



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 sombra 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 sombrero 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

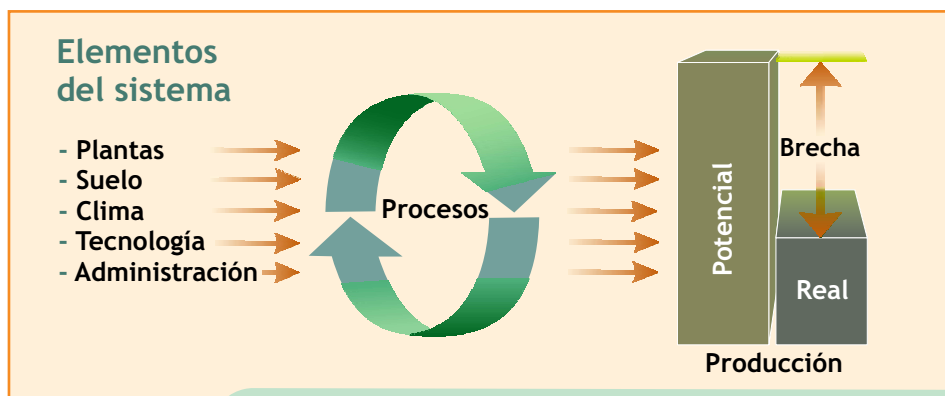


Figura 1.1. Relación entre algunos elementos de un sistema de producción agrícola y sus producciones potencial y real.

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.