memorias. Villavicencio, Universidad de los Llanos, 1999. p. 36.
- MORTENSEN, A. D.; COBLE, D. A. Economic threshold for weeds management. In: HIGLEY, L.G.; PEDIGO, L.P. Economic thresholds for integrated pest management. Nebraska, University of Nebraska Press, 1997. p. 89-113.
- MUSCHLER, R.G. Árboles en cafetales. Turrialba, CATIE, 2000. 139 p. (Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. Módulo No. 5).
- NAIR, P.K.R. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. 499 p.
- NAIR, P. K. R. Agroforestry defined. In: NAIR, P. K. R. Ed. Agroforestry systems in the tropics. Netherlands: Kluwer Academy Publishers, 1989. p. 13-20.
- NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3 (2): 97-128. 1985
- NAIR, P.K.R. Agroforestry species: a crop sheets manual. Nairobi, ICRAF, 1980. 326 p.
- NATIONAL FOOD SAFETY PROGRAMME - NFS. ESTADOS UNIDOS. Coffee quality and safety manual. Estados Unidos, NFS, 2004. 52 p.
- NAVAS A., A.; POSADA S., H. E.; PÉREZ B., J. C.; Variedades de maíz para la zona cafetera ICA V305, ICA v354. Bogotá, ICA - Fenalce - Cenicafé, 1993. 2p.
- NEILD, S.A.; WOOD, C. J. Estimating stem and root-anchorage flexibility in trees. *Tree Physiology* 19:141-151. 1999.
- NICHOLAS, I.D. Plantings in tropical and subtropical Areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 22-23:465-482. 1988.
- NICOLL B.,C.; RAY D. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology* 16: 891-898. 1996.
- NIÑO DE Z., A.; MIRANDA L., M.. BPA como mecanismo de internalización de externalidades. Santiago de Chile, Fundación Chile y Subsecretaría de Agricultura, Gobierno de Chile, Subsecretaría de Agricultura, 2004. 48 p.
- NJOROGE, J.M. Weeds and weed control in coffee. *Experimental Agriculture* 30 (4): 421-429. 1994a.
- NJOROGE, J.M. Advisory notes on management of resistant weeds coffee, Kenya. *Kenya Coffee* 51: 1821 - 1823. 1994b.
- NJOROGE, J.M.; MWAKHA, E. Staircase pruning system in high density Arabica coffee. *Kenya Coffee* 53(623):417-422. 1988.
- NJOROGE, J.M.; MWAKHA, E. Observations on the effects of weeding and cover crops on coffee yield and quality. *Kenya Coffee* 48(569):219-224.1983.
- NOGUERA M., A. Colombia bajo la sombra de sus árboles. Bogotá, CONIF, 1982. 158 p.
- NUTMAN, F.J. The root system of *Coffea arabica* L. I. Root system in typical soil of British East Africa. *Journal of Experimental Agriculture* 1: 271-284. 1933.
- OERKE, E. C.; DEHNE, H. W.; SCHONBECK, F; WEBER, A. Crop production and crop protection. Estimated losses in major food and cash crops. Amsterdam, Elsevier, 1994. 808 p.
- OKAFOR L., ZITTA C. The influence of nitrogen on sorghum-weed competition in the tropics. *Tropical Pest Management* 37: 138-143. 1991
- OLIVER L.; PÉREZ C., M. E.; BERMÚDEZ DE C., F. Degradación de la hojarasca de un pastizal oligotrófico mediterráneo del centro de la Península Ibérica. *Anales de Biología* 24:21-32. 2002
- OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G. Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes de granos de café *Coffea arabica* variedad Caturra. *Cenicafé* 36 (1): 22-39. 1985.
- ONG, C.K.; HUXLEY, P. Tree-crop interactions. A physiological approach. Wallingford, CAB International, 1996. 386 p.
- OPARA N., A.; LAL R. Influence of method of mulch application on growth and yield of tropical root crops in southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 9(3):217-230. 1987.
- ORGANIC MATERIALS REVIEW INSTITUTE - OMRI. List of Materials for NOSB Review. Crops Production Materials. November 02, 2006. On line Internet: www.omri.org. (consultado Noviembre de 2006)
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. ROMA. ITALIA. "Buenas prácticas de higiene en la cadena de café: Recurso para capacitación para los países productores de café". Roma. FAO. 2006. (CD - ROM).
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. ROMA. ITALIA. Las buenas prácticas agrícolas. Santiago de Chile, Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 2004 a. 49 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. ROMA. ITALIA. Las buenas prácticas agrícolas (BPA), En búsqueda de la sostenibilidad, competitividad y seguridad alimentaria; Conferencia Electrónica, 19 de julio - 9 de agosto de 2004. Santiago de Chile, Oficina Regional de la FAO para América y el Caribe, 2004b. 63 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. ROMA. ITALIA. Report of the expert consultation on a Good Agricultural Practices (GAP). Rome, FAO. Agriculture Department Report, 2003a. 28 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. ROMA. ITALIA. Elaboración de un marco para las buenas prácticas agrícolas. Roma, FAO. Comité de Agricultura, 2003b. 9 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Codex Alimentarius. Directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente. Roma (Italia), FAO. 1999. 23 p.
- ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICALES - OTS. SAN JOSE. COSTA RICA. Sistemas agroforestales; principios y aplicación en los trópicos. San José, OTS - CATIE, 1986. 817 p.
- OROZCO C., F.J. Estudio genético del carácter erecta en plantas de la variedad Caturra *C. arabica* L. *Cenicafé* 28:75-81. 1977.
- OROZCO C., F.J. ; JARAMILLO R., A. Efecto del déficit de humedad en el suelo sobre la temperatura del suelo y de las hojas en plantas de *Coffea canephora* y *C. arabica*. *Cenicafé* 29(4): 121-134. 1978.
- OROZCO C., F.J.; JARAMILLO R., A.: Comportamiento de introducciones de *Coffea* sometidas a condiciones de déficit de humedad en el suelo. *Cenicafé*. 29 (3): 61-93. 1978.

- OSORIO B., J.; CASTILLO Z., J. Influencia del tamaño de la semilla en el crecimiento de las plántulas de café. *Cenicafé* 20:20-40. 1969.
- OSPINA O., H.F. Análisis de la factibilidad financiera, económica y social del sistema de siembra de frijol intercalado con café con zoqueo en el municipio de Restrepo (Valle del Cauca) y en la zona cafetera colombiana. Cali, Universidad del Valle. División de Ingeniería, 1986. 120 p. (Tesis: Magister Scientiae).
- PAPENDICK, R.I.; ELLIOT, L.F. Soil physical factors that affect plant health. In: Kommedahl, T.; Williams, P.H. (Eds.). *Challenging problems in plant health*. St. Paul, APS, 1983. p. 168-179
- PARK, S. E.; BENJAMIN, L. R.; WATKINSON, A. R. The theory and application of plant competition models: An agronomic perspective. *Annals of Botany* 92: 741-748, 2003
- PARKER, C.; FRYER, J.D. Problemas que presenta el control de malezas, que causan reducciones importantes en los abastecimientos mundiales de alimentos. *Boletín Fitosanitario de la FAO* 23:83-95. 1975.
- PARRA H., J. Propiedades del compost. In: CURSO de Información sobre Café y otras Empresas Vinculadas a esta Industria. Chinchiná (Colombia), *Cenicafé*, 1968. 6 p.
- PAVLYCHENKO, T. K.; HARRINGTON, J. B. Competitive efficiency of weeds and cereal crops. *Canadian Journal of Research* 10: 77-94. 1934.
- PÉREZ S., V.M.; HILJE Q., I. Guía práctica del cultivo del café. 4. La poda del cafeto. San José, CAFESA, 1981. 38 p. (Circular Técnica No. 80)
- PERFECTO, I.; RICE, R.A.; GREENBERG, R.; VAN DER VOORT, M.E. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience Reports* 46(8):598-608. 1996.
- POISSON, J. Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert. In: Colloque Scientifique International sur le Café, 8. Abidjan, November 28 - Décembre 3, 1977. Paris, ASIC, 1977. p. 33-57.
- PONTE, S. Estándares y sostenibilidad en el sector cafetero: una aproximación global a la cadena de valor. *Ensayos sobre Economía Cafetera* 17 (20):31-83. 2004.
- PONTE, S. Estándares, comercio y equidad: lecciones de la industria de los cafés especiales. *Ensayos sobre Economía Cafetera* 16(19): 131-163. 2003
- POSADA S., H.E. Investigación y fomento del cultivo del frijol en la zona cafetera colombiana. Chiclayo, 1993. 70 p.
- POSADA S., H.E. Seminario técnico línea frijol PVA -916. Bogotá, FNC. Departamento Técnico, 1991. 9 p.
- POSADA S., H. E.; KORNEGAY, J. Variedades de frijol para la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 222: 1-4. 1995.
- PRIMAVESI A. Manejo ecológico del suelo 5. ed. Buenos Aires, "El Ateneo" Pedro García S.A., 1984. 499 p.
- PUERTA Q., G.I. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Cenicafé* 51(2):136-150. 2000
- PUERTA Q., G.I.; QUICENO O., A.; ZULUAGA V., J. La calidad del café verde: composición, proceso y análisis. Chinchiná, *Cenicafé*, 1988. 251 p.
- QUEVEDO P., H. Características físicas, químicas y taxonómicas de los suelos de la zona cafetera. Bogotá, FNC, 1986. 24 p.
- QUINTERO H., M. Determinación del poder germinativo de semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Borbón) bajo diferentes pruebas. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1968. 41p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- RADOSEVICH, S. R. Methods to study interactions among crops and weeds. *Weed Technology* 1: 190-198. 1987.
- RAINFOREST ALLIANCE. NEW YORK. ESTADOS UNIDOS. Estándares para agricultura sostenible. Módulo de estándares adicionales para café. Certificación Rainforest Alliance, Versión 2004. Red de Agricultura Sostenible, 2004. 41 p.
- RAINFOREST ALLIANCE. SAN JOSE. COSTA RICA. Estándares para agricultura sostenible. Módulo de estándares adicionales para café. Certificación Rainforest Alliance, Versión 2004. Red de Agricultura Sostenible. San José, 2004. 41 p.
- RAMÍREZ, E.; CARO, J. C. Estudio de caracterización en el sistema agroalimentario: Lecciones de experiencia y efectos sobre competitividad. Santiago de Chile, RIMISP, 2005. 17 p.
- RAMÍREZ, L.F.; SILVA, G.; VALENZUELA, L.C.; VILLEGAS, A.; VILLEGAS, L.C. El café, capital social estratégico; informe final Comisión de Ajuste de la Institucionalidad Cafetera. Bogotá, FNC, 2002. 173 p.
- RAMÍREZ M., L.G. Producción de café bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de Poró. In: SIMPOSIO sobre Caficultura Latinoamericana, 16. Managua, Octubre 25-29, 1993. Ponencias. Tegucigalpa, CONCAFE-IICA, 1995. V. 2. p. v.
- RAMÍREZ R., J.E. Poda y manejo de *Coffea arabica* L. San José, Instituto del Café de Costa Rica -ICAFE. Centro de Investigaciones en Café -CICAFE, 1997. 60 p.
- RAMÍREZ R., J.E. Estudio de sistemas de poda de café por hileras y por lotes. *Agronomía Costarricense* 20 (2):167-172. 1996.
- RAMÍREZ R., J.E. Sistemas y edades de inicio de la poda de cafetos (*Coffea arabica*) var. Catuai. *Agronomía Costarricense* 18(1):61-65. 1994.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biology of plants*. 6. ed. New York, Freeman Publishers Co., 1999. 944 p.
- RENA, A.B.; NACIF, A. DE P.; GUIMARAES, P.T.G.; PEREIRA, A.A. Poda do cafeeiro: Aspectos morfológicos, ecofisiológicos e agronômicos. *Informe Agropecuario* 19(193):71-80. 1998.
- RENA, A.B.; NACIF, P.A.; GUIMARAES, G.P.T.; BARTHOLO, G.F. Plantios adensados de café: aspectos morfológicos, ecofisiológicos e agronômicos. *Informe Agropecuario* 19(193): 61-70.1998.
- RESTREPO DE F., M.; RIVERA P., J.H. Estudio sobre la diversidad de la flora arvense asociada a la zona cafetera colombiana. Chinchiná, *Cenicafé*, 1993. 23 p.
- RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. *Cenicafé* 55(4):265-276. 2004.
- RICE, E.L. *Allelopathy*. 2. ed. Orlando, Academic Press, 1984. 422 p.
- RICE, R. A.; WARD, J. R. El café, la conservación ambiental y el comercio en el hemisferio occidental. Washington, Smithsonian Institution - SMBC. Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales - NRDC, 1997. 51 p.
- RITCHIE, T.J. Specifications for the ideal model for predicting crop yields. In: Muchow, R.S.; Bellamy, J.A. (Eds.). *Climate risk in crop production: models and management for semiarid tropics and subtropics*. Wallingford, CAB, 1991. p. 97-122.
- RIVERA P., J.H. El selector de arvenses modificado. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 271:1-4. 2000.
- RIVERA P., J. H. Arvenses y su interferencia en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 237:1-8. 1997.

- RIVERA P., J.H. Construya su equipo para aplicación racional de herbicidas y establezca coberturas "nobles" en su cafetal. Avances Técnicos Cenicafé No. 206:1-8. 1994.
- ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ÁLVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 273 p
- ROMIJN, M.; WILDERINK, E. Fuelwood yield from coffee prunings in the Turrialba Valley. Turrialba, CATIE, 1981. p. 53-71.
- ROWLAND D.D., REYNOLDS D.B. Jr., BLACKLEY R. H. Jr. Corn and cotton response to drift rates of non-desired herbicide applications. Proc. South. Weed Science Society 52:30. 1999.
- SADEGHIAN K., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. Cenicafé 54 (3):242-257. 2003.
- SADEGHIAN K., S.; DUQUE O., H. Análisis de suelos: importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. Avances Técnicos Cenicafé No. 308:1-8. 2003.
- SAEKI, T. Light relations in plant communities. In: Evans, L. Environmental control of plant growth. New York, Academic Press, 1993. p. 79-94
- SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S.; AMEZQUITA C., E. Densidad aparente en dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto. Cenicafé 55(4):330-340. 2004.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Concentración óptima de glifosato aplicado con selector de arvenses en cultivos de café y efecto de una lluvia simulada sobre la efectividad su control. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, 33. Montería, Abril 8-12, 2003. Memorias. Montería, COMALFI, 2003. p. 126-127.
- SALAZAR A., J.N. Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. Cenicafé 47(3):115-120. 1996.
- SALAZAR A., J.N. Efecto del tamaño de bolsa sobre el desarrollo de "colinos" de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 170:1-4. 1991.
- SALAZAR A., J.N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 178:1-2. 1992.
- SALAZAR A., J.N. Sistemas de siembra del café en almácigo. Avances Técnicos Cenicafé No. 92:1-4. 1979.
- SALAZAR A., J.N. Respuestas de plántulas de café a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. Cenicafé 28:61-65. 1977.
- SALAZAR A., J.N. Efectos de la intensidad de la desyerba sobre la producción de café. Chinchiná, Cenicafé, 1975. 2 p. (Seminario).
- SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. El uso de la cenichaza como abono orgánico para almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 162:1-2. 1991.
- SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 148:1-2. 1990.
- SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Efecto de la distancia de siembra sobre la producción de *Coffea arabica* Var. Borbón. Cenicafé 28(1):27-35. 1977.
- SALAZAR A., J.N.; MONTESINO S., J.T. Uso del estiércol de ganado como sustrato en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 207:1-4. 1994.
- SALAZAR A., N.; OROZCO C., F.J.; CLAVIJO P., J. Características morfológicas, productivas y componentes del rendimiento de dos variedades de café: Colombia y Caturra. Cenicafe 39(2):41-63. 1989.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 333:1-8. 2005.
- SALAZAR G., L.F.; RIVERA P., J.H. Efecto de la interferencia y el manejo integrado de arvenses sobre el desarrollo del cultivo del café. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, 33. Montería, Abril 8-12, 2003. Memorias. Montería, COMALFI, 2003. p. 118-119.
- SALAZAR G., L.F.; RIVERA P., J.H. Interferencia de arvenses en el desarrollo de cafetos en estado de levante. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, 32. Santa Marta, Marzo 20-22, 2002. Memorias. Santa Marta, COMALFI, 2002. p. 16-17.
- SALAZAR G., L.F.; RIVERA P., J.H. Evaluaciones para incrementar la eficiencia del selector de arvenses. Chinchiná, Cenicafé, 2001. 18 p.
- SLOB, B.; OLDENZIEL, S. AMSTERDAM (HOL). Coffee and codes. Overview of codes of conduct an ethical trade initiatives in the coffee sector. Amsterdam (Holanda), 2003. 27 p.
- SALAZAR G., M. R.; ARCILA P., J.; RIAÑO H., N.M.; BUSTILLO P., A. Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca. Avances Técnicos Cenicafé No. 194:1-4. 1993.
- SALAZAR G., M. R.; CHAVES C., B.; RIAÑO H., N. M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* L var. Colombia. Cenicafé 45(2):41-50. 1994.
- SALAZAR G., M.R.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; PONCE D., C.A. Estudio morfológico, anatómico y ultraestructural del fruto de café, *Coffea arabica* L. Cenicafé 45(3):93-105. 1994.
- SÁNCHEZ L., J. A. La Agroforestería y el desarrollo sostenible. San Pedro Sula, Fundación Hondureña de investigación Agrícola - FHIA. Programa de Cacao y Agroforestería, 2003. 19 p.
- SANTINATO, R. 1989. Adubacao foliar para o cafeeiro. Cafeicultura Moderna, Brasil, Año 2 N°6, p 30-36.
- SANTOS V., J.C.; ZALDIVAR, R.; ORDOÑEZ, M. Morfología del sistema radical de plántulas de cafeto en vivero, con diferentes intensidades de poda en la raíz principal. In: SEMINARIO de Investigación y Transferencia de Tecnología en Caficultura, 5. Tegucigalpa, Agosto de 1992. Tegucigalpa, IHCAFE, 1992.
- SARIYILDIZ, T. J. Litter Decomposition of *Picea orientalis*, *Pinus sylvestris* and *Castanea sativa* Trees Grown in Artvin in Relation to Their Initial Litter Quality Variables. Turkish journal of agriculture and forestry (27):237-243. 2003.
- SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M. R. L.; BARRO, E.; MACÊDO, J. L. V. Plant-soil interactions in multiestrata agroforestry systems in de humic tropics. Agroforestry Systems 53(2):85-102. 2001.
- SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO. MINAS GERAIS. BRASIL. Sistema de Informações do Agronegócio de Minas Gerais. On line Internet. Disponible en: <http://www.agridata.mg.gov.br/> (Consultado en Enero de 2004)
- SIEBER, S.F. From shade- to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility. Biodiversity and Conservation 11(11):1889-1902. 2002.
- SIERRA G., F.; FERNÁNDEZ Q., F.; ROA M., G.; ARCILA P., J. Evaluación de la pérdida de calidad de la semilla de café durante su beneficio. Cenicafé 41(3):69-79. 1990.
- SIVETZ, M. The coffee plant; this evergreen plant needs shade, moisture. Tea and Coffee Trade Journal 141(5):16-17, 25-26, 30-33. 1971.
- SLOB B.; OLDENZIEL J. Coffee and codes. Overview of codes of conduct and ethical trade initiatives in the coffee sector. Amsterdam, SOMO, 2003. 27 p.

- SMITHSONIAN MIGRATORY BIRD CENTER. WASHINGTON. ESTADOS UNIDOS. Normas para la producción, el procesamiento y la comercialización de café "Bird Friendly®", certificado orgánico bajo sombra. In: taller "Café Bajo Sombra". Bucaramanga, Enero 24 al 26, 2001. Memorias. 19 p.
- SNOECK, D. Simulation de la croissance de cinq cultivars *Coffea arabica* L. Par l'analyse des cimes. Café Cacao Thé 35 (3) : 77-190. 1991.
- SOMARRIBA, E. Investigación agroforestal del proyecto UNU/CATIE 1979-1987. Turrialba, CATIE, 1987. 130 p.
- SONDAHL, M.R.; CROCOMO, O.J.; SOPEK, L. Measurements of 14C incorporation by illuminated intact leaves of coffee plants from gas mixtures containing 14CO₂. Journal of Experimental Botany 27(101): 1187-1195. 1976.
- SOTO P., L.; PERFECTO, I.; CASTILLO H., J.; CABALLERO N., J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. Agriculture Ecosystems and Environment 80:61-69. 2000.
- SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. On line Internet: www.scaa.org. (Consultado Diciembre de 2004)
- SPEEDING, C. R. W. An introduction to agricultural systems. 2. ed. London, Elsevier Applied Science, 1988. 189 p.
- STARBUCKS COFFEE COMPANY. SCIENTIFIC CERTIFICATION SYSTEMS (SCS). SEATTLE, ESTADOS UNIDOS. Lineamientos generales de evaluación de C.A.F.E. Practices. Seattle, Starbucks, 2004. 27 p.
- STARBUCKS COFFEE COMPANY. SCIENTIFIC CERTIFICATION SYSTEMS (SCS). SEATTLE. ESTADOS UNIDOS. C.A.F.E. Practices. Manual de autoevaluación; programa de proveedor preferido. Seattle, Starbucks, 2004. 19 p.
- STOKES, A. Strain distribution during anchorage failure of *Pinus pinaster* Ait. at different ages and tree growth response to wind-induced root movement. Plant and Soil 217: 17-27. 1999
- STRAUCH, M.E; MESTRE M., A. Influencia de algunas prácticas sobre la brotación en la renovación por recepa o zoqueo del cafeto. Cenicafé 23(3):63-72. 1972.
- SUÁREZ de C., F. Distribución de las raíces del cafeto *Coffea arabica* L. en suelo de El Salvador. El Café de El Salvador 30: 421-449. 1960.
- SUÁREZ de C., F. Cuando crecen los cafetos. Revista Cafetera de Colombia 14 (134): 39-42. 1958.
- SUÁREZ de C., F. Distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso. Boletín Técnico Cenicafé 1(12): 5-28. 1953.
- SUÁREZ de C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Relaciones entre el crecimiento del cafeto y algunos factores climáticos. Boletín Técnico Cenicafé 2(16): 1-31. 1956.
- SUÁREZ V., S. La atmósfera del suelo y la productividad del café. Avances Técnicos Cenicafé No. 293:1-4. 2001.
- SUÁREZ V., S. La materia orgánica en la nutrición del café y el mejoramiento de los suelos de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé No. 283:1-8. 2001.
- SUÁREZ V., S. Características físicas de los suelos de la zona cafetera colombiana, relacionadas con el uso, manejo y conservación. In: Simposio sobre Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. Chinchiná, Julio 24-28, 2000. Ponencias. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 17 p.
- SUÁREZ V., S.; CABALLERO R., A.; CHAVARRIAGA G., J. ; QUEVEDO P., H. Caracterización física y manejo de algunos suelos de la zona cafetera Colombiana. Suelos Ecuatoriales. 14:236-243. 1984.
- SUÁREZ, J. V. Influencia de la precipitación en el crecimiento del fruto de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 89: 1-4. 1979.
- SUÁREZ, V. S. Suelos pesados de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé N° 71:1-4. 1977.
- SWIETLIK, D.; FAUST, M. Foliar nutrition of fruit crops. Horticultural Reviews 6:287-355. 1984.
- SYLVAIN, P.G. Les innovations agro-techniques en caféiculture. In: Colloque Scientifique Internationale sur le Café, 8. Abidjan, Novembre 28 - Décembre 3, 1977. Paris, ASIC, 1977. p. 427-438.
- SYLVAIN, P.G. El cafeto en relación al agua. I: El balance hídrico. In: Curso Internacional sobre Técnica de la Producción del Café. Turrialba , IICA, 1958. p. 1-8.
- TABARES M., E. Seguimiento y evaluación sobre la aplicación de herbicidas en áreas cafeteras de los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. Manizales, Universidad Autónoma de Manizales, 1989. 203 p. (Tesis: Posgrado en Economía Cafetera).
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. 3. ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2002. 690 p.
- TAKAKI, M.; DIETRICH, S.M.C. Effect of gibberellic acid on peroxidase from coffee seeds during germination. Hoehnea 8:29-33.1979
- TERRY, P.J. Efficacy of glyphosate for weed control in the tropics and sub-tropics. In: GROSSBARD, E; ATKINSON, D. (Eds.). The herbicide glyphosate. Londres, Butter Worth and Co. Plublisers, 1985. p. 375-401.
- TINNEY, W F.; AAMODT, S O.; AHLGREN, L H. Preliminary report of a study on methods used in botanical analyses of pasture swards. Journal of the American Society of Agronomy 29 (10):835-840. 1937.
- TORO M., J.L. Arboles y arbustos del Parque Regional Arví. Medellín, CORANTIOQUIA, 2000. 281 p.
- TORQUEBAU, E. Conceptos de agroforestería: una introducción. Chapingo, Universidad Autónoma Chapingo, 1993. 89 p.
- TRIANA B., J.V. Informe preliminar sobre un estudio de "modalidades de cultivo del cafeto". Cenicafé 8(5):156-168. 1957.
- TRIANA B., J.V. Anotaciones sobre el café Borbón en Colombia. Cenicafé 6(62):58-67. 1955.
- TROJER, H. The phenological equator for coffee planting in Colombia. In: Agroclimatological Methods. Proceedings of the Reading Symposium. Paris, UNESCO, 1968. Vol 7. p 107-117.
- UNIÓN EUROPEA. Reglamento (CEE) No. 2092/91, del Consejo de 24 de junio de 1991; sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. (DO L 198, 22.7.1991, p.1). Compilación no oficial. Actualizado en diciembre de 2004. Madrid, Enero de 2005. 54 p.
- UPEGUI L., G.; VALENCIA A., G. Anticipación de la maduración de la cosecha de café, con aplicaciones de Ethrel. Cenicafé 23(1):19-26. 1972.
- URBANO T., P.. Tratado de Fitotecnia general. 2. ed. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1995. 895 p.
- URIBE H., A. Constantes físicas y factores de conversión en café. Avances Técnicos Cenicafé No.65:1-3.1977.
- URIBE H., A. Zoqueo de cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 66:1-4. 1977.
- URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto de la distancia de siembra y del número de plantas por hoyo sobre la producción de café *Coffea arabica* L. var. Caturra. Cenicafé 39(1):15-27. 1988.
- URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto de la gallinaza como abono en almácigos de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Chinchiná. Colombia. Informe Anual de Labores de la Sección Café 1979 - 1980. Chinchiná, Cenicafé, 1980. p. 88-90.

- URIBE H., A.; MESTRE M., A. Edad de trasplante del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé No. 75:1-4. 1978.
- URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. Cenicafé 27(4):158-173. 1976.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Época de fertilización de las zocas de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 117:1-4. 1984.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. Cenicafé 34(2):44-58. 1983.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Efecto de los elementos menores en la producción de café. Cenicafé 32 (4):122-142. 1981.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Distancias de siembra y dosis de fertilizante en la producción de café. Cenicafé 32(3):88-105. 1981.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Herramientas para el zoqueo de cafetales. Avances Técnicos Cenicafé N°. 61:1-4 1976.
- URREGO, B.; FARFÁN V., F. Aportes de hojarasca en cafetales con sombrío de especies forestales. Cali, Smurfit. Cartón de Colombia, 2002. (Informe de Investigación No. 188).
- URREGO, J.B.; FARFÁN V., F. Dinámica nutricional del sistema café - árboles forestales en Colombia. In: SIMPOSIO sobre Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. Chinchiná (Colombia), Julio 24-28, 2000. Ponencias. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2000. 15 p.
- UTZ KAPEH FOUNDATION. AMSTERDAM. HOLANDA. Utz Kapeh Código de Conducta Versión 2006 rev.01. Amsterdam, 2006. 37 p.
- UTZ KAPEH FOUNDATION. Code of Conduct. Version 2006. 36 p. On line Internet. <http://www.utzkapeh.org/index.php?pageID=114> (Consultado Octubre de 2006).
- UTZ KAPEH FOUNDATION. AMSTERDAM. HOLANDA. Utz Kapeh code of conduct. Version 2004. Amsterdam, 2004. 13 p.
- VALENCIA A., G. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, Cenicafé-Agroinsumos del Café, 1999. 94 p.
- VALENCIA A., G. Fertilización de los cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 175:1-6. 1992.
- VALENCIA A., G. Química y fertilidad de los andisoles de la zona cafetera (Colombia). Suelos Ecuatoriales 22 (1):69-75. 1992.
- VALENCIA A., G. Efecto del tipo de fertilización potásica en el crecimiento y en la producción del cafeto. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1991.15 p (documento interno).
- VALENCIA A., G. Degradación química y encalado de suelos. Cenicafé 40 (2):54-62. 1989.
- VALENCIA A., G. Niveles adecuados de nutrimentos en suelos y en hojas para varios cultivos. Avances Técnicos Cenicafé No. 130:1-4. 1986.
- VALENCIA A., G. Efecto del biuret sobre el cafeto. Avances Técnicos Cenicafé No.103:1-3. 1983.
- VALENCIA A.,G. Sección de Fito fisiología Centro Nacional de Investigaciones de café, Cenicafé. Informe Anual de labores 1979-1980.
- VALENCIA A., G. El "Paloteo" del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé No. 82:1-2. 1978.
- VALENCIA A., G. Fertilización foliar en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 49:1-2 1975.
- VALENCIA A., G. El área foliar y la productividad del cafeto. Cenicafé 24(4):79-89. 1973.
- VALENCIA A., G. Factores que inciden en la formación de granos negros y caída de frutos verdes de café. Cenicafé 24(2):47-55. 1973.
- VALENCIA A., G. Deficiencias minerales en el cafeto y la manera de corregirlas. Boletín Técnico Cenicafé No. 1:1-16. 1973.
- VALENCIA A.,G. Relaciones entre el índice de área foliar (IAF) y la productividad del cafeto. Cenicafé 24(4):79-89. 1973.
- VALENCIA A., G. Utilización de la pulpa de café en los almácigos. Avances Técnicos Cenicafé No.17:1-2. 1972.
- VALENCIA A., G. Tratamientos para acelerar la germinación de la semilla de café. Revista Cafetera de Colombia. 19(146):55-59. 1970.
- VALENCIA A., G. La deficiencia de Boro en el cafeto y su control. Cenicafé 15 (3):115-125. 1964.
- VALENCIA A., G.; ARCILA P., J. Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. Cenicafé 28(4):119-138. 1977.
- VALENCIA A., G.; ARCILA P., J. Secamiento y caída de frutos tiernos de café. Cenicafé Avances Técnicos No. 40:1-2.1975.
- VALENCIA A., G.; ARCILA P., J. Toxicidad por Boro en el cafeto. Avances Técnicos Cenicafé No.45:1-2. 1975.
- VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I.F. Uso de fertilizantes simples en cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 149:1-6. 1990.
- VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I.F. Interpretación de análisis de suelos para café. Avances Técnicos Cenicafé No. 115:1-5. 1983.
- VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I.F.; ESTRADA H., L.I. La fertilización en la caficultura moderna colombiana. Suelos Ecuatoriales 20(1):77-85. 1990.
- VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I.F.; ESTRADA H., L.I. La fertilización del cafetal según el análisis del suelo. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Chinchiná. Colombia. 50 años de Cenicafé 1938-1988; conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1989. p. 97-104.
- VALENCIA A., G.; GÓMEZ A., A.; BRAVO G., E. Efecto de diferentes portadores de nitrógeno en el desarrollo del cafeto y en la fertilidad de los suelos. Cenicafé 26 (3):131-142. 1975.
- VALENCIA A., G.; MESTRE M., A.; DURÁN G., M. Respuesta a la aplicación de boro y zinc en un cafetal de Fredonia (Antioquia). Cenicafé 19 (3):95-101. 1968.
- VALENCIA A., G.; SALAZAR A., J.N. La materia orgánica y su importancia en el cultivo del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 16:1-24. 1993.
- VALIO, I.F.M. Inhibition of germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. c.v. Mundo Novo) by the endocarp. Journal of Seed Technology 5:32-39. 1980.
- VALVERDE, B.E.; RICHIES, C.R.; CASELEY, J.C. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: Experiencias en América Central con Echinochloa colona. Cartago, Ed. Grafos S.A., 2000. 135 p.
- VAN NOORDWIJK, M.; HAIRIAH, K. URNIATUN. Tree-soil-crop interactions. Bogor, International Centre for Research in Agroforestry -ICRAF, 2000. 12 p. (Lecture Note 2).
- VANDERMEER, J. The ecology of intercropping. Cambridge, Cambridge University Press, 1989. 237p.
- VANEGAS, H.; POLANIA, F. El maíz: una opción tecnológica y económicamente viable dentro del programa de renovación de cafetales para una productividad sostenible. Bogotá, Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. - FENALCE, 2002. (Boletín Informativo de la Subgerencia Técnica. TECNI - FENALCE No. 3).
- VARGAS, W.G. Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y

- los Andes centrales. Manizales, Universidad de Caldas, 2002. 813 p.
- VAZ, J.T. Sombreamento e fertilizacao do cafezal. *Gazeta Agrícola de Angola (Angola)* 12(2):100-103. 1967.
- VELASCO, J.R.; GUTIÉRREZ, J. Germination and its inhibition in coffee. *Philippine Journal of Science* 103:1-11. 1974.
- VELÁSQUEZ, G. P.; ARCILA P., J. El disturbio de la raíz bifurcada en plántulas de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 321:1-8. 2004.
- VELÁSQUEZ, G. P.; ARCILA P., J.; ARISTIZÁBAL L., M. Relación entre el proceso de beneficio de la semilla de café *Coffea arabica* var. Colombia y el disturbio de la raíz bifurcada. *Cenicafé* 54(4):316-328. 2003.
- VICENTE C., J.; BONETA G., E.G.; ABRUÑA, F.; FIGARELLA, J. Effects of clean and strip cultivation, and of mulching with grass, coffee pulp, and black plastic, on fields of intensively managed coffee in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 53(2):124-131. 1969.
- VIETO, J. El café sostenible en América Latina. Situación actual y tendencias. Foro Internacional, PROMEX, Centro de Inteligencia de Mercados - CIMS. Lima, Noviembre de 2003. 34 p.
- VILLA N., N.A.; FAVARIN, J.L.; ÁNGELOCCI, L.R.; DOURADO NETO, D. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do cafeiro em funcao de variaveis climatologicas e fitotecnicas. *Bragantia* 61(1):81-88. 2002.
- VILLALOBOS, A. An analysis of the Latin America supply of sustainable coffee. Executive summary. Alajuela, Centro de Inteligencia de Mercados - CIMS. 2004. 12 p.
- WADSWORTH, F. H. Forest production for tropical America. Washington, U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture, 1997. 563 p. (Handbook No. 710).
- WATSON, D. J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. *Annals of Botany* 22 (85):37-54.1958.
- WATTS, P.G. Growth phases in plants and their bearing on agronomy. *Experimental Agriculture* 15: 15-26. 1979.
- WEAVER, J.E.; CLEMENTS, F.E. Ecología vegetal. Buenos Aires, Acme, 1944. 667 p.
- WELLMAN, F.L. ; TOOLE, V.K. Coffee seed germination as affected by species, diseases, temperature and chemicals. diseases, and temperature. In: Annual Meeting of the American Society for Horticultural Science; Caribbean Region, 8. Puerto Rico, May 29 - June 4, 1960. Proceedings. p. 1-6.
- WILKINSON, K.M.; ELEVITCH, C.R. Integrating understory crops with tree crops. An Introductory Guide Pacific Island. Permanent Agriculture Resources. Holualoa, Hawaii, 2000. p. 4. (Agroforestry Guides for Pacific Islands No. 4).
- WILKINSON, K.M.; ELEVITCH, C.R.; THAMAN, R.R. Choosing timber species for Pacific Island agroforestry. Permanent Agriculture Resources. Holualoa, Hawaii, 2000. p. 26. (Agroforestry Guides for Pacific Islands No. 6).
- WILLEY, R.W. Plant population and crop yield. In: Rechcigl Jr. M. CRC handbook of agricultural productivity. Boca Raton, CRC Press, 1994. p. 201-207
- WILLEY, R.W.; HEATH, S.B. The quantitative relationship between plant population and crop yield. *Advances in Agronomy* 21:281-321. 1969.
- WORMER, T.M.; GITUANJA, J. Floral initiation and flowering in *Coffea arabica* L. in Kenya. *Experimental Agriculture* 6: 157-170. 1970.
- WRUBEL, R.P.; GRESSEL, J. Are herbicide mixture useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. *Weed Technology* 8: 635 - 648. 1994.
- WYSE, D. L. New technologies and approaches for weed management in sustainable agriculture systems. *Weed Technology* 8:403-407. 1994.
- ZADOCKS, J.C. ; CHANG, T.T. ; KONZACK, C.F.. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421. 1974.
- ZIMBAWE COFFEE GROWERS ASSOCIATION. Coffee handbook. Harare, Canon Press Ltd., 1987. 182p.
- ZIMDAHL, R. L. Weed crop competition; A review. Oregon, International Plant Protection Center, 1980. 196 p.
- ZIMDAHL, R. L. Fundamentals of weed science. San Diego, Academic Press, 450 p. 1993.