



Manejo agronómico de los sistemas de producción de café



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

80 años de ciencia
para la Caficultura colombiana



**Manejo
agronómico
de los
sistemas de
producción
de café**



**80 años de ciencia
para la caficultura
colombiana**



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Comité Nacional

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Alberto Carrasquilla Barrera

**Ministro de Agricultura y Desarrollo
Rural**
Rodolfo Enrique Zea Navarro

**Ministro de Comercio, Industria y
Turismo**
José Manuel Restrepo Abondano

**Director del Departamento Nacional
de Planeación**
Luis Alberto Rodríguez Ospino

**Representante del Gobierno en
Asuntos Cafeteros**
Nicolás Pérez Marulanda

Período 1° enero/2019 - diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra (Antioquia)
José Alirio Barreto (Boyacá)
Eugenio Vélez Uribe (Caldas)
Danilo Reinando Vivas (Cauca)
Juan Camilo Villazón (Cesar-Guajira)
Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)
Ruber Bustos Ramírez (Huila)
Javier Mauricio Tovar (Magdalena)
Jesús Armando Benavides (Nariño)
Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)
Carlos Alberto Cardona (Quindío)
Luis Miguel Ramírez (Risaralda)
Héctor Santos Galvis (Santander)
Olivo Rodríguez Díaz (Tolima)
Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General
Roberto Vélez Vallejo

**Gerente Administrativo
y Financiero**
Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial
Juan Camilo Ramos

Gerente Técnico
Hernando Duque Orrego

**Director Investigación Científica y
Tecnológica**
Álvaro León Gaitán Bustamante

Comité Editorial Cenicafé

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina Vinasco
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos y corrección de estilo

Sandra Milena Marín L.
Ing. Agrónoma, Esp. M.Sc.

Diseño

Carmenza Bacca R.

Fotografías

Archivo Cenicafé

Impresión

ISBN 978-958-8490-40-3
ISBN 978-958-8490-44-1(En línea)
DOI 10.38141/cenbook-0002

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.

© FNC - Cenicafé - FoNC





Como citar:

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2020). *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0002>



Índice

6 Presentación

10 Introducción

14 Sistemas de producción: Conceptos y definiciones

¿Qué es un sistema?

¿Qué es un ecosistema?

¿Qué es un sistema de producción agrícola?

Sistemas de producción de café

Elementos de un sistema de producción

Relaciones Suelo – Planta – Clima de un sistema de producción con café

Factores determinantes de la productividad de un sistema de producción de café

Sistema de producción de café, productivo y rentable

34 Administración de sistemas de producción de café a libre exposición solar

Establecimiento de los sistemas de producción con café

Sistemas de renovación para estabilizar la productividad del cultivo en los ciclos de producción

Planificación de las labores de manejo agronómico en el cultivo de café

Administración de labores agronómicas en el cultivo de café con base en los períodos secos y húmedos, floraciones y patrones de cosecha en las regiones cafeteras de Colombia

73 Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales - SAF

Criterios de decisión para el establecimiento del cultivo en un sistema agroforestal o bajo sombra

Variedad de café a establecer en sistemas agroforestales

Densidad de siembra del café en SAF

Ciclos, sistemas y épocas de renovación del café en SAF

Administración de los árboles de sombra

Nutrición del café en sistemas agroforestales

Consideraciones generales

125 Las arvenses y su interferencia en los sistemas de producción de café

Interferencia de las arvenses

150 Manejo de arvenses en los sistemas de producción de café

Manejo Integrado de Arvenses (MIA)

Eficiencia de herbicidas pre-emergentes en la etapa de levante del cultivo de café

Criterios para el manejo de arvenses

en el establecimiento de sistemas agroforestales con café

Manejo integrado de arvenses en sistemas de producción de café con cultivos intercalados

180 Literatura citada

Presentación





La producción de café en Colombia tiene unas condiciones muy particulares que la hacen única en el mundo. Por un lado, está sometida continuamente a la presencia de lluvias durante todo el año, con ausencia de períodos secos prolongados, con una distribución espacial que define tres grandes zonas de producción, cada una con su propia idiosincrasia: norte, centro y sur, y una distribución temporal que lleva a una cosecha desuniforme y selectiva. De igual manera, la caficultura está basada en su gran mayoría en productores pequeños de menos de una hectárea y media de plantación, que generalmente viven en la misma finca donde cultivan el café, acompañado de otras especies vegetales, que le proveen sombrío, protegen el suelo y son fuente de alimentación o de servicios ecosistémicos, y que además enriquecen con muchas otras formas de vida a un microambiente diverso, estable y fundamental para la sostenibilidad. Finalmente, la ubicación de la caficultura en la cordillera de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta, con variaciones en altitud desde los 1.000 hasta los 2.200 metros, con combinaciones de pendientes, suelos, horas de brillo solar, humedades y temperaturas, resulta en una infinidad de ofertas ambientales en los lotes, que determinan el crecimiento y desarrollo de los cafetales, y eventualmente influyen en la taza misma de los cafés arábigos lavados, por los que somos reconocidos a nivel internacional.

En un cultivo semiperenne como el café es importante adecuar las condiciones de la planta, para que en esa diversidad de ofertas ambientales que ocurre en cada lote se obtenga la cantidad adecuada de luz, temperatura, agua y nutrientes, que favorezcan su productividad. Para el caficultor es necesario tomar decisiones agronómicas que van a tener efecto en

diversas escalas de tiempo, de meses hasta años, para regular esas variables con acciones que están bajo su control. Esa adaptación ambiental que se le debe proveer a la planta de café hace parte de las recomendaciones de la estrategia “Más Agronomía, Más productividad, Más Calidad” que la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros ha estado ejecutando con el Servicio de Extensión, soportados por la investigación científica de Cenicafe, entregándole herramientas a los productores para que efectivamente logren que la rentabilidad empiece desde la finca.

En este libro de Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café, los investigadores de las disciplinas de Fitotecnia y de Suelos de Cenicafe, acompañados de sus colegas, nos resumen los conocimientos generados en estos 80 años de trabajo del Centro, para ofrecer al Servicio de Extensión de la Federación y a los caficultores la información necesaria que ayude a orientar las labores y las decisiones que deben tomarse día a día en las diferentes regiones del país donde se quiere producir café de calidad, para conformar de esta manera unos sistemas de producción que aprovechen el potencial genético de las variedades mejoradas, y donde las prácticas agronómicas respondan con su mayor efectividad, promoviendo plantaciones resistentes, resilientes y rentables, que permitan asegurar la producción de café hacia el futuro.

Es así como en los contenidos del libro podremos ver cómo son los sistemas de producción de café, qué elementos los están conformando y qué factores son determinantes en la productividad de los mismos. Igualmente, encontraremos cómo puede llevarse a cabo de una

manera eficiente la administración tanto de sistemas de café a la libre exposición solar como de sistemas agroforestales, donde también se rompen mitos con respecto a la producción bajo sombra. Los autores incluyeron capítulos sobre las arvenses y cómo interfieren en los sistemas de producción de café, pero al mismo tiempo cómo puede realizarse un manejo integrado de esas arvenses, que no sólo aporta en la reducción de costos, sino en la conservación de los suelos en nuestro país, donde cultivar café en montaña, bajo una presencia constante de lluvia, conlleva un riesgo de erosión.

En estos momentos, cuando la humanidad sigue debatiendo el futuro del comportamiento del clima y su efecto en las sociedades, incluyendo el suministro de alimentos, la agricultura necesita más que nunca el desarrollo de los conceptos de sistemas de producción como una estrategia crucial para asegurar la producción en los cultivos de largo plazo, como es el café. Así mismo, los productores requieren tener certeza en sus decisiones para ser exitosos en el negocio, el mercado necesita ansioso que el suministro de materia prima sea sostenible, y los consumidores de todo el mundo esperan satisfacer sus necesidades cada vez más exigentes. Los sistemas de producción de café aplicados de la manera correcta han demostrado ser esa protección ante la variabilidad climática que se presenta en nuestro territorio, y han sido la herramienta que ha permitido enriquecer y mantener la biodiversidad de nuestras zonas cafeteras, de nuestras montañas y de todo lo que representa la caficultura en Colombia.

Álvaro León Gaitán B.

Director Cenicafe

Octubre de 2020





The background of the slide features a blurred green landscape on the left and a grey stone wall on the right. A horizontal green bar is positioned across the middle of the image, containing the text 'Introducción'.

Introducción



Un sistema de producción agrícola es una actividad dirigida a transformar componentes abióticos como el clima, por medio de componentes bióticos como las variedades de plantas combinando en el tiempo y en el espacio los factores de producción (tierra, mano de obra, capital, etc.), para obtener productos de importancia económica. De otra manera, un sistema de producción agrícola es un conjunto de actividades donde participan pequeños, medianos y grandes productores, los cuales organizan, dirigen y administran los sistemas con orientación a unos objetivos propuestos, empleando prácticas y tecnologías, de acuerdo a su medio físico, para obtener diferentes producciones. La agronomía 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.

El área cafetera colombiana se extiende desde la Sierra Nevada de Santa Marta en el Norte del país, hasta Nariño en el Sur; en esta área se consideran tres zonas cafeteras: La zona cafetera Norte ubicada por encima de los 7° de latitud Norte, la zona cafetera Central, entre los 3° y 7° de latitud Norte, y la zona cafetera Sur en latitudes inferiores a los 3° de latitud Norte. Las características heterogéneas de suelos y clima, con variaciones en los períodos secos y húmedos durante el año, definen diferentes sistemas de producción de café.

De acuerdo con la FNC (1993), en Colombia los sistemas de producción de café característicos son: (i) Sistema de producción a plena exposición solar, en el que el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea permanente, inferior a 20 árboles

por hectárea o inferior de 300 especies arbustivas semipermanentes; (ii) Sistema de producción con semisombra, en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea superior a 20 e inferior a 50 árboles por hectárea o cualquier especie arbustiva, con más de 300 y menos de 750 sitios por hectárea; (iii) Sistema de producción bajo sombra, en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente se debe a la presencia de cualquier especie arbórea permanente con densidad superior a 50 árboles por hectárea o cualquier especie arbustiva con más de 750 sitios por hectárea.

En los sistemas de producción de café a libre exposición solar o en sistemas agroforestales, se reconocen diferentes etapas relacionadas con el manejo agronómico del cultivo. Una vez germina la semilla, al obtener las chapolas, las nuevas plantas inician su crecimiento vegetativo formando nudos en el tallo, que promueven la extensión en altura, ramas primarias y nudos en las ramas, que originan la expansión lateral del árbol, acumulando la energía necesaria para el desarrollo de las estructuras responsables de la producción (flores), cuando se cumple el primer año de vida del cultivo.

Desde las etapas iniciales del cultivo, a través de las investigaciones desarrolladas en Cenicafé, se han considerado como principales recomendaciones, una correcta selección de la variedad, asegurar la calidad y procedencia de la semilla certificada de variedades resistentes a la roya del café y efectuar buenas prácticas para la construcción y manejo de los germinadores y almácigos de café, con el fin de obtener un material vegetal (colino) de excelente calidad.

Igualmente, a partir de los estudios de clima en las regiones cafeteras de Colombia

se tienen identificadas las épocas para hacer las siembras de café, con el menor riesgo de pérdida del material vegetal establecido, las épocas correctas para hacer renovaciones por medio de zocas y el momento en que deben aplicarse los fertilizantes con las dosis correspondientes a la necesidad, según el análisis de fertilidad de los suelos.

En cuanto a la elección de los sistemas de producción más adecuados y adaptados, los estudios desarrollados sobre sistemas agroforestales ofrecen alternativas de cultivo en condiciones con limitaciones por clima y suelos. Bajo estos sistemas los resultados más recientes demuestran una alta respuesta de la producción cuando se implementan las prácticas oportunas y adecuadas de manejo del cultivo.

Independiente del sistema de producción, si es establecido a libre exposición solar o en sistemas agroforestales, la densidad de siembra se destaca como uno de los factores determinantes de la productividad, ya que de esta decisión dependen otras labores asociadas al manejo agronómico del cultivo, la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles (agua, nutrientes y energía) para su transformación en biomasa y la duración de los ciclos de producción.

En el cultivo de café, como en otros cultivos, la edad también es un factor que determina la capacidad productiva de las plantas; en cultivos envejecidos la reducción de la producción y el deterioro es notorio y para contrarrestar este efecto existen sistemas de renovación que permiten recuperar y estabilizar la producción en el tiempo. Todas estas recomendaciones sobre el manejo del cultivo de café, tienen como finalidad garantizar la capacidad de las plantas para permanecer en el campo cerca de 20 años, lo que equivale al período

de tiempo transcurrido desde la siembra y las siguientes etapas de renovación.

El contenido de esta publicación integra los principales componentes de los sistemas de producción y las recomendaciones de

manejo del cultivo, enmarcadas dentro de la estrategia de la Gerencia Técnica de la FNC “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, generadas a partir de investigaciones realizadas por la Disciplina de Fitotecnia de Cenicafé.



Sistemas de producción: Conceptos y definiciones

Fernando Farfán Valencia*

* Investigador Científico II, Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.
<https://orcid.org/0000-0003-0976-8828>

Farfán-Valencia, F. (2020). Sistemas de producción: conceptos y definiciones. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café (pp. 14--33). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_1



La ciencia y la tecnología son el fundamento y el soporte de todas las actividades productivas artesanales o empresariales de los seres humanos; por lo 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. Para que pueda ser exitosa la actividad agrícola empresarial tiene necesariamente que usar conocimiento científico y tecnológico, junto con un proceso administrativo eficaz y eficiente.

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 (Moreno, 2007); objetivos enfocados hacia la productividad y rentabilidad de la caficultura como sistemas.

¿Qué es un sistema?

Un sistema es un conjunto, una combinación, un complejo de diversas estructuras (económicas, técnicas, institucionales, etc.) coherentes, que están ligadas entre sí por relaciones relativamente estables. También se define como un conjunto de elementos o componentes en interacción dinámica, organizados en función de una finalidad u objetivo.

¿Qué es un ecosistema?

Es una parte de la biosfera definida en función de las interrelaciones entre los seres vivos y su medio ambiente; dicho de otra manera, es la unidad básica de observación de los procesos que ocurren en la naturaleza. El ecosistema es la base unitaria de la estructura y funcionamiento de la naturaleza y se caracteriza por tener una serie de elementos bien definidos y establecidos, como sus límites, entradas y salidas o flujos, y componentes, entre otros (Fassbender, 1993).

¿Qué es un sistema de producción agrícola?

Un sistema de producción agrícola es un ecosistema que cambia, maneja y administra el hombre, con el fin de producir bienes que le son útiles. Para modificar estos ecosistemas el hombre utiliza los factores de producción.

Del mismo modo, un sistema de producción agrícola es un conjunto de actividades donde participan pequeños, medianos y grandes productores, quienes organizan, dirigen y administran los sistemas orientados a unos objetivos propuestos; empleando prácticas y tecnologías, de acuerdo a su medio físico, para obtener diferentes producciones agrícolas (Duarte et al., 1996). También se define como la forma en que se combinan, en el tiempo y en el espacio, los factores de producción (tierra, mano de obra, capital, etc.) que el agricultor administra para cumplir sus objetivos sociales y económicos.

Visto de otra manera, 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 CO_2 , agua, energía solar y minerales, en cerezas de café. La Fitotecnia es la tecnología propia de los sistemas de producción agrícola, la cual es una visión y un sistema de conocimientos multidisciplinarios, para producir con calidad, rentabilidad y sostenibilidad. Al respecto, es importante tener en cuenta que, al aplicar tecnología a un sistema de producción, el propósito debe ser reducir la brecha que existe entre el potencial de producción y la producción real. Por lo tanto, es clave identificar los elementos del sistema que más contribuyen a la producción final (Moreno, 2007), como se presenta en la Figura 1.

Sistemas de producción de café

Un sistema de producción de café 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. La FNC (1993) como parte operativa para el alinderamiento de los lotes cafeteros, mediante aerofotografía, sugirió como conceptos básicos a ser aplicados, entre otros, los siguientes:

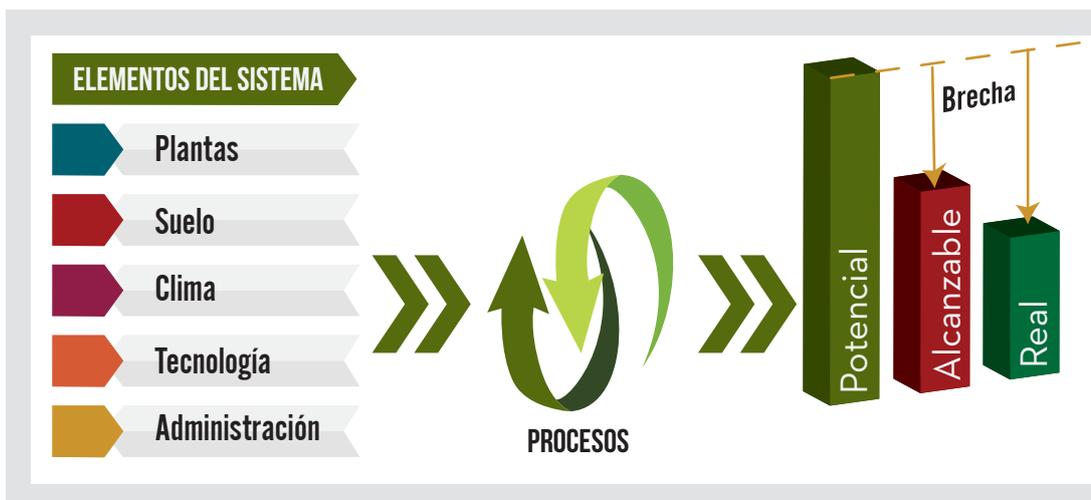


Figura 1. Relación entre algunos elementos de un sistema de producción agrícola y su producción (Moreno, 2007).

Lote cafetero a plena exposición solar. Es aquel en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea permanente, inferior a 20 árboles por hectárea o inferior de 300 especies arbustivas semipermanentes.

Lote cafetero con semisombra. Es aquel en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea superior a 20 e inferior a 50 árboles por hectárea o cualquier especie arbustiva semipermanente, con más de 300 y menos de 750 sitios por hectárea.

Lote cafetero con sombra. Cuando el efecto de la regulación de la luz incidente se debe a la presencia de cualquier especie arbórea permanente con densidad superior a 50 árboles por hectárea, igual a una distancia de siembra aproximada de 14,0 x 14,0 m o cualquier especie arbustiva semipermanente, con más de 750 sitios por hectárea, es decir, distancias de siembra de 3,7 x 3,7 m.

Elementos de un sistema de producción

Los elementos de un sistema de producción mencionados por Martínez (2009), y Escobar y Berdegue (1990), son:

Los límites del sistema. Se definen como la línea común que divide dos predios (fincas, lotes, etc.), entendiendo el predio como aquel espacio que guarda cierto grado de homogeneidad con respecto a otros espacios.

Las entradas. Se definen como los flujos que provienen del medio exterior al sistema de producción; las entradas más usuales de un sistema de producción agrícola son agua, sol, insumos, asistencia técnica, créditos y mano de obra, entre otros.

Los componentes. Son los elementos básicos y las unidades identificables del sistema. Pueden ser físicas como cultivos de café, cultivos asociados al café, etc. (Figura 2).

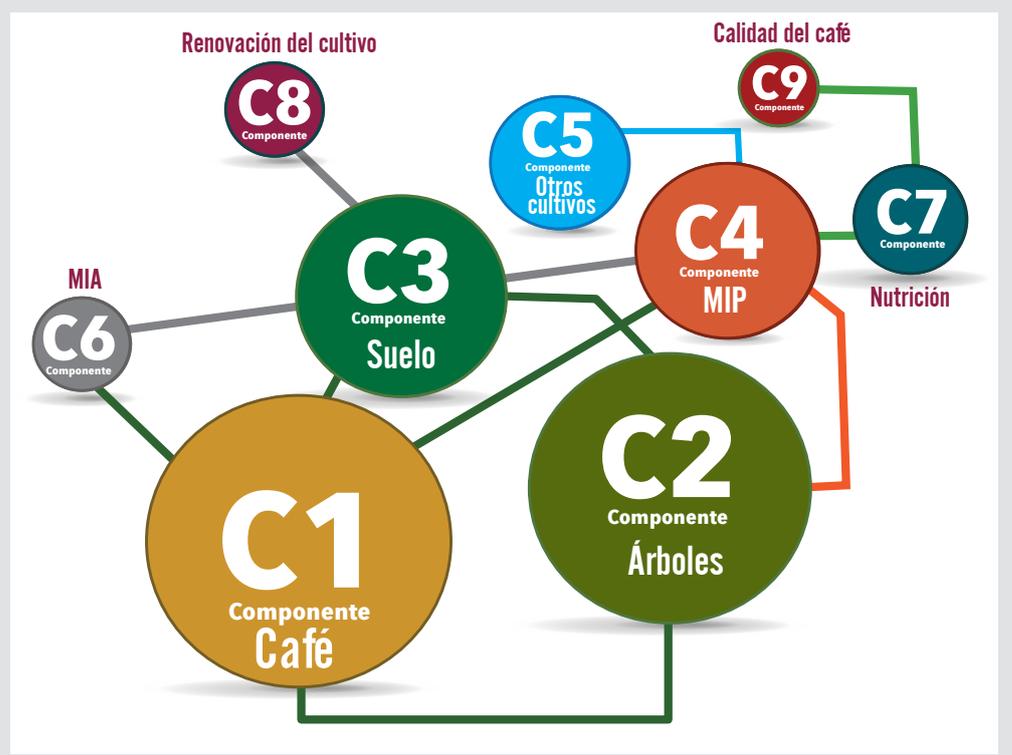


Figura 2.
Componentes de un sistema de producción de café.

Las interacciones. Conjunto de relaciones que especifican la naturaleza de las conexiones y los modos de relación entre los componentes del sistema. El consumo de nutrientes en un cultivo de café es una interacción entre el cultivo y el suelo. La incorporación de nitrógeno al suelo por parte de leguminosas como sombríos transitorios, en una interacción suelo-planta (Figura 3).

Las salidas. Son aquellos flujos que van del sistema de producción hacia el exterior. Las cantidades vendidas de productos agrícolas, por ejemplo, café pergamino seco, los jornales invertidos en otros subsistemas, las pérdidas de suelos por erosión, entre otros, son ejemplos de salidas de un sistema agrícola. En la Figura 4 se presenta un sistema de producción de café.

Relaciones Suelo-Planta-Clima de un sistema de producción con café

La región cafetera se encuentra ubicada entre las altitudes de 1.000 y 2.000 m en la región Andina, donde se presentan interacciones entre la topografía y los elementos meteorológicos. Las dimensiones y orientaciones de las montañas respecto a los vientos prevalentes influyen sobre los procesos a gran escala; el relieve y la forma del terreno a escala regional, y la inclinación de la pendiente y su aspecto causan diferencias locales de clima (Jaramillo, 2005 a, b).

La radiación solar, la temperatura, la humedad del aire, el viento y la lluvia

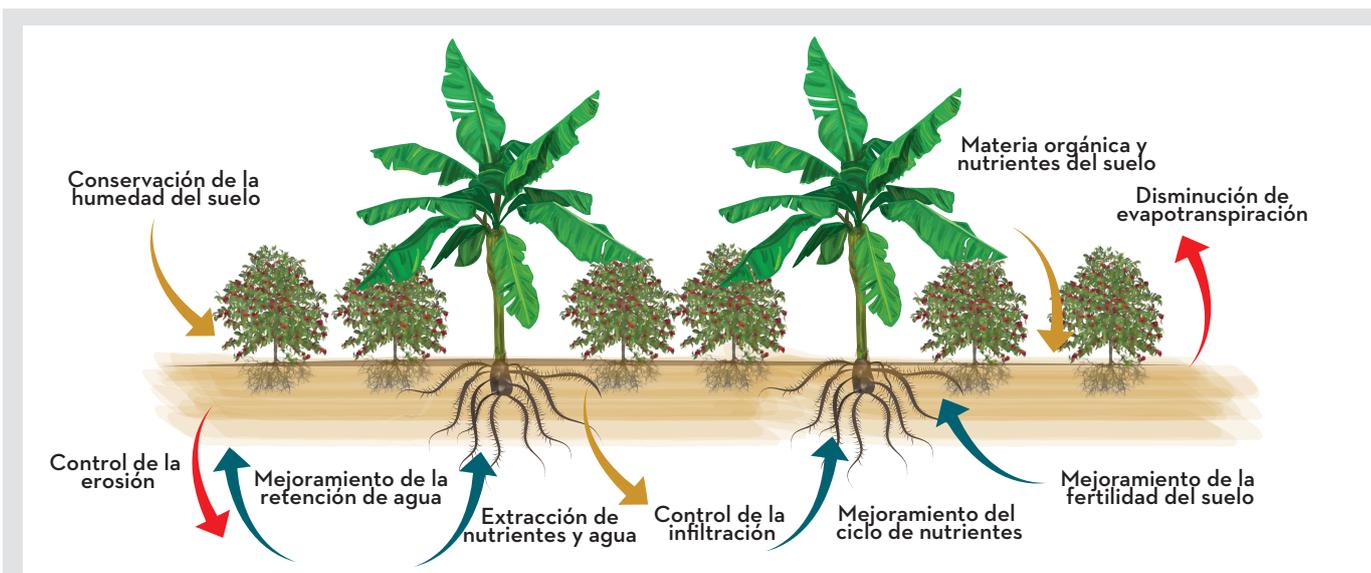


Figura 3.
Algunas interacciones en un sistema de producción de café.

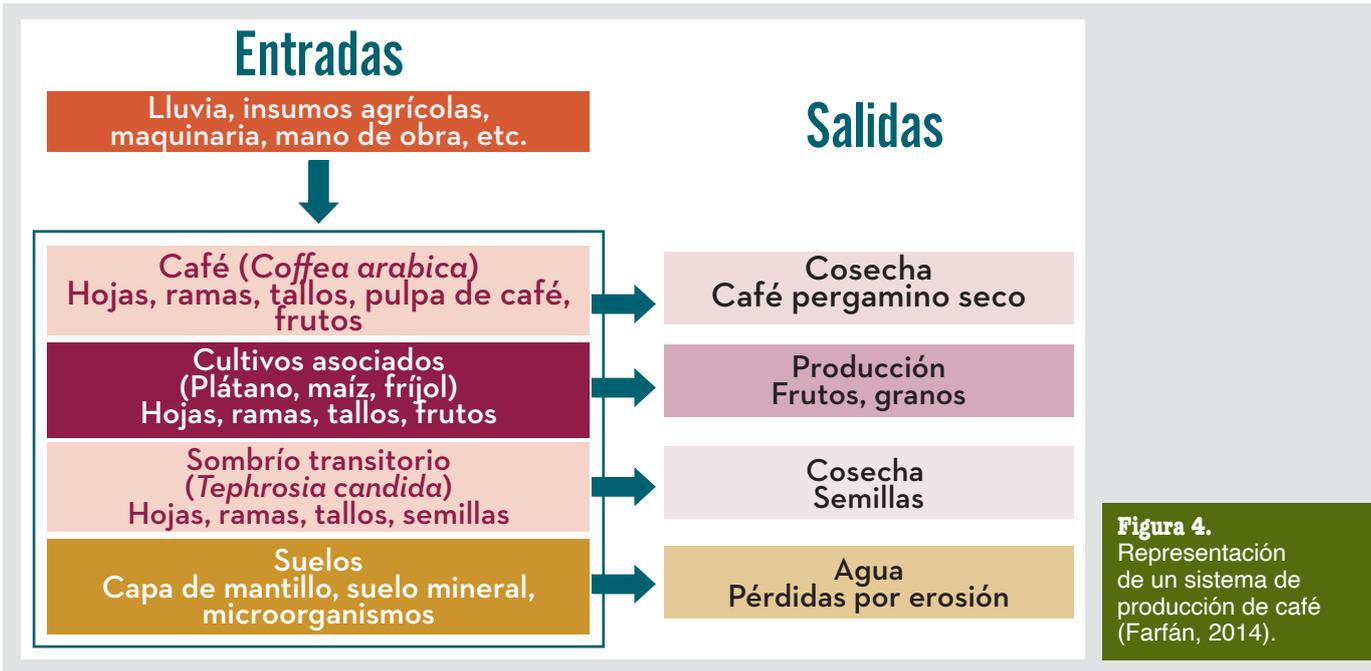


Figura 4.
Representación de un sistema de producción de café (Farfán, 2014).

son elementos climáticos que están estrechamente relacionados con el crecimiento y desarrollo de la planta, mientras que procesos como la toma de agua y de nutrientes, la germinación de las semillas, la diferenciación y crecimiento de los órganos vegetales,

estados fenológicos (vegetativo, floración, fructificación) son influenciados y dependientes de las interacciones planta – clima.

El agua que circula en el sistema suelo – planta – clima proviene principalmente

del aporte de las lluvias, convirtiéndose la cantidad de agua que entra al sistema, en un factor determinante y clave en las diferentes interacciones.

El suelo

El suelo es un medio que además de brindar soporte, anclaje y nutrientes a las plantas, influye en el crecimiento y desarrollo de las raíces mediante las interacciones de sus propiedades físicas y químicas. Los suelos de la zona cafetera son heterogéneos en estas propiedades; la materia orgánica, el pH, la acidez y el contenido nutricional son las propiedades químicas de mayor influencia en el desarrollo vegetativo y productivo. Las propiedades físicas destacadas son la densidad aparente (DA), la densidad real (DR), la porosidad, la conductividad hidráulica y la capacidad de almacenamiento (CA) (Haynes, 2005). El crecimiento deseable de un cultivo depende de las condiciones físicas y químicas del suelo, entre las que se destacan:

Características físicas y químicas de los suelos cafeteros colombianos

Los suelos de la zona cafetera colombiana son relativamente jóvenes y han sido agrupados en metamórficos, ígneos y sedimentarios. Por su ubicación sobre distintos tipos de relieve, pueden clasificarse como planos o ligeramente

ondulados hasta abruptos, con pendientes superiores al 75%. También varían en las condiciones físicas, desde pedregosos y arenosos hasta francos y arcillosos; y químicas con contenidos bajos a altos de materia orgánica y minerales esenciales.

Características químicas

Materia orgánica (MO). La materia orgánica es considerada como un indicador de la productividad del suelo. Entre las funciones que desempeña pueden señalarse: es fuente de nutrimentos (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.

Se concibe como el recurso natural regulador de las condiciones físicas, químicas y biológicas en el suelo. Para el cultivo del café, valores de MO <8,0% se consideran como bajos (Sadeghian, 2008). Estudios realizados por González et al. (2008) en suelos de la zona cafetera colombiana, encontraron que los contenidos de MO en los primeros 30 cm del suelo estaban entre el 6,8% y 17,7%; las unidades de suelos que presentaron mayor contenido de MO fueron Chinchiná, Doscientos, Tablazo, Guamal, Cascarero y Maiba (Tabla 1).

Tabla 1.

Contenidos de materia orgánica en los primeros 30 cm, en algunas unidades de suelos de la zona cafetera.

Unidad de suelos	Libre exposición solar	Sistema agroforestal
	MO (%)	MO (%)
Chinchiná	17,70	14,50
Guamal	11,73	8,50
Doscientos	12,01	12,00
Tablazo	11,95	10,90
Maiba	7,85	6,80
Cascarero	8,20	7,50

El pH. 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.

Un suelo se acidifica por pérdida de bases intercambiables ocasionadas por la lluvia, la descomposición de la materia orgánica, la oxidación del azufre, la nitrificación del amonio (NH_4^+) y el uso de fertilizantes nitrogenados. Existe una relación inversa entre el pH y los contenidos de Al^{+3} , el cual resulta tóxico para las plantas y para los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica (Sadeghian, 2016).

Los nutrientes y otros compuestos se presentan en un estado dinámico en el suelo. Se añaden o remueven de manera continua mediante diversas vías. La fertilidad de un suelo depende de las tasas relativas de adición y remoción de los nutrientes.

El café requiere 16 elementos que se consideran esenciales para su crecimiento. Las cantidades que necesita la planta están determinadas por la variedad, la etapa de desarrollo, el nivel de producción, los factores climáticos, las propiedades del suelo y el manejo de la plantación. Los requerimientos nutricionales en etapa vegetativa son N, P, y K; en la fase productiva, el café requiere básicamente N, P, K, Ca y Mg. Es posible que, para el acondicionamiento del sitio de siembra

del café, sea necesario la aplicación de enmiendas o el encalamiento (Sadeghian, 2008).

Características 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. 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, y temperatura adecuada.

Densidad aparente (DA). Se define como la relación entre el peso del suelo seco y el volumen que ocupa, incluyendo su espacio poroso; es una de las propiedades físicas del suelo de mayor importancia, ya que se relaciona directamente con el movimiento del agua y los nutrientes en el suelo. La DA es influenciada por las partículas sólidas, por el espacio poroso del suelo y por la MO. La DA condiciona el flujo de los nutrientes hacia las raíces a través de los poros del suelo y afecta el crecimiento de las raíces (González, 2013).

La densidad aparente típica de un suelo mineral de textura media está alrededor de $1,25 \text{ Mg m}^3$ (megagramos por metro cúbico), y varía dependiendo de la textura y las prácticas de uso y manejo del suelo. Un valor de $\text{DA} \geq 1,5 \text{ g cm}^3$ puede limitar el crecimiento de raíces de la planta de café. 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 y la compactación 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.

Las propiedades del suelo que muestran relación directa con la DA son la densidad real y la resistencia a la penetración; y una relación negativa con la porosidad total, la humedad a capacidad de campo, la humedad a punto de marchitez permanente, el contenido de MO, la estabilidad de los agregados y el porcentaje de limos (Salamanca y Sadeghian, 2004).

Porosidad. La porosidad determina la condición de aireación y drenaje para el desarrollo de las plantas, el crecimiento de raíces y microorganismos en el suelo (Suárez, 2001). Si el suelo tiene un gran porcentaje de arenas y posee muchos macroporos, se produce un mayor drenaje de agua y nutrientes (lixiviación), condición que afecta la nutrición de la planta y su producción (Sadeghian y Jaramillo, 2017).

Capacidad de almacenamiento. Propiedades físicas como la textura y químicas como el contenido de materia orgánica, influyen sobre la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos. Esta es determinante al construir el balance hídrico, la especificación de necesidades de drenajes y la retención de humedad para riego, entre otros (Suárez, 1998, 2000).

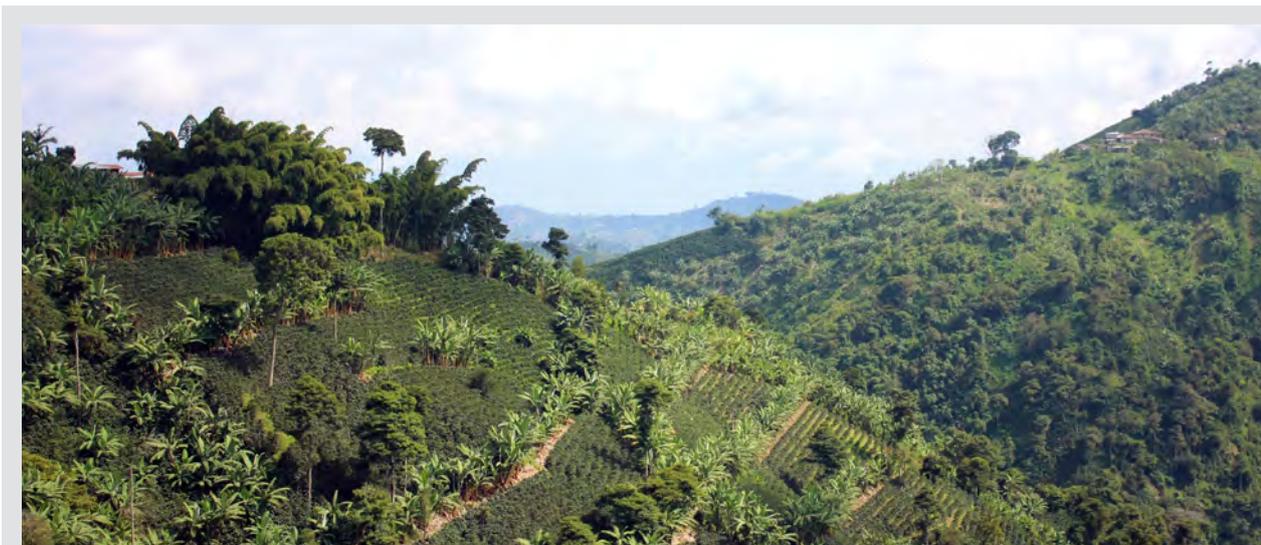
Textura y estructura. Las mejores condiciones físicas se presentan en los suelos provenientes de cenizas volcánicas, los cuales poseen en general buena textura (francos), estructura (granular), profundidad efectiva (40-60 cm), adecuado drenaje interno, adecuada capacidad de retención de humedad y mayor resistencia

a la erosión en comparación con otros suelos de la zona cafetera.

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 se denomina capacidad de campo; esta situación puede darse en suelos bien drenados, dos o tres días después de una lluvia. La 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 cafeto está más expuesto a deficiencias hídricas en los suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarios que en los derivados de cenizas volcánicas. Si se considera como referente, 125 mm de deficiencia de agua como un valor que afecta la producción en café, 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 a), para el café podría hablarse de una tolerancia moderada a la deficiencia de agua.

Aireación. Es el intercambio de oxígeno atmosférico y el suelo para ser tomado por la raíz y los microorganismos, los que a su vez liberan CO₂. Una aireación restringida causa disminución del oxígeno y acumulación de CO₂ en el suelo, lo cual puede conducir a disminuciones en la capacidad de absorción de agua y de la toma de los nutrimentos y retraso o



inhibición de los procesos de crecimiento de la raíz. La falta de oxígeno en el suelo está generalmente asociada con altas humedades o altas temperaturas.

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. Jaramillo y Gómez (1989) encontraron que la temperatura en los primeros 50 cm de un suelo de origen volcánico 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 general, los suelos de la zona cafetera son considerados de fertilidad natural media a baja. 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

observadas más frecuentemente son las de hierro y boro, aunque su manifestación es temporal; la primera está asociada con períodos lluviosos y la segunda con períodos secos. Los componentes abióticos son determinantes al momento de definir el sistema de producción con café a establecer en un sitio determinado.

La planta

Evaporación. Es el proceso físico por el cual una masa líquida es transformada en vapor (vaporización) y removida desde la superficie evaporante (Jaramillo, 2005 b).

La mayor parte del agua que pierde la planta se evapora de las superficies foliares por el proceso de la transpiración, la cual consiste esencialmente en la evaporación del agua de las superficies celulares y su pérdida a través de las estructuras anatómicas de la planta (estomas, lenticelas, cutícula). Este proceso está bajo el control de la planta, aunque impuesto por las condiciones del medio, y representa uno de los puntos principales de interacción entre la planta y su ambiente (Loomis y Connor, 1992).

Evapotranspiración. Es la integración de la evaporación y la transpiración, procesos que ocurren de manera simultánea; la transpiración es necesaria para las plantas ya que estas dependen del intercambio de gases y de la incidencia energética para su nutrición. El agua perdida por transpiración debe ser reemplazada constantemente, pues esta se concibe como un sistema regulador de la temperatura de la planta, al disipar el exceso de energía y temperatura (Loomis y Connor, 1992; Jaramillo, 2005 a, b). La falta de un suministro adecuado de agua causa el cierre estomático, afectando directamente el proceso fotosintético, al reducirse la actividad enzimática involucrada en las reacciones fotosintéticas (Pimentel, 1999).

Evaluaciones de la evapotranspiración en café indican que aproximadamente un 35% corresponde a la evaporación y un 65% a la transpiración, y sitúan los valores de evapotranspiración entre 5,6 y 2,4 mm día⁻¹ (Flumignan et al., 2011). Jaramillo (2005), estimó que la evapotranspiración media en la zona cafetera colombiana entre los 1.000 y 2.000 m de altitud varía entre 3,74 y 3,06 mm día⁻¹, respectivamente. Jiménez y Golberg (1982) indican que la evapotranspiración anual de un cultivo de café a libre exposición solar está cercana a los 1.327 mm; bajo sombrío de *Inga* sp. es de 703 mm; y de 1.052 mm en un sistema agroforestal con sombrío diverso.

El clima

Requerimientos hídricos. La lluvia en Colombia está influenciada por la Zona de Confluencia Intertropical, las Ondas del Este con trayectoria a través de océano Atlántico, los huracanes, los sistemas atmosféricos de la Amazonia y los sistemas atmosféricos del océano Pacífico (Trojer, 1954, 1959; Pabón et al., 1998; Poveda, 2004). Eventos de variabilidad climática

Cuando la planta de café está sometida a una alta deficiencia hídrica (por ejemplo, 30 a 40 días continuos sin lluvia), detiene su crecimiento, el follaje se torna 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.

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 ocurren condiciones físicas desfavorables como alto contenido de arcillas y alta retención de humedad, que causan mal drenaje o encharcamiento. 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.

Como resultado de la excesiva humedad del suelo, las raíces absorbentes se deterioran debido a la escasez de oxígeno, ocurriendo estrés, asfixia y muerte.

como La Niña (aumento de la lluvia) y El Niño (disminución de la lluvia) también tienen un efecto sobre la intensidad de las lluvias en algunas regiones de la zona cafetera (Ramírez y Jaramillo, 2009).

En las zonas cafeteras la precipitación alcanza valores entre 2.000 y 2.500 mm. En



general, ocurren dos períodos secos y dos lluviosos en el año, con volúmenes anuales de evaporación inferiores a 1.200 mm. No obstante, existen zonas con limitaciones de agua por una inadecuada distribución de lluvias o por la alta evaporación (Jaramillo 2005 a, b). La 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 (Jaramillo, 2000).

La distribución intra-anual de la lluvia en Colombia puede ser de tipo unimodal, con un pico máximo de lluvia en el año, o bimodal con dos picos máximos de lluvia en el año. Las características de tipo unimodal se presentan en la región Oriental del país, en los Llanos Orientales, en la vertiente del Amazonas y en la región Atlántica. Patrones de distribución bimodal se presentan en la región Andina, en las cuencas de los ríos Patía, Cauca y Magdalena, para latitudes entre los 4 y 7°N. En el Nudo de Los Pastos, en la cuenca alta del río Magdalena y en la llanura del Pacífico no se observan los comportamientos anteriores y ocurre poca

variación en las cantidades de lluvia entre un mes y otro (Jaramillo y Chaves, 2000).

El consumo de agua de la planta de café está próximo a 125 mm mes⁻¹. Si el aporte hídrico constante es inferior a este valor, disminuye la producción. Si se considera que en las regiones cafeteras de Colombia la evaporación diaria alcanza entre 3 y 4 mm, un período seco de 30 a 40 días consecutivos afectaría la producción del grano (Jaramillo, 2005 a, b). Las regiones con Deficiencia Hídrica Anual (DHA) menor a 150 mm, son aptas para el cultivo del café. Si la DHA está entre 150 y 200 mm, se considera zona marginal, y allí para obtener alguna producción, se requiere de riego suplementario. Se considera que las regiones no aptas para el cultivo son aquellas donde la DHA es superior a 200 mm.

Fotoperíodo – duración del día. Fundamental para la inducción de la formación de botones florales o diferenciación floral. Para la floración del cafeto se requieren días cortos, con un fotoperíodo crítico de 13,5 horas de brillo solar astronómico, por lo cual, dentro del rango latitudinal de la

zona cafetera de Colombia, este factor no es limitante, por presentar durante todo el año días con un número menor de 13,0 horas de duración (Jaramillo, 2005).

Insolación. La insolación se expresa como el número de horas en los cuales el sol brilla en una localidad (radiación directa). El brillo solar anual en la zona cafetera colombiana oscila cantidades entre 1.600 y 1.800 horas. El brillo solar promedio para la zona cafetera está próximo a las 1.550 h año⁻¹, lo que indica alta nubosidad diurna. En las estaciones climáticas de Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar) y El Rosario (Venecia, Antioquia) se observan valores extremos superiores a las 2.050 h año⁻¹. El menor valor se observa en la estación Luis Bustamante (Villarica, Tolima), con 945 h año⁻¹.

Radiación solar. Se define como el flujo de radiación solar por unidad de área en unidad de tiempo. La radiación solar es el principal factor que determina el microclima del cultivo; su energía condiciona la temperatura del aire y del suelo, el movimiento del viento, la evapotranspiración y la fotosíntesis, de tal manera que la intensidad de la radiación, el grado de interceptación y la eficiencia en el uso de la energía radiante, son factores determinantes en la tasa de crecimiento de las plantas. Para el proceso de la fotosíntesis, la planta usa un rango espectral de la radiación solar, comprendido entre los 400 y los 700 nanómetros (nm), denominada Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), la cual es cerca del 50% de la radiación global. El valor promedio de radiación solar para la zona cafetera colombiana es de 382 cal cm⁻²-día⁻¹. Los máximos valores se presentan en Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar) con 452 cal cm⁻²-día⁻¹ y 433 cal cm⁻²-día⁻¹ en La Montaña (Dolores, Tolima). Los menores valores se registran en las estaciones Jorge Villamil

en Gigante (Huila), con 300 cal cm⁻²-día⁻¹ y en La Granja Tibacuy en Tibacuy (Cundinamarca) con 329 cal cm⁻²-día⁻¹.

Requerimientos térmicos. El óptimo de temperatura media del aire para el cultivo del café, *Coffea arabica*, está entre 18 y 22°C y para *Coffea canephora* entre 22 y 26°C; temperaturas mayores a 23°C y períodos secos provocan aborto floral y formación de “flores estrella”, ocasionando una drástica disminución de la producción. Temperaturas menores a 18°C promueven el crecimiento vegetativo, reducción de la diferenciación floral y baja productividad.

Temperatura del suelo. La superficie del suelo, con o sin vegetación, es el principal receptor de la radiación solar, siendo a la vez un emisor de radiación de onda larga o calor. La temperatura del suelo presenta variaciones diurnas desde la superficie hasta 25 cm de profundidad. La cantidad y distribución de la lluvia, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y las propiedades físicas del suelo, determinan esta temperatura. La temperatura media del suelo está próxima a 24°C, correspondiendo a una temperatura media del aire de 21°C.

Viento. El viento es el movimiento del aire en la superficie terrestre, es generado por la acción de gradientes de presión atmosférica producidas por el calentamiento diferencial de las superficies. Las dos características fundamentales del viento son la dirección y la velocidad. En la mayoría de las localidades las ráfagas diurnas presentan mayor velocidad que las nocturnas, debido a la acción de la radiación solar. En general, las velocidades del viento registradas en la zona cafetera son bajas, inferiores a 5,0 km h⁻¹ y valores extremos de las ráfagas (impulsos cortos) próximos a 70 km h⁻¹; aunque estos valores son de ocurrencia

esporádica, originan daños en los cultivos (plátano, maíz, árboles de sombrío) y en las construcciones (Jaramillo, 2005 a).

Sistema de producción a libre exposición solar o en sistema agroforestal

Si las características de clima y suelo son las adecuadas para el desarrollo de la planta de café, su cultivo puede establecerse a libre exposición solar o mediante la incorporación de árboles,

que cumplen diferentes funciones dentro de los lotes o toda la finca cafetera. Si las condiciones para el desarrollo de la planta no son favorables desde el punto de vista de la oferta climática y del suelo, la mejor estrategia y donde se obtendrían los mejores resultados sería con el establecimiento de árboles como sombrío del cultivo (Figura 5).

La sombra no es universalmente benéfica y las necesidades de utilizarla están en función del clima y suelos; si se establece



Figura 5. Principales criterios para decidir establecer un sistema de producción de café a libre exposición solar o bajo sombrío.

sombra al café en sitios donde no es requerida se afecta la producción, es decir, los árboles de sombra deberán ser establecidos donde, por condiciones de clima y suelos sean indispensables, como se presenta en la Figura 6 (Beer et al., 1998; Perfecto et al., 1996; Sivetz, 1971; Soto et al., 2000). Los beneficios adicionales al café como los económicos y sociales, entre otros, por sí solos, es

posible que no compensen las reducciones de la producción del café, en lugares no requeridos.

Con el propósito de contribuir a tomar mejores decisiones al momento de definir el sistema de producción con café, de acuerdo a la localidad, en la Tabla 2 se presentan criterios climáticos, sociales, económicos y ambientales que orientan sobre esta decisión.

Recomendación práctica

El cafeto es una planta que en su ambiente original se encuentra en el sotobosque, por lo que es una planta que se adapta a la sombra; sin embargo, en los períodos lluviosos o en las regiones de alta precipitación, la radiación es baja y puede limitar la productividad del cafeto, 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 (Arcila, 2007).

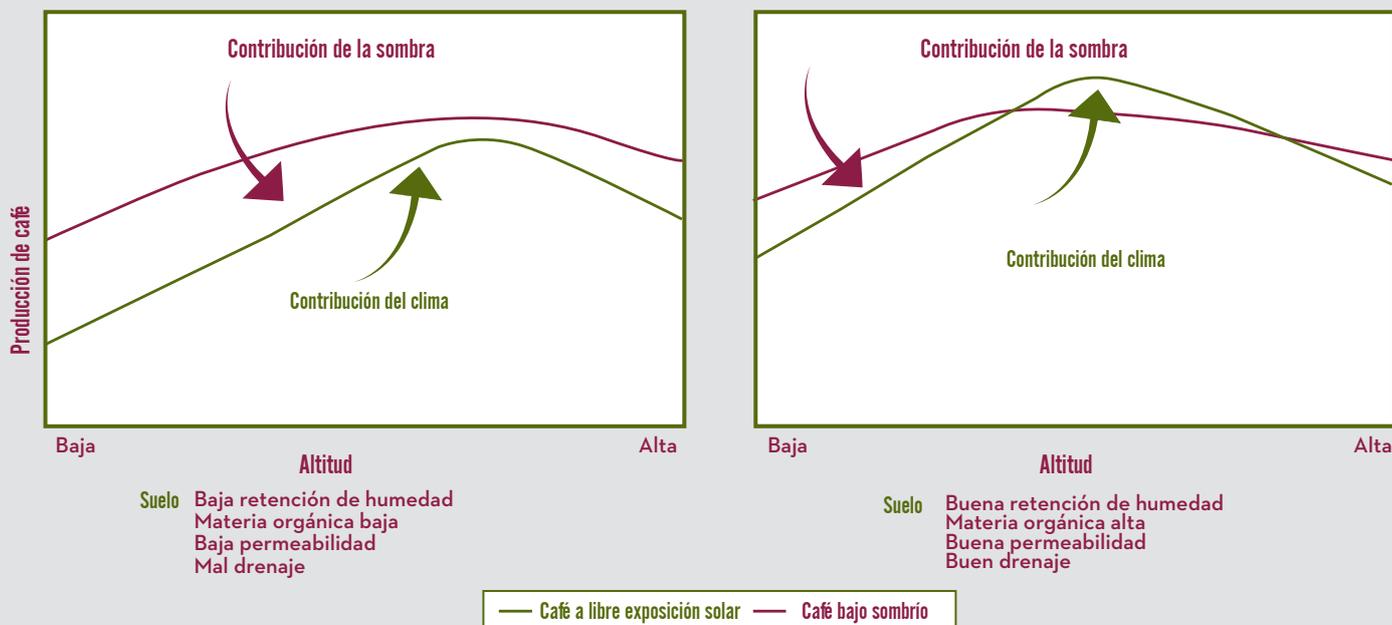


Figura 6. Producción de café en función de la exposición solar, la altitud y el tipo de suelo (Adaptado de Beer, Muschler, Kass y Somarriba, 1998).

Tabla 2.

Criterios para la decisión de establecer café a libre exposición solar o bajo sombrío.

Criterios de decisión	CLE	SAF	ARB
Criterios de clima y suelos			
Zonas de altas temperaturas			
Lluvia anual entre 1.800 a 2.000 mm (120 mm mes ⁻¹)			
Temperatura entre 19,0 a 21,5°C			
Radiación solar de 382 cal cm ⁻² -día ⁻² (3,5 kWh m ⁻²)			
Brillo solar anual entre 1.500 a 1.800 h (4,5 h día ⁻¹)			
Protección del cultivo durante períodos secos (fenómeno de El Niño)			
Protección del suelo durante períodos húmedos (fenómeno de La Niña)			
Suelos sin limitaciones hídricas en la franja ideal de altitud			
Suelos sin limitaciones nutricionales en la franja ideal de altitud			
Suelos con baja capacidad de almacenamiento de agua			
Suelos susceptibles a la erosión			
Suelos poco profundos y poco estructurados			
Suelos con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad natural			
Suelos con vocación forestal			
Suelos con vocación agroforestal			
Suelos con vocación agrícola			
Zonas de altitudes elevadas			
Zona altitudinal óptima para el cultivo (1.200 a 1.800 m)			
Zonas donde se presenten daños causados por el viento			
Regiones con Deficiencia Hídrica Anual (DHA) inferior a 150 mm			
Regiones con DHA entre 150 y 200 mm			
Regiones con relieve fuertemente quebrado			
Regiones con pendientes fuertes (mayor que 50%)			
Regulación del microclima dentro de la plantación			
Aumento y mantenimiento de la materia orgánica del suelo			
Criterios ambientales			
Facilitar el desarrollo del sistema de producción			
Mantener y mejorar la fertilidad del suelo			
Proporcionar hábitat para las especies nativas			
Restaurar ecosistemas degradados			
Contribuir a generar agua limpia y fortalecer el ciclo hidrológico			
Protección de especies arbóreas amenazadas o en peligro de extinción			
Reducción en la perturbación del suelo ¹			
Control natural de arvenses y reducción en aplicación de herbicidas ²			
Captación de carbono (Carbono Neutral)			
Actitud ambiental (conservación)			
Criterios económicos			
Producir madera y fibra de una manera sostenible			
Crear oportunidades de agregar valor a los productos agrícolas			
Desarrollar sistemas con alto potencial productivo			
Alta disponibilidad de insumos			
Baja disponibilidad de insumos			
Producción de cafés especiales			

Continúa...

...Continuación

Venta de bonos de carbono			
Obtención de beneficios económicos (frutos, resinas, fibras, etc.)			
Reducción en la aplicación de insumos (fertilizantes, herbicidas)			
Conservación de recursos naturales (biodiversidad)			
Criterios sociales			
Producir alimentos sin riesgos para la salud y de alto valor nutritivo			
Asegurar un ingreso digno para los productores			
Producción de leña			
Cambio en valores, comportamientos y prácticas respecto al ambiente			
Propósitos de investigación en sistemas agroforestales			

¹ Establecimiento de café con 5.000 sitios por hectárea y dos tallos por sitio.

² Establecimiento del café con altas densidades de siembra.

CLE: Café a libre exposición solar.

SAF: Café en asocio de árboles.

ARB: Árboles

Factores determinantes de la productividad de un sistema de producción de café

La cantidad de café pergamino seco obtenido al término de un ciclo productivo, es el resultado de la sumatoria de diversos factores, que actúan de forma continua a través de dicho ciclo; entre estos factores pueden mencionarse la variedad cultivada, la oferta ambiental, el manejo y la edad del cultivo. Cualquier proceso de análisis para tratar de identificar la producción máxima alcanzable en una región determinada, deberá empezar por identificar la interacción de dichos factores (Farfán y Sánchez, 2016), entre los que se destacan (Scurlock et al., 1987):

La cantidad de radiación incidente en el cultivo. La radiación solar, como factor ambiental, es importante para los seres vivos porque

es la fuente de energía para procesos físicos y biológicos, de ella dependen los vegetales para elaborar carbohidratos mediante la fotosíntesis. La radiación, al interactuar con otros factores como la temperatura y precipitación, influye en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Así, la agricultura es una forma de cosechar la energía solar cuando se complementa con un adecuado suministro de agua, nutrimentos y dióxido de carbono (Díaz et al., 2013).

La cantidad de radiación incidente en el cultivo de café dependerá del sitio donde se establezca, el sistema de producción seleccionado (sol o sombra), la duración del período de luz, la naturaleza y el estado de desarrollo de las plantas. Estos elementos servirán incluso para rechazar el establecimiento de un cultivo en una zona, atendiendo a los valores de radiación, al esperarse producciones no rentables.

La proporción de luz interceptada por los órganos verdes de la planta. La interceptación

de la radiación solar por las hojas es imprescindible para la conversión de la energía solar en materia vegetal (biomasa). Al inicio del ciclo de un cultivo gran parte de la radiación no es interceptada, incidiendo sobre el suelo y no siendo aprovechada por la planta. El parámetro básico que relaciona la radiación que un cultivo intercepta y la radiación solar incidente es el Índice de Área Foliar (IAF), que cuantifica la superficie de las hojas de un cultivo por unidad de superficie del suelo (Paniagua et al., 2015). Por lo tanto, la proporción de luz interceptada por los órganos verdes de la planta está en función del tamaño y estructura del dosel, que en café está determinado por la densidad de siembra, el arreglo espacial, la variedad seleccionada y las prácticas de manejo del cultivo, entre otros.

La eficiencia de la conversión fotosintética de la luz interceptada en biomasa. El crecimiento de la planta es una función del equilibrio de la biomasa acumulada a través de la fotosíntesis; por lo tanto, el rendimiento del cultivo depende de las tasas de fotosíntesis en ese ambiente. El rendimiento de biomasa de una planta depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida a través de las hojas y la eficiencia con la que puede convertir la energía radiante en asimilados a través del proceso de fotosíntesis. La eficiencia dependerá de la sanidad del cultivo, la disponibilidad hídrica y de nutrientes (Behling et al., 2015). En el cultivo del café la eficiencia de la conversión fotosintética de la luz interceptada en biomasa, dependerá de la edad del cultivo, la nutrición de la planta (fertilización), la competencia por arvenses y la fitosanidad del cultivo.

Las pérdidas respiratorias de la biomasa vegetal. La respiración de las plantas es el conjunto de reacciones por medio de las cuales los carbohidratos sintetizados por medio de la fotosíntesis, son oxidados a CO_2 y H_2O , y la energía liberada es transformada en Trifosfato de adenosina (ATP); los carbohidratos son los principales sustratos respiratorios de las plantas. La energía obtenida a través de la respiración y almacenada en forma de ATP, es utilizada para el crecimiento de los órganos vegetales, el mantenimiento de las estructuras existentes, el transporte de metabolitos e iones, y la generación de compuestos de carbono intermedios (Mosquera et al., 1999). La tasa respiratoria en cultivos de café puede verse afectada por la disponibilidad de luz (radiación solar), la humedad relativa dentro del cultivo, la humedad del suelo, la temperatura, etc.

Sistema de producción de café, productivo y rentable

La productividad del cafetal definida como kilogramos de café pergamino seco (kg c.p.s.) obtenidos por unidad de recurso utilizado en su producción, depende de la cantidad de efectos positivos que produzcan en la planta los diferentes factores ambientales y las prácticas de manejo. La productividad y rentabilidad se alcanzan si, integradamente, se aplican las siguientes prácticas (Cenicafé, 2018):

- ♦ Sembrar variedades mejoradas con resistencia durable a la roya del cafeto.
- ♦ Sembrar o renovar los cultivos en las épocas correctas y utilizar colinos de café de origen conocido.



- ◆ Establecer la densidad de siembra óptima y definir los ciclos de renovación para mantener los cultivos jóvenes.
- ◆ Manejar la luminosidad del cultivo.
- ◆ Nutrir apropiadamente las plantas.
- ◆ Mejorar la acidez del suelo, ajustado para el cultivo del café.

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 (Arcila, 2007).

- ♦ Realizar un oportuno control fitosanitario.
- ♦ Manejar oportunamente las arvenses.

La interacción de este conjunto de factores y opciones tecnológicas constituye lo que se denomina 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 (Arcila, 2007).



Administración de sistemas de producción de café a libre exposición solar

José Raúl Rendón Sáenz*

* Investigador Científico I, Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé
<https://orcid.org/0000-0002-5676-4670>

Rendón, J. R. (2020). Administración de sistemas de producción de café a libre exposición solar. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café (pp. 34-71). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_2



En la zona cafetera colombiana, ubicada entre 1° y 11° de latitud Norte, se encuentran las áreas para la producción del café que guardan homogeneidad en cuanto a características de suelos, clima y relieve, entre otras; estas regiones son las que actualmente se han clasificado como zonas productoras Norte y Oriente, Centro Norte y Centro Sur y zona cafetera Sur de Colombia. Las variaciones en los períodos secos y húmedos durante el año, así como las características predominantes de los suelos en cada zona, definen los diferentes sistemas de producción de café. En la zona cafetera Norte, por ejemplo, es común el cultivo del café en sistemas agroforestales, en la zona cafetera Central se encuentran cultivos de café a libre exposición solar en un alto porcentaje y en la zona Sur sistemas de producción bajo sombra y a libre exposición solar. Para maximizar la productividad y rentabilidad de los sistemas de producción, existen prácticas agronómicas definidas por Cenicafé, que inician con la selección de la variedad a establecer, el material de siembra, la densidad de siembra adecuada, los ciclos de renovación de los cultivos, la nutrición, etc. En el siguiente capítulo se presentarán los fundamentos tecnológicos sobre las prácticas de cultivo para administrar sistemas de producción de café, productivos, rentables y sostenibles, cuando son cultivados a libre exposición solar.

Establecimiento de los sistemas de producción con café

Las primeras etapas para el establecimiento de un cultivo inician con la elección de la variedad, la época correcta de siembra

y la necesidad de semilla, según la densidad de siembra y el área de terreno a cultivar. Las etapas para asegurar la obtención del material vegetal con criterios de calidad, comprenden la construcción de los germinadores y los almácigos, en los cuales se llevan al campo plántulas de cuatro a seis pares de hojas formadas, con capacidad para adaptarse a las condiciones del sitio de siembra. Previo a la siembra, el lote debe ser preparado, haciendo un oportuno control de las arvenses, regulación del sombrero, trazo, hoyado y corrección de la acidez del suelo.

Elección de la variedad

La variedad es uno de los componentes fundamentales a tener en cuenta al momento de establecer los sistemas de producción y el uso de las densidades de los cafetales. Cada variedad posee características morfológicas definidas, las cuales permitirán el uso de diferentes arreglos espaciales que potencien estas características y favorezcan su desempeño. Según la variedad, la densidad de siembra depende básicamente del porte o tamaño de las plantas.

La dinámica en la adopción de variedades indica que entre los años 1938 y 1960, la variedad Típica fue la más cultivada en América y la única en Colombia. La variedad Típica, según Castillo (1975), se caracteriza por su vigor y buen tamaño de grano. Otra variedad que se cultivó en la misma época, reconocida por sus atributos en calidad, fue la variedad Borbón. Ambas variedades de porte alto, ramas largas y empleadas en bajas densidades de siembra, 2.500 plantas/ha a libre exposición solar y 1.500 plantas/ha en sistemas agroforestales.

En el año 1960 se dio la introducción a Colombia de la variedad Caturra,

procedente de Brasil. Esta variedad es altamente productiva, compacta y de menor tamaño, lo que permitió el aumento de las densidades de siembra en los sistemas de producción de café. La densidad de siembra recomendada de hasta 10.000 plantas/ha a libre exposición solar y hasta 5.000 plantas/ha en sistemas agroforestales.

A partir de 1983 Cenicafé-FNC liberó variedades resistentes a la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). La primera variedad compuesta y resistente obtenida fue la variedad Colombia (Híbrido de Timor x Caturra), altamente productiva y de excelente calidad en taza. El porte de esta variedad es bajo, por lo cual la densidad de siembra fue igual a la recomendada para la variedad Caturra.

En el año 2002, liberó la variedad Tabi (Híbrido de Timor x Típica y Borbón), variedad compuesta, resistente a roya, con buena productividad, granulometría y calidad en taza. Por su porte alto se recomendó inicialmente una densidad de siembra de hasta 3.000 plantas/ha en sistemas agroforestales (Moreno, 2002 a,b). Investigaciones más recientes, recomiendan densidades hasta de 5.000 plantas/ha en sistemas agroforestales (Farfán et al., 2016) (Tabla 3).

Para el año 2005, se liberó la Variedad Castillo® (Alvarado et al., 2005a) y sus componentes Regionales Castillo® Naranjal (Estación Experimental Naranjal/Chinchiná, Caldas) (Alvarado et al., 2005b), Castillo® Paraguaicito (Estación Experimental Paraguaicito/Buenavista, Quindío) (Alvarado et al., 2005c), Castillo® El Rosario (Estación Experimental El Rosario/Venecia, Antioquia) (Alvarado et al., 2005d), Castillo® Pueblo Bello (Estación Experimental Pueblo Bello/Pueblo Bello, Cesar) (Alvarado et al., 2005e), Castillo®

Santa Bárbara (Estación Experimental Santa Bárbara/Sasaima, Cundinamarca) (Alvarado et al., 2005f), Castillo® La Trinidad (Estación Experimental La Trinidad/Libano, Tolima) (Alvarado et al., 2005g) y Castillo® El Tambo (Estación Experimental El Tambo/El Tambo, Cauca) (Posada et al., 2006).

La Variedad Castillo® es una variedad dinámica, compuesta por diferentes progenies, resistente a la roya, desarrollada a partir del cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor, excelente calidad en taza, altamente productiva, frutos rojos,

excelente granulometría y porte intermedio. Las densidades promedio que se han recomendado para esta variedad en las diferentes regiones cafeteras del país se presentan en la Tabla 3.

Cenicafé 1 es la nueva variedad liberada en el año 2016 por la Federación Nacional de Cafeteros (Figura 7). Es altamente productiva, resistente a la roya del cafeto y CBD (enfermedad de las cerezas del café), posee mayor calidad física del grano y es de porte bajo. La densidad de siembra en

Tabla 3. Rangos de densidad de siembra para las variedades Castillo® y Tabi, en diferentes zonas cafeteras.

Variable	Zonificación regional				
	Centro-Norte	Centro-Sur	Sur	Norte	Oriente
Variedad	Castillo® Zonal	Castillo® Zonal	Castillo® Zonal - Tabi	Castillo® Zonal - Tabi	Castillo® Zonal
Densidad de siembra plantas/ha	7.000 - 9.000	6.500 - 7.500	5.000 (Tabi) 8.000 (Variedad Castillo®)	5.000 (Tabi) 8.000 (Variedad Castillo®)	6.000



Figura 7. Línea de tiempo de variedades de café en Colombia.

sistemas de producción a libre exposición solar puede llegar hasta 10.000 plantas/ha, de acuerdo con las condiciones del lote y de la zona, para ciclos de producción de cuatro cosechas (Flórez et al., 2016).

Desde el año 2017 Cenicafé planteó la estrategia de recomposición de líneas de la Variedad Castillo para mantener la resistencia a la roya del café y a la enfermedad de las cerezas del café (CBD), a través de las variedades Castillo zona Norte, Centro y Sur (Flórez et al., 2018).

Épocas de siembra

La planificación de la siembra de los cafetales está asociada a las condiciones

climáticas de la región en cuanto a variables como radiación, temperatura y disponibilidad de agua en el suelo, ya que determinan la dinámica de crecimiento y desarrollo de las plantas (Jaramillo y Arcila, 1996; Jaramillo et al., 2011).

Para la siembra en zonas con temperatura media superior a 20°C deben establecerse los germinadores aproximadamente con 8 meses de anticipación. En zonas con temperatura media entre 18 y 19°C la semilla debe sembrarse en el germinador diez meses antes de la siembra en el campo, siempre y cuando se utilicen bolsas de tamaño 17 x 23 cm, las cuales permiten mantener los colinos durante seis meses en etapa de almácigo (Jaramillo y Arcila, 1996).

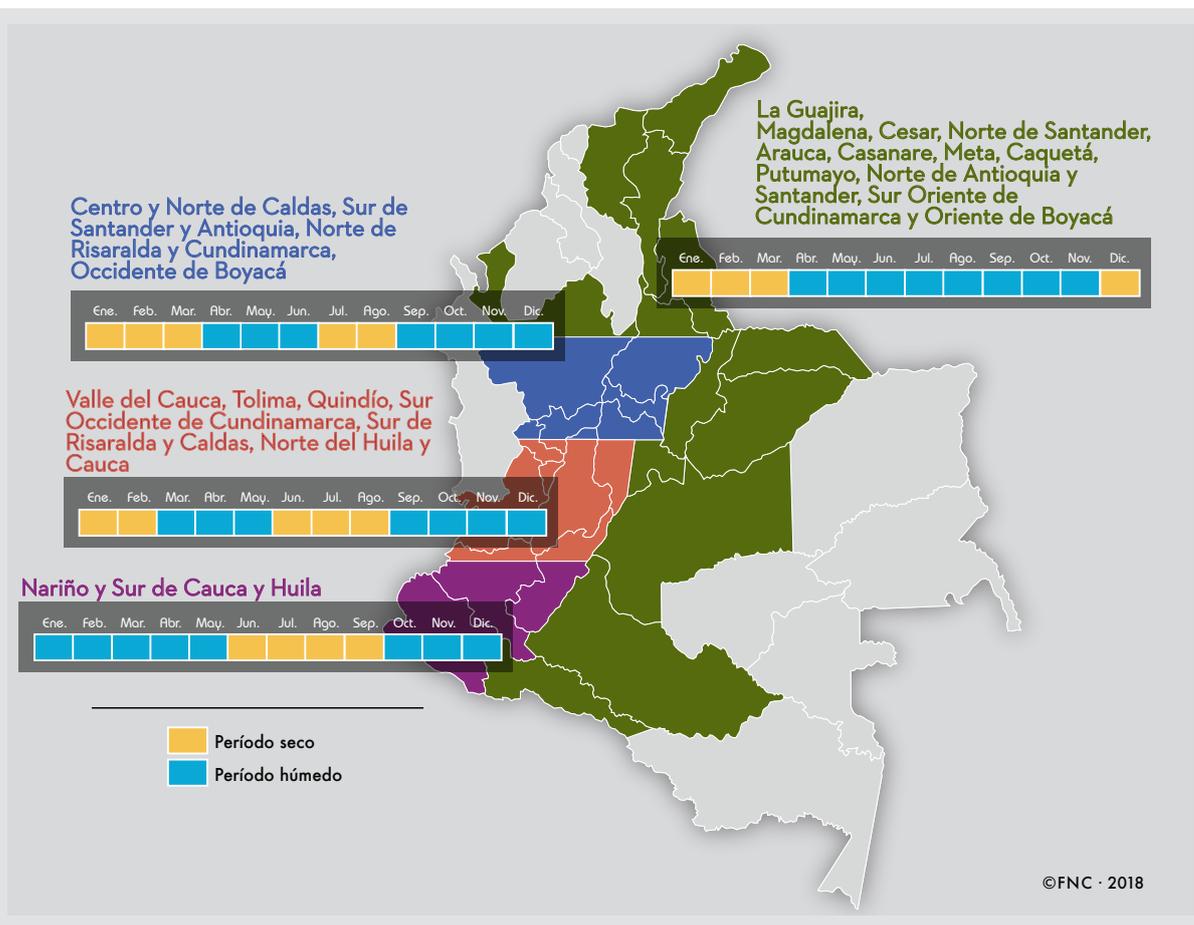


Figura 8. Períodos secos y húmedos en la zona cafetera de Colombia.

Según la probabilidad de ocurrencia de lluvias en las zonas cafeteras del país (Figura 8), las épocas recomendadas para el establecimiento de germinadores, almácigos y la siembra en el campo se describen en la Figura 9 (Jaramillo, 2016).

Además de la época adecuada para la siembra del café, la planificación está relacionada con la disponibilidad de recursos económicos para realizar las labores de adecuación del terreno, el trazo, el hoyado, la siembra y el

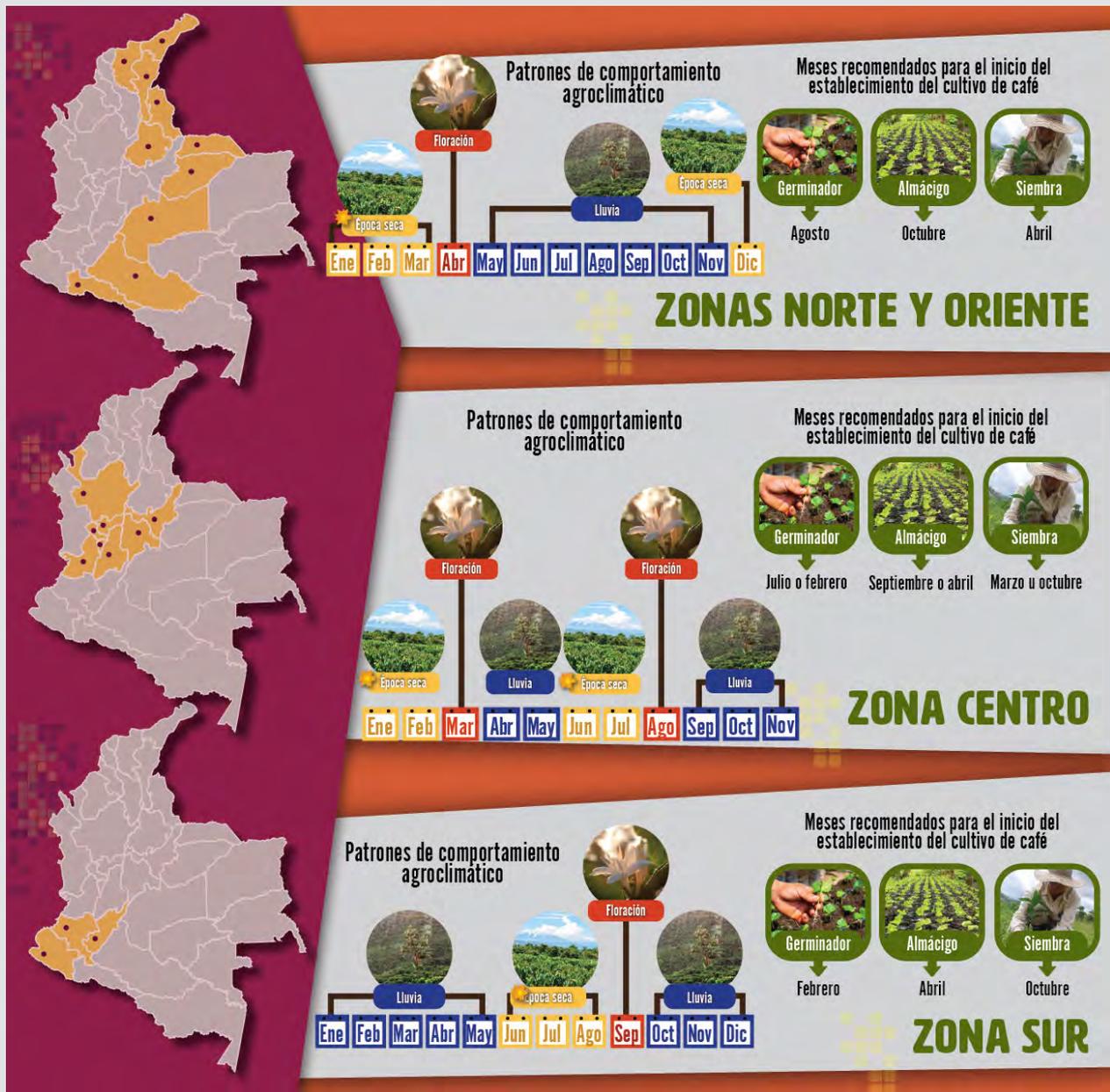


Figura 9. Épocas de siembra para el cultivo de café en la zona cafetera colombiana.

manejo agronómico del cultivo luego de establecido.

Germinadores y almácigos para siembra y resiembras

La obtención de un material vegetal sano para la siembra debe considerar la oportunidad de la labor, 6 a 8 meses antes de la siembra. Debe asegurarse la calidad de la semilla, los germinadores deben elaborarse siguiendo las recomendaciones para el manejo de *Rhizoctonia solani* o mal de tallito, utilizar el tamaño de bolsa adecuado para el tiempo de trasplante al campo y el sustrato debe estar libre de nematodos y cochinillas. Las chapolas deben ser trasplantadas una vez abran sus hojas cotiledonares y si el sustrato no contiene suficiente materia orgánica, debe implementarse una correcta fertilización para combatir problemas fitosanitarios como la mancha de hierro ocasionada por el hongo *Cercospora coffeicola* (Gaitán et al., 2011).

Durante el primer año de establecimiento del cultivo puede presentarse muerte de algunos árboles asociada a plagas, enfermedades o daños mecánicos; una forma de asegurar la densidad de siembra en los sistemas de producción, es a través de la recuperación de los sitios perdidos por medio de la resiembra de colinos. Con este fin, debe planificarse la elaboración de almácigos con mínimo un 10% más del total de plantas a establecer en el lote.

Al establecer el cultivo de café, el propósito es lograr su máxima productividad, manteniendo el número adecuado de plantas por unidad de área, con todas las plantas sanas y productivas durante el ciclo del cultivo. Un aumento progresivo en la pérdida de sitios en un lote o en la finca, puede tener como consecuencias la reducción de la producción de café (Tabla 4), presencia de arvenses de alta competencia para el cultivo de café y problemas de erosión (Moreno, 2010).

Densidad de siembra

La densidad de siembra se define como el número de plantas por unidad de área de terreno y se expresa en número de plantas por hectárea. Dentro de ella, las distancias de siembra corresponden a la forma en la cual se distribuyen las plantas en el terreno, para alcanzar una densidad.

El número de plantas de café a establecer por hectárea está determinado por la longitud del período de crecimiento y la duración del ciclo de producción asociado a la oferta ambiental y a la variedad, es decir, la edad y el número de cosechas con los cuales se consigue mantener el cultivo productivo y con opción de manejo, especialmente en la recolección (Figura 10).

Bajo condiciones en las cuales las plantas de café presentan bajas tasas de

Tabla 4.

Producción promedio de café pergamino seco (arrobas (@) por hectárea), según el porcentaje de sitios perdidos en el primer año después del zoqueo.

Sitios perdidos (%)	0	5	10	15	20	25	30
Producción @	282	259	269	232	219	201	195

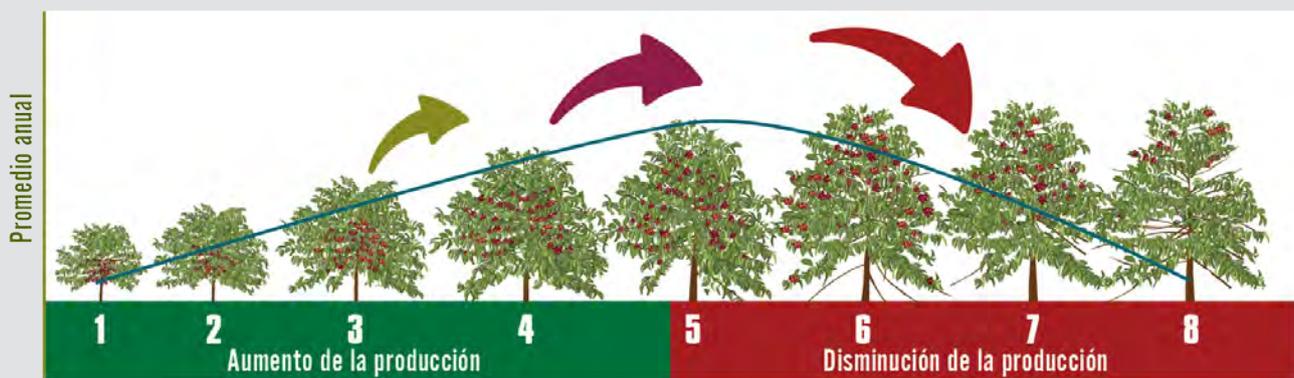


Figura 10. Representación del crecimiento de las plantas y de la producción promedio por edad, a través del tiempo.

crecimiento y los ciclos de producción son largos (7 y 8 años), para hacer un mejor uso del terreno y aumentar la producción, existe la posibilidad de establecer las máximas densidades de siembra (10.000 plantas/ha) con variedades de porte bajo. En condiciones donde las plantas de café crecen rápidamente y los ciclos de producción son cortos (5 y 6 años) la densidad de siembra debe ajustarse a rangos intermedios de 7.000 a 9.000 plantas/ha con variedades de porte bajo.

Según las condiciones de clima y suelo debe determinarse la necesidad de establecer el cultivo a libre exposición solar o bajo sombra. Si se requiere plantar árboles de sombrío, esta actividad debe hacerse preferiblemente antes de sembrar el cultivo de café; si el sombrío permanente no se encuentra establecido, debe iniciarse la siembra de un sombrío transitorio de rápido crecimiento. Para garantizar que los árboles de sombrío permanente y transitorio sean establecidos correctamente, también debe contarse con viveros construidos con anticipación y suficiente semilla.

Cálculo de la densidad de siembra (número de plantas por hectárea).

La densidad de siembra del cultivo se calcula de acuerdo con las distancias de siembra y el arreglo espacial. Para calcular la densidad de siembra con un arreglo espacial en triángulo con sus tres lados iguales o tres bolillo, se utiliza la constante 1,154; la cual indica que se incrementa la densidad en un 15%.

Si el triángulo tiene uno de sus lados con diferente distancia, debe hallarse la distancia paralela entre surcos y luego aplicar la fórmula para densidad, utilizada en arreglos en cuadro o en rectángulo.

En la Tabla 5 se muestra la densidad calculada según el arreglo espacial. Se observa cómo con el arreglo espacial en triángulo la densidad se incrementa con relación a los arreglos en cuadro o en rectángulo.

Densidades de población en siembras y zocas

A través de investigaciones desarrolladas en plantaciones establecidas con café

Siembra en triángulo

$$h = \sqrt{ds^2 - \left(\frac{dp}{2}\right)^2}$$

Una hectárea (ha) = 10.000 m²
 dp = distancia entre plantas que forman el triángulo
 ds = distancia diagonal entre surcos que forman el triángulo
 h = distancia paralela entre surcos

$$\text{Densidad} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{dp \times h}$$



Siembra en cuadro o rectángulo

Una hectárea (ha) = 10.000 m²
 dp = distancia entre plantas
 ds = distancia entre surcos

$$\text{Densidad} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{dp \times ds}$$

Siembra en fajas o barreras

Una hectárea (ha) = 10.000 m²
 dp = distancia entre plantas
 ds = distancia entre surcos de café
 df = distancia de la faja (barrera de otro cultivo)
 n = número de surcos de café dentro de cada faja
 Dms = distancia media entre surcos

$$D_{sm} = \frac{df + (n - 1) \times ds}{n}$$

$$\text{Densidad} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{dp \times D_{ms}}$$

Tabla 5.

Cálculo de la densidad de siembra con diferentes arreglos espaciales.

Distancia entre plantas (m)	Distancia entre surcos (m)						Arreglo espacial
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
1,0	11.547	10.206	9.167	8.333	7.647	7.071	Triángulo
1,1		9.543	8.524	7.718	7.061	6.514	
1,2			8.019	7.226	6.588	6.062	
1,3				6.833	6.204	5.690	
1,4					5.891	5.384	
1,5						5.132	
1,0	10.000	9.091	8.333	7.692	7.143	6.667	Cuadro o rectángulo
1,1		8.264	7.576	6.993	6.494	6.061	
1,2			6.944	6.410	5.952	5.556	
1,3				5.917	5.495	5.128	
1,4					5.102	4.762	
1,5						4.444	

Variedad Castillo® se han obtenido resultados relacionados con el arreglo espacial y la densidad de siembra para el

cultivo en las diferentes regiones cafeteras del país. A continuación se presentan algunas prácticas para asegurar

la densidad de siembra y aspectos concernientes con la respuesta de altas poblaciones de tallos y raleos en el ciclo de producción de las zocas.

Densidad de siembra y arreglo espacial en plantaciones de Variedad Castillo® (variedad de porte intermedio). En las Estaciones Experimentales (E.E.) Naranjal en Chinchiná (Caldas) y Paraguaicito en Buenavista (Quindío), se evaluaron variables de crecimiento bajo tres arreglos espaciales en café Variedad Castillo® con distancias de 1,0 x 2,0 m dos tallos por sitio (5.000 plantas/ha), 0,75 x 1,4 m (9.523 plantas/ha) y 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha). El número de cruces y la altura promedio por planta en la localidad de Naranjal fueron iguales en los tres arreglos espaciales. Para el diámetro basal de la copa la tasa de crecimiento promedio por mes fue de 5,7; 6,1 y 5,4 cm, respectivamente (Figura 11).

En la Estación de Paraguaicito hubo diferencias entre el arreglo espacial 1,0 x 2,0 m y los arreglos espaciales 0,75 x 1,40 m y 1,0 x 1,0 m en el número de cruces promedio por planta registradas a los 42 meses de edad de la plantación. La tasa de crecimiento en altura promedio por mes fue de 5,6; 6,2 y 6,1 cm y la tasa de crecimiento promedio por mes para el diámetro basal de copa fue de 4,7; 5,2 y 4,8 cm, respectivamente (Figura 11).

La producción acumulada promedio de cuatro cosechas, registradas entre los años 2012 y 2016, para la localidad de Naranjal, fue igual en los tres arreglos espaciales. Para las localidades de Paraguaicito y La Catalina, fue igual entre los arreglos de 0,75 x 1,40 m y 1,0 x 1,0 m, el arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m presentó la menor producción de café cereza en estas localidades con

diferencias estadísticas respecto a los otros arreglos (Figura 12).

Según lo reportado por Arcila et al. (2007), a partir de la evaluación de densidades de siembra en varias localidades de la zona cafetera colombiana, cada sitio tiene una oferta ambiental (suelo y clima) que determina un potencial de producción específico que puede optimizarse con la densidad de siembra, para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles de cada sitio.

Densidad de siembra con variedades de café de porte bajo. Densidades de siembra de 2.500, 5.000, 7.500, 10.000 y 12.500 plantas por hectárea, evaluadas con variedad Colombia en diferentes localidades de las regiones cafeteras del país, demuestran la importancia de establecer altas poblaciones de plantas para alcanzar los mayores rendimientos del cultivo en los ciclos de producción (Arcila, 2002).

Los resultados son concluyentes al considerar que con variedades de café de porte bajo, las densidades de siembra inferiores a 5.000 plantas/ha ocasionan una disminución drástica de la producción, como resultado de la poca eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles (agua, energía y nutrientes) y la exigencia de largos períodos de tiempo para alcanzar un índice de área foliar óptimo. En el extremo se encuentran las densidades de siembra que superan las 10.000 plantas/ha con las cuales el incremento en la producción es despreciable y la competencia intraespecífica aumenta, ocasionando un acelerado agotamiento del cultivo (Arcila, 2002).

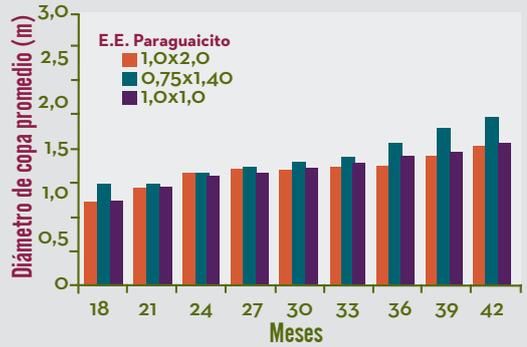
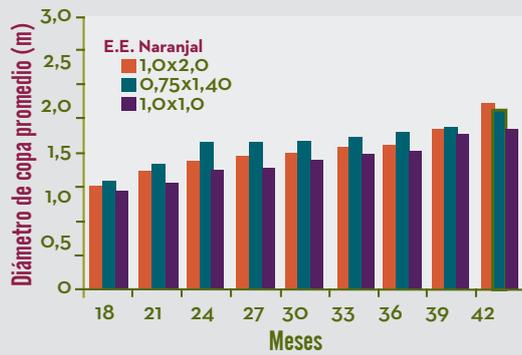
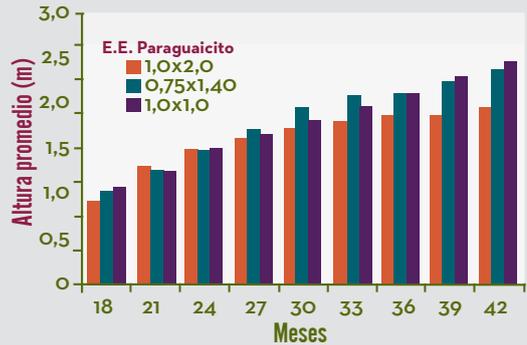
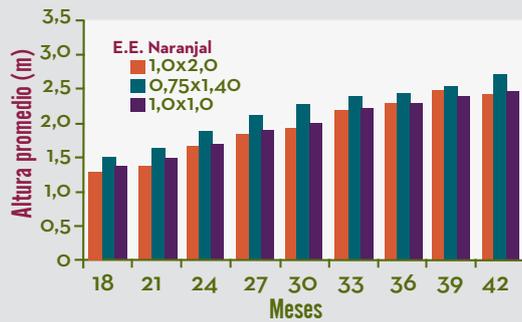
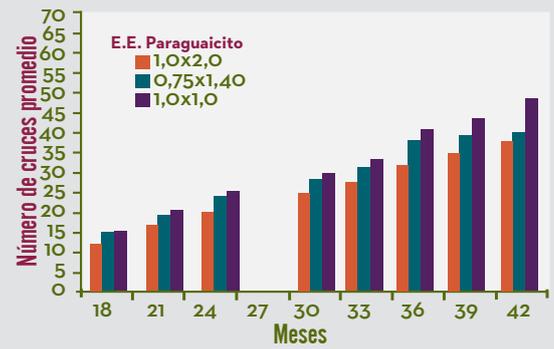
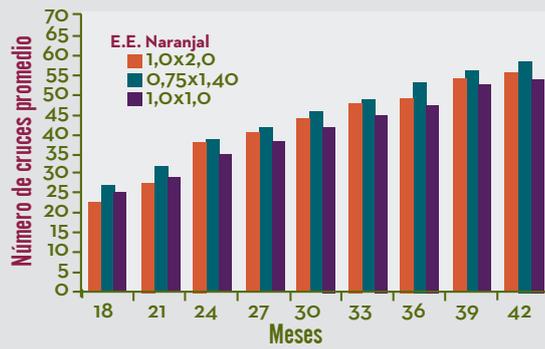


Figura 11. Número de cruces promedio, altura promedio y diámetro basal de la planta de café, en las Estaciones Experimentales (E.E.) Naranjal y Paraguaicito.

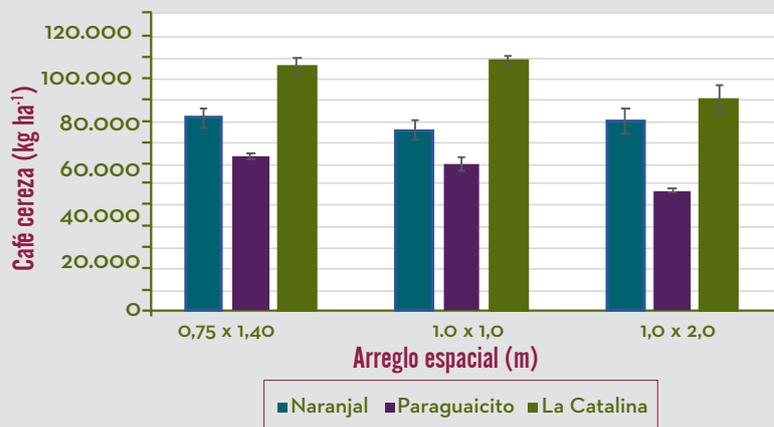


Figura 12. Producción de café cereza acumulada en kg ha⁻¹ Estaciones Experimentales Naranjal, Paraguaicito y La Catalina.

Según los resultados presentados por Arcila (2002), el análisis por localidades muestra para la producción de café acumulada de cuatro cosechas, en La Unión (Nariño), con una densidad de siembra de 7.500 plantas/ha; un 25% más de producción que la obtenida con 5.000 plantas/ha, a su vez la producción alcanzada con 10.000 plantas/ha fue un 13% mayor a la obtenida con 7.500 plantas/ha (Figura 13).

En El Tambo (Cauca), una densidad de siembra de 7.500 plantas/ha representó un 20% más de producción acumulada que la obtenida con 5.000 plantas/ha; al incrementar la densidad de siembra de 7.500 plantas/ha a 10.000 plantas/ha la producción aumentó en 8% (Figura 14). En estas dos localidades representativas

de la caficultura de la zona sur del país, los ciclos de producción pueden alcanzar hasta cinco cosechas con densidades entre 7.500 y 10.000 plantas por hectárea.

La producción de café para un acumulado de cinco cosechas en la localidad de Sevilla (Valle del Cauca), con una densidad de siembra de 7.500 plantas/ha representó un 21% más de producción que la obtenida con 5.000 plantas/ha; a su vez la producción con 10.000 plantas/ha fue un 31% mayor a la obtenida con 7.500 plantas/ha (Figura 15).

Finalmente, en la localidad de Sasaima (Cundinamarca) con una densidad de siembra de 7.500 plantas/ha se obtuvo un 32% más de producción que la registrada

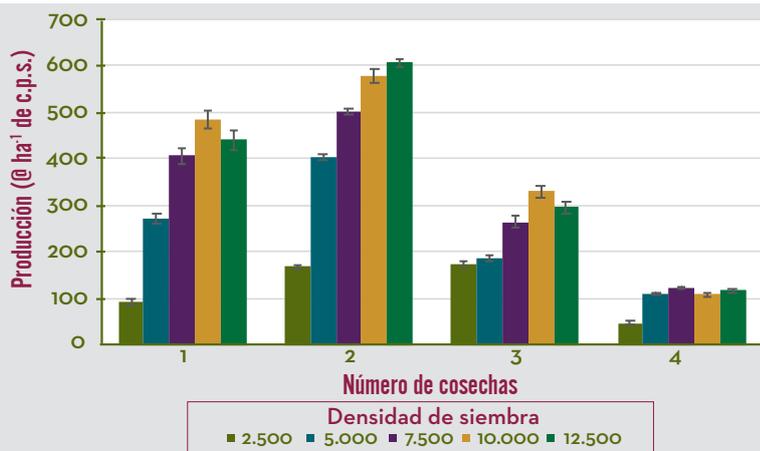


Figura 13. Producción de arrobas café pergamino seco por hectárea (@ ha⁻¹), en La Unión - Nariño.

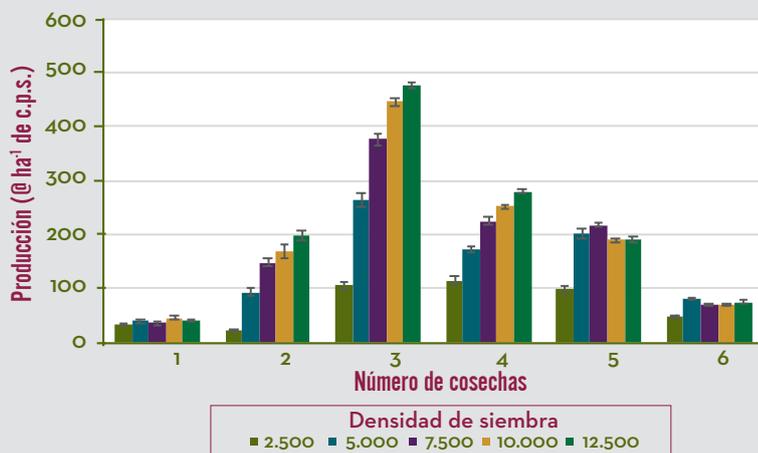


Figura 14. Producción de arrobas café pergamino seco por hectárea (@ ha⁻¹), en El Tambo - Cauca.

con 5.000 plantas/ha y con una población de 10.000 plantas/ha el incremento en la producción fue un 9% mayor a lo registrado con 7.500 plantas/ha (Figura 16).

Bajo las condiciones predominantes en la zona central cafetera, el número de cosechas que pueden obtenerse con densidades entre 7.500 y 10.000 plantas/ha oscila entre cuatro y cinco cosechas.

Estrategias para asegurar la densidad de siembra en cultivos de café. La densidad de siembra debe asegurarse durante todo el ciclo de producción del cultivo, ya sea con plantas compuestas por un solo tallo o plantas con dos o más ejes.

En plantaciones establecidas por siembra una forma de mantener la densidad de siembra es a través de las resiembras de los sitios faltantes durante el primer año. Si las siembras se realizan con colinos descopados y estos presentan problemas de desarrollo en uno de sus ejes, puede corregirse realizando un nuevo descope en el tallo más vigoroso de la planta, antes del primer año de edad del cultivo, así se logra recuperar la emisión de dos nuevos tallos y mantener la población inicial de la plantación (Rendón et al., 2015).

A partir de la práctica de recuperación de tallos evaluada en un lote de Variedad Castillo® de seis meses de edad,

Figura 15. Producción de arrobas café pergamino seco por hectárea (@ ha⁻¹), en Sevilla- Valle del Cauca.

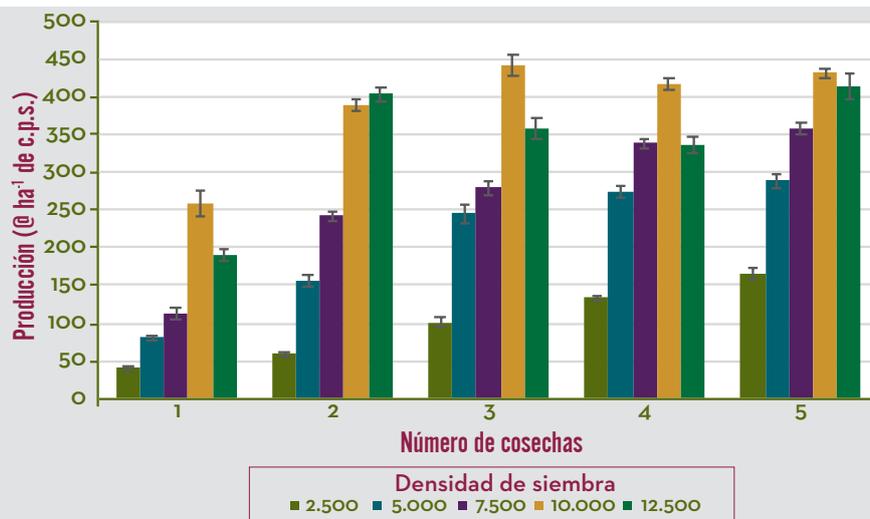
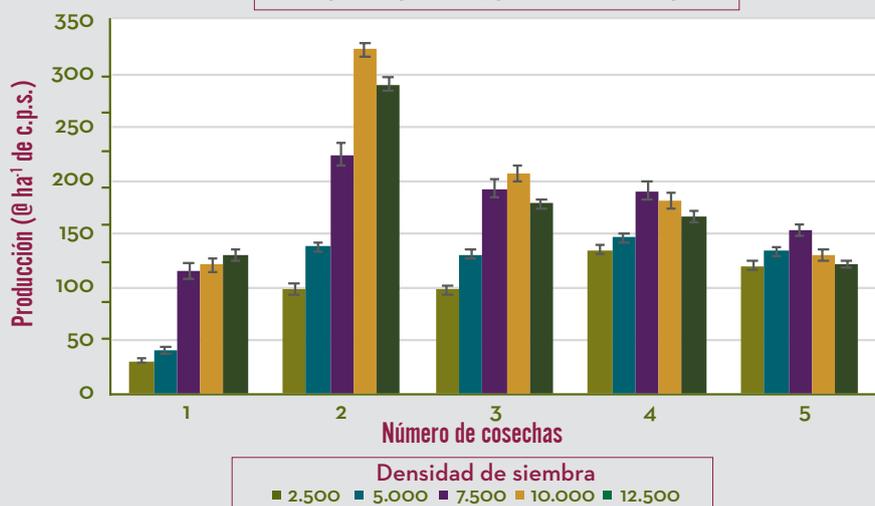


Figura 16. Producción de arrobas café pergamino seco por hectárea (@ ha⁻¹) en Sasaima - Cundinamarca.



establecido con una distancia de 1,0 x 2,0 m y una densidad de 5.000 plantas por hectárea, provenientes de almácigos con colino descopado (dos tallos por sitio), se identificó en el diagnóstico inicial del estado de la plantación, un 17% de las plantas con problemas de desarrollo en uno de sus ejes. Al descopar las plantas con mal desarrollo de uno de los tallos, después de 273 días se restablecieron los dos tallos en mínimo el 78% de los sitios, recuperándose la mayoría del número de tallos por hectárea establecidos (Rendón et al., 2015).

Densidad de población en zocas

Para optimizar la densidad de siembra en el cultivo, uno de los momentos indicados en que puede ajustarse el número de plantas o tallos por hectárea es la etapa de renovación del cultivo. Entre las alternativas de renovación del café, el zoqueo de los tallos a 30 cm del suelo es una práctica que permite la recuperación de nuevo tejido vegetal a través de la formación de brotes o nuevos tallos en la planta. En este tipo de renovación se ha demostrado

que, al aumentar el número de tallos por hectárea con relación a la densidad inicial, puede incrementarse la producción sin incurrir en costos adicionales (Mestre y Salazar, 1995). Con la renovación por zoca es normal que se dejen varios tallos por sitio y, en algunos casos, se realizan entresacas o raleos durante el ciclo de producción, para ajustar la densidad de población y así obtener un mayor número de cosechas.

Respuesta de la producción en zocas de café a la práctica de raleo de tallos.

En una investigación realizada en tres Estaciones Experimentales de Cenicafé, Naranjal (Chinchiná, Caldas), San Antonio (Floridablanca, Santander) y El Tambo (El Tambo, Cauca), se evaluaron densidades de población de tallos, con raleos efectuados después de la segunda cosecha, hasta alcanzar un ciclo de producción de cuatro cosechas. Con una densidad inicial de 20.000 tallos/ha al cabo de dos cosechas, se realizó el raleo del 25%, 50% y el 75% de los tallos para dejar 15.000, 10.000 o 5.000 tallos/ha, respectivamente, durante otras dos cosechas. También, con una densidad



inicial de 15.000 tallos/ha se hizo el raleo de un 33% de los tallos después de la segunda cosecha, para dejar 10.000 tallos/ha y se comparó con una densidad de siembra de 10.000 tallos/ha sin raleo durante cuatro cosechas (Moreno et al., 2014). En la Figura 17 se presenta la producción acumulada de café pergamino seco obtenida con las diferentes densidades de siembra y el raleo de tallos después de la segunda cosecha. En zonas de Variedad Castillo® con un arreglo espacial de 1,0 x 1,0 m, los resultados demostraron que con la práctica de raleo no se alcanzan mayores producciones a las obtenidas con densidades de 10.000 tallos/ha en 10.000 sitios sin raleo, con un ciclo de cuatro cosechas. En un arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m, es igual mantener una densidad

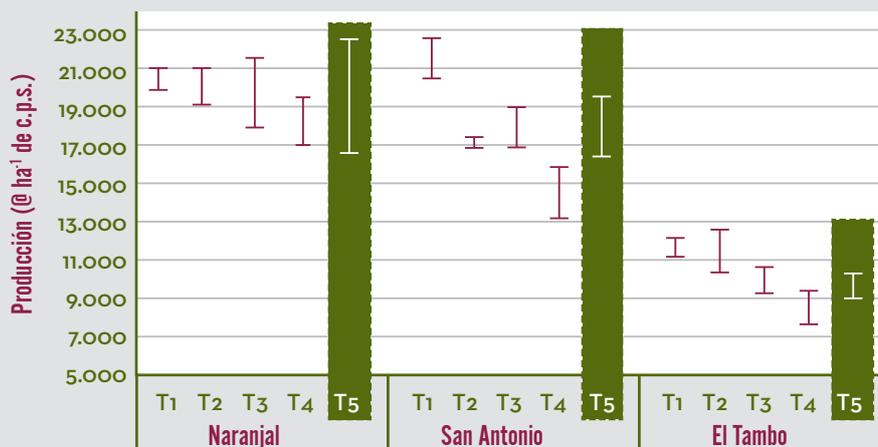
de 10.000 tallos/ha en 5.000 sitios sin raleo durante cuatro cosechas, que iniciar el ciclo de producción con densidades superiores para efectuar raleos del 25%, 33% y 50% de los tallos después de la segunda cosecha.

En este mismo estudio pudo determinarse que raleos del 75% de los tallos después de la segunda cosecha, para conseguir una densidad de siembra de 5.000 plantas/ha, disminuyen la producción del ciclo (Figura 18).

¿Cómo aumentar la densidad de tallos en zocas según la densidad de siembra? En plantaciones con densidades de siembra inferiores a 5.000 plantas/ha pueden

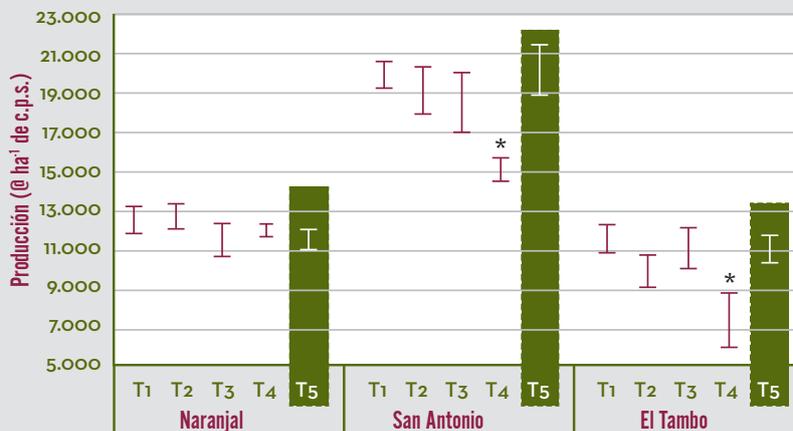
T1: Densidad 20.000 tallos raleo 15.000 tallos
 T2: Densidad 20.000 tallos raleo 10.000 tallos
 T3: Densidad 15.000 tallos raleo 10.000 tallos
 T4: Densidad 20.000 tallos raleo 5.000 tallos
 T5: Densidad 10.000 tallos

Figura 17. Producción acumulada de café pergamino seco (kg ha⁻¹) con el arreglo espacial 1,0 x 1,0 m, según la densidad de tallos por hectárea.



T1: Densidad 20.000 tallos raleo 15.000 tallos
 T2: Densidad 20.000 tallos raleo 10.000 tallos
 T3: Densidad 15.000 tallos raleo 10.000 tallos
 T4: Densidad 20.000 tallos raleo 5.000 tallos
 T5: Densidad 10.000 tallos

Figura 18. Producción acumulada de café pergamino seco (kg ha⁻¹) con el arreglo espacial 1,0 x 2,0 m, según la densidad de tallos por hectárea.



seleccionarse dos tallos por sitio. Con densidades de siembra entre 5.000 y 7.500 plantas/ha se dejan intercalados dentro de los surcos uno y dos tallos por sitio; si se tienen densidades superiores a las 7.500 plantas/ha debe asegurarse un tallo por sitio, siempre y cuando los sitios con zocas muertas sean reemplazados oportunamente con resiembras de colinos de café (Figura 19).

Análisis de la fertilidad del suelo antes de la siembra

Antes de establecer el cultivo es imprescindible tomar muestras de suelo para el análisis de fertilidad. A partir de los resultados que se obtengan podrá determinarse si es necesario la aplicación de enmiendas y materia orgánica, (Sadeghian y Duque, 2003); esta práctica puede ser determinante en el crecimiento

y desarrollo del cultivo y en la optimización del uso de los fertilizantes.

Preparación del terreno para la siembra

Según el uso del suelo, si el lote se encuentra establecido con café envejecido o con otros cultivos, proviene de potreros o barbecho, las labores de preparación estarán orientadas al acondicionamiento del área de siembra, retirando la madera o el material vegetal de mayor tamaño y realizando el control de las arvenses antes de iniciar el trazo.

La labor de trazo se realiza una vez definida la densidad de siembra y el arreglo espacial; las distancias de siembra más amplias corresponden al espacio que queda entre los surcos o hileras del cultivo y las distancias más cortas al espacio entre plantas dentro del surco.

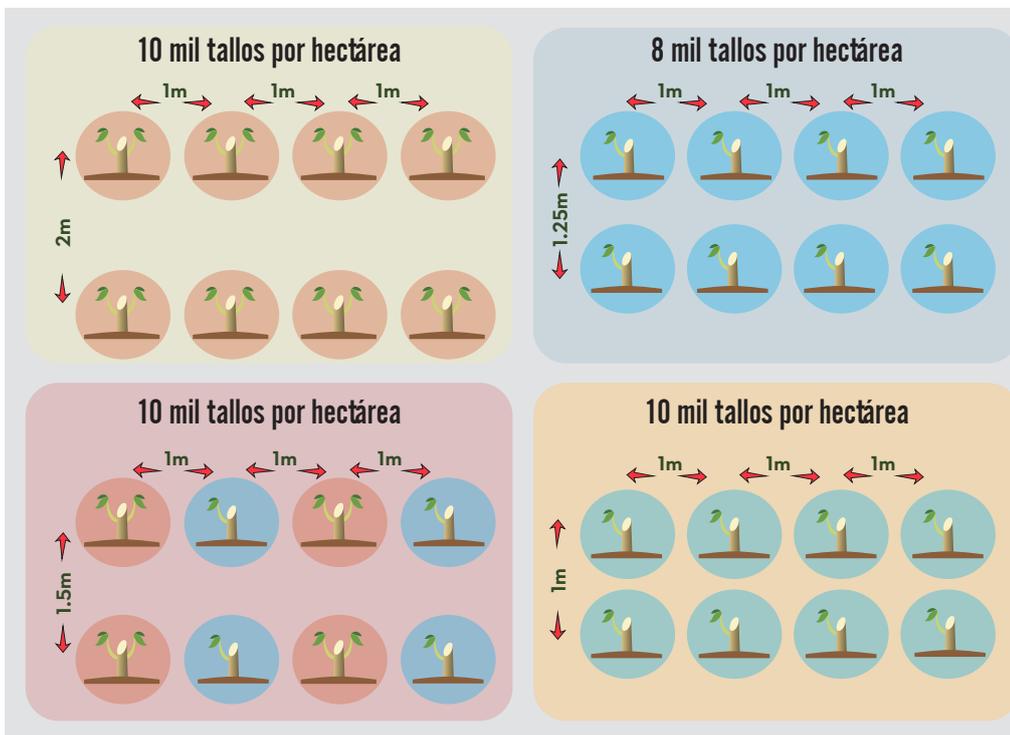


Figura 19. Esquema para obtener el número de tallos por zoca y la densidad de tallos por hectárea, según las distancias de la siembra.

Medición de la pendiente del terreno. Para definir las distancias con las cuales obtener la densidad de siembra correcta, es importante conocer el grado de pendiente o inclinación del terreno. En la práctica, la pendiente se determina con ayuda de una cinta métrica, tomando por ejemplo una distancia horizontal de 2,0 m lineales sobre la ladera y prolongando el extremo de la línea horizontal hacia abajo, para obtener la distancia vertical con respecto a la ladera. Finalmente el porcentaje (%) de pendiente del terreno se calcula mediante la fórmula matemática que se presenta en la Ecuación <1>.

$$Pendiente = \frac{Distancia\ vertical\ (m) \times 100}{Distancia\ horizontal\ (m)} \quad <1>$$

En la Figura 20, la distancia horizontal es de 2,0 m y la vertical de 1,0 m, para un porcentaje de pendiente del 50%.

Para determinar el sistema de siembra más adecuado de acuerdo a la pendiente del terreno, en la Tabla 6 se presentan los valores calculados en porcentaje.

La pendiente de un terreno puede expresarse en porcentaje o en grados

sexagesimales. Para obtener el valor en grados se aplica la inversa de la tangente o arco de la tangente (Ecuación <2>).

$$Pendiente\ (grados) = ATAN\left(\frac{Pendiente\ (\%)}{100}\right) \quad <2>$$

Trazo en terrenos pendientes. El trazo en terrenos de alta pendiente se realiza proyectando las distancias entre surcos sobre un plano horizontal; si se traza a “cabuya pisada” sobre el terreno, debe corregirse la distancia entre surcos, según la pendiente del terreno, para asegurar la densidad de siembra como se muestra en la Tabla 7. Para calcular las distancias corregidas (hipotenusa), se aplica la razón trigonométrica de coseno, como se presenta en la Ecuación <3>.



<3>

Sistemas de trazo y arreglo espacial. La forma como se disponen las plantas en el terreno además de organizar los cultivos en los sistemas de producción, tiene



Figura 20. Medición de la pendiente en el terreno.

Tabla 6.

Valores calculados para determinar la pendiente del terreno.

Distancia horizontal (m)	Distancia vertical (m)	Pendiente del terreno (%)
2	0,1	5
2	0,2	10
2	0,3	15
2	0,4	20
2	0,5	25
2	0,6	30
2	0,7	35
2	0,8	40
2	0,9	45
2	1,0	50
2	1,1	55
2	1,2	60
2	1,3	65
2	1,4	70
2	1,5	75
2	1,6	80
2	1,7	85
2	1,8	90
2	1,9	95
2	2,0	100

Tabla 7.

Distancias corregidas para trazo a cabuya pisada, según la pendiente del terreno.

Pendiente del terreno (%)	Distancia entre surcos de café (m)					
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
30	1,04	1,15	1,25	1,36	1,46	1,57
40	1,08	1,18	1,29	1,4	1,51	1,62
50	1,12	1,23	1,34	1,45	1,57	1,68
60	1,17	1,28	1,4	1,52	1,63	1,75
70	1,22	1,34	1,46	1,59	1,71	1,83
80	1,28	1,41	1,54	1,66	1,79	1,92
90	1,35	1,48	1,61	1,75	1,88	2,02
100	1,41	1,56	1,7	1,84	1,98	2,12

Por ejemplo, para la siembra de café con una distancia horizontal de 1,4 m entre surcos, en un terreno con una pendiente del 60,0% equivalente a 30,96°, la distancia corregida para el trazo a “cabuya pisada” deberá ser de 1,63 m.

como objetivos hacer un uso eficiente del suelo, mejorar el aprovechamiento de la energía solar y facilitar el manejo del cultivo. Algunos sistemas de trazado son: surcos sencillos, siembras en triángulo, siembras en rectángulo, en cuadro y en curvas a nivel.

Siembra en rectángulo. En esta distribución se considera la mayor longitud como la distancia entre surcos y la menor longitud

como la distancia entre plantas (Figura 21).

Siembra en cuadro. Se consideran longitudes equidistantes, que pueden corresponder a la distancia entre plantas o entre surcos (Figura 22). En las siembras al cuadro, tanto la distancia de siembra entre surcos como entre plantas son iguales, por ejemplo, 1,2 x 1,2 m.

Siembra en triángulo. Las siembras con arreglo espacial en triángulo, comúnmente conocido como tres bolillo, incrementan la densidad de plantas en un 15%, comparada con una siembra en cuadro o en rectángulo, siempre y cuando las distancias del triángulo en sus tres lados sean iguales. Si el triángulo se forma con una distancia mayor entre surcos, en relación a la distancia entre plantas, la densidad de plantas se incrementa en menor proporción (Figura 23).

Siembra en curvas a nivel. Este arreglo tiene como finalidad contribuir a la conservación del suelo cuando el grado de pendiente es alto. Este sistema de siembra permite establecer las plantas en hileras o surcos a través de la pendiente, los cuales se ajustan a la forma topográfica del terreno (Figura 24).

Siembras con barreras de otros cultivos asociados. Los sistemas de producción tienen la posibilidad de establecerse en asocio con otra u otras especies de valor económico o de conservación, considerando una de las especies como cultivo principal (Figura 25). La forma cómo se define la distribución espacial de los cultivos en asocio debe garantizar una mínima competencia entre los cultivos y requiere un manejo agronómico independiente, como la fertilización. Entre las especies de común asocio con el

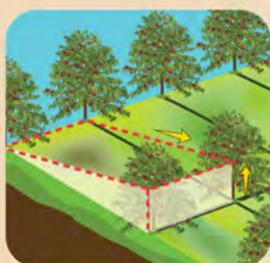
cultivo de café en Colombia se encuentra el plátano, especies frutales semiperennes y perennes y especies forestales con propósito económico.

Una misma densidad de siembra puede alcanzarse con diferentes arreglos espaciales. Si se tiene un tallo por sitio y se decide establecer 10.000 plantas/ha, una alternativa es un arreglo en rectángulo con distancias de siembra de 0,72 m entre plantas y 1,40 m entre surcos; otra opción corresponde a un arreglo en cuadro, con distancias de 1,0 m entre plantas y entre surcos. Para la siembra de colinos descopados con una densidad de 5.000 plantas/ha, una alternativa es un arreglo en rectángulo con distancias de siembra de 1,0 m entre planta y 2,0 m entre surcos, otra opción corresponde a un arreglo en cuadro con distancias de 1,44 m entre plantas y entre surcos (Figura 26).

Hoyado. Los puntos marcados durante el trazo indican el centro para la elaboración de los hoyos, el tamaño del hoyo debe proporcionar el espacio suficiente para la siembra del colino de café. Para almácigos realizados en bolsas de 17 x 23 cm se sugieren hoyos con dimensiones de 25 x 25 cm hasta 30 x 30 cm por 30 cm de profundidad.

Siembra de los colinos. La siembra integra varias etapas: el transporte del colino al lote, la distribución de los colinos a los hoyos, la nivelación del colino en el hoyo para lograr una correcta profundidad de siembra, retirar la bolsa, centrar el árbol, incorporar el suelo gradualmente y presionar entre las paredes del hoyo desde el fondo hasta cubrir por completo el pilón del colino. Para una buena siembra debe contarse con colinos de excelente calidad y con la edad óptima, descartar colinos de café con problemas en el desarrollo de la raíz; si el material supera la edad de

Arreglos espaciales



En rectángulo

Figura 21.
Arreglo espacial de las plantas de café en rectángulo.



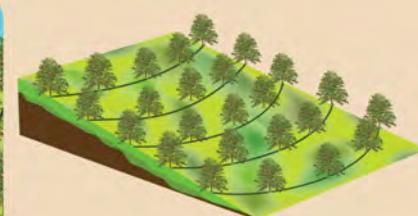
En cuadro

Figura 22.
Arreglo espacial de las plantas de café en cuadro.



En triángulo

Figura 23.
Arreglo espacial de las plantas de café en triángulo.



En curvas a nivel

Figura 24.
Arreglo espacial de las plantas de café en curvas a nivel.



Con cultivos asociados

Figura 25.
Arreglo espacial de las plantas de café con barreras o fajas de otros cultivos asociados.



0,72x1,40 m (1 tallo por sitio)



1,0x2,0 m (2 tallos por sitio)



1,0x1,0 m (1 tallo por sitio)



1,44x1,44 m (2 tallos por sitio)

Figura 26. Arreglo espacial de las plantas de café con uno y dos tallos por sitio.

trasplante se presenta mal formación en la raíz pivotante, ocasionando volcamiento de la planta en el sitio de siembra. Si se requiere incorporar materia orgánica o enmiendas, el momento adecuado para realizar esta labor es en la siembra.

y los arreglos espaciales determinan en el tiempo, el grado de competencia entre las plantas de café; a medida que este aumenta, las plantas pierden su potencial de producción y se dificultan las labores de manejo de la plantación y la recolección de las cosechas (Uribe, 1977).

Sistemas de renovación para estabilizar la productividad del cultivo en los ciclos de producción

El café es un cultivo perenne que requiere de renovaciones para mantener altos niveles de producción. La duración del ciclo productivo de los cafetales está relacionada con las condiciones de suelo, clima, topografía, variedad y manejo del cultivo (Ramírez y Moreno, 2013; Salazar y Mestre, 1991). Las distancias de siembra

Para estabilizar la producción se ha recomendado dividir el área cultivada en quintas partes, bajo condiciones de ciclos cortos y altas productividades, con el fin de mantener 80% de los árboles en producción y 20% renovado (Mestre y Ospina, 1994 a, b). En el cultivo de café, además del sistema de siembra, se conocen prácticas de renovación denominadas “podas”. La necesidad de implementar sistemas de renovación en cafetales debe ser analizada en función de la edad, la variedad, la densidad de plantas, el número de sitios perdidos y el estado fitosanitario del cultivo (Matiello et al., 2007).

Duración del ciclo de producción

El número de años que un cafetal puede permanecer sin renovación depende del número de cosechas en las cuales se consigue el máximo promedio de producción anual. A medida que los árboles incrementan su altura, el manejo del cultivo se hace más difícil, la producción disminuye y se desplaza hacia el extremo de las ramas y hacia la parte superior del tallo (Arcila et al., 2007; Mestre y Ospina, 1994). Otro aspecto importante es que los cultivos envejecidos pueden ser afectados por problemas fitosanitarios que comprometen el desarrollo de las cosechas futuras, lo que hace necesario efectuar un plan de renovación para recuperar la capacidad productiva.

Sistemas de poda

Los diferentes tipos de podas evaluadas en el cultivo de café ofrecen la posibilidad de adaptar el sistema de producción a las condiciones de oferta ambiental y tipo de manejo. Para seleccionar el tipo de poda a implementar en los planes de renovación los principales criterios a tener en cuenta son el conocimiento del estado del cultivo, en términos de cantidad de sitios faltantes, el estado fitosanitario, los arreglos espaciales, la densidad de plantas y la edad (Arcila et al., 2007).

Poda calavera sin descope o con descope.

Este sistema consiste en eliminar las ramas total o parcialmente, dejándolas solo de 10 cm de longitud, y el tallo con libre crecimiento o con descope por encima de 1,80 m. La poda calavera recupera rápidamente tejido nuevo formando ramas secundarias y numerosos chupones en el tallo principal, en los cuales se desarrolla la cosecha.

Esta alternativa permite estabilizar la producción en cafetales, debido a la rápida recuperación de estructuras vegetativas y reproductivas, con ciclos de máximo dos cosechas. La longitud de corte de las ramas en podas calavera también puede variar dejando entre 20 y 40 cm, para promover un mayor desarrollo de ramas secundarias (Figura 27).

La poda calavera es una opción para ordenar las edades en los sistemas de producción, cuando varios lotes o un alto porcentaje de los cafetales cumplen su ciclo de producción.

Poda pulmón. Consiste en cortar el tallo principal a una altura de 60 cm del suelo, dejando las ramas por debajo del corte o haciendo poda parcial de ellas entre 20 y 40 cm (Figura 28). Por sus características, este tipo de poda tiene como condición la presencia de ramas bajas en el árbol, propio de cafetales con distancias amplias en las calles. La arquitectura de la planta

Una correcta planificación de la renovación de cafetales está determinada por el momento en que termina la cosecha (Cenicafé, 1992; Uribe, 1977). Para regiones con cosecha principal en el primer semestre del año las renovaciones se hacen en el segundo semestre, para regiones con cosecha principal en el segundo semestre las renovaciones se hacen en el primer semestre, y en zonas donde la cosecha se distribuye igual en los dos semestres se recomienda renovar por zoca o poda en el semestre con menor intensidad de lluvias. Realizar la labor de renovación al finalizar la cosecha disminuyen las pérdidas en la producción, debido a que existe una menor cantidad de frutos, se reducen los costos en la cosecha sanitaria y se facilita el manejo de la broca.

se alcanza después de la formación de los brotes, de los cuales se dejan uno o dos por sitio, para incrementar la densidad de tallos en el cultivo y mantener ciclos con una duración de máximo dos cosechas.

Zoca común o total. El corte del tallo se hace a 30 cm sobre el suelo, los nuevos brotes que se forman en la porción de tallo son seleccionados para dejar finalmente uno o dos brotes por sitio (Figura 29). Cada tallo

Figura 27. Forma de intervención del árbol de café con el sistema de poda calavera.



Figura 28. Forma de intervención del árbol de café con el sistema de poda pulmón.



Figura 29. Forma de intervención del árbol de café con el sistema de zoca común.



es equivalente en su arquitectura a una nueva planta y su patrón de crecimiento se da en altura y longitud de las ramas.

Con la renovación por zoca puede incrementarse la densidad de tallos y alcanzar una duración del ciclo de cuatro a cinco cosechas. La zoca común permite iniciar un ciclo nuevo de producción.

Respuesta de la producción de café a la renovación

A través de una investigación realizada en siete Estaciones Experimentales de Cenicafé, sobre diferentes alternativas de renovación en cafetales con variedad Colombia, se evaluó la respuesta en producción, para el acumulado de dos cosechas. De acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 8, las condiciones de oferta ambiental de cada localidad influyen sobre el volumen de cosecha obtenido con cada tipo de poda.

Con relación a los métodos de renovación diferentes a la zoca común, los niveles de producción alcanzados en algunas localidades permiten considerar estas alternativas, con el objetivo de organizar las edades de los lotes y estabilizar la producción en el tiempo. Por su parte, con el sistema de zoca común pueden alcanzarse ciclos de producción entre cuatro y cinco cosechas, garantizando más años productivos sin hacer una nueva intervención del cafetal.

En Variedad Castillo® la evaluación de tres sistemas de renovación, en arreglos espaciales a 1,0 x 2,0 m y dos tallos por sitio (Tabla 9), permitió determinar que con las podas calavera y pulmón, durante los tres primeros años de edad (equivalente a dos cosechas), se alcanza una producción acumulada superior a la obtenida con zoca común, en igual número de años; no obstante, con el sistema de zoca común se obtienen dos cosechas adicionales para completar un ciclo de cuatro cosechas. En la práctica, este sistema de renovación ofrece un mayor número de años productivos en los ciclos de producción.

Tabla 8.

Promedio de la producción acumulada de dos cosechas de café pergamino seco por hectárea, según el sistema de renovación en siete estaciones experimentales.

Estación Experimental	Departamento	Arreglo espacial (m)	Promedio de la producción acumulada (kg ha ⁻¹ de c.p.s.)			
			Poda calavera con descope	Poda calavera sin descope	Poda pulmón	Zoca común
Gigante	Huila	1,5 x 1,5	6.637,0 a	6.016,6 a	6.249,7 a	5.973,8 a
El Tambo	Cauca	2,0 x 2,0	9.353,0 a	7.639,5 ab	5.109,1 bc	3.975,0 c
Paraguacito	Quindío	1,5 x 1,5	14.450,2 a	14.076,7 a	9.411,8 b	8.460,3 b
La Trinidad	Tolima	2,0 x 2,0	5.966,1 a	4.348,8 b	5.086,4 ab	4.246,9 b
Santa Bárbara	Cundinamarca	1,0 x 1,0	8.781,3 c	12.456,4 ab	15.492,1 a	10.452,4 bc
Naranjal	Caldas	1,5 x 1,5	11.387,4 a	9.286,3 b	10.828,9 ab	9.412,1 b
El Rosario	Antioquia	1,0 x 1,0	9.932,2 a	10.435,2 a	12.684,1 a	11.868,9 a

*Para cada estación experimental, letras distintas indican diferencia de promedios según la prueba de comparación Tukey al 5%. Fuente: Bases de datos Experimento FIT0506, Disciplina de Fitotecnia, Cenicafé.

Tabla 9.

Promedio de la producción acumulada de café pergamino seco por hectárea, según el sistema de renovación, para un ciclo de dos cosechas, en dos estaciones experimentales.

Estación Experimental	Departamento	Arreglo espacial (m)	Promedio de la producción acumulada (kg ha ⁻¹ de c.p.s.)		
			Poda pulmón	Zoca común	Poda calavera
Paraguaicito	Quindío	1,0 x 2,0	6.515,0 a	4.897,5 b	6.498,8 a
Naranjal	Caldas	1,0 x 2,0	7.723,8 a	5.633,8 b	7.785,0 a

*Para cada estación experimental, letras distintas indican diferencia de promedios, según prueba de comparación Tukey al 5%.

Las observaciones realizadas sobre plantaciones renovadas, con poda calavera y poda pulmón, han permitido identificar un rápido agotamiento de las plantas en comparación con la zoca común. En dichos sistemas de renovación, el crecimiento de las ramas y los chupones en la longitud y altura de corte del tallo después de la segunda cosecha, hace difíciles las labores de recolección y manejo de plagas y enfermedades, razón por la cual se definen ciclos de producción de corta duración. Uno de los propósitos de la renovación del cultivo de café es la estabilización de la producción y entre las opciones de renovación, la zoca común es el sistema que garantiza más años con producción.

Buenas prácticas para la renovación de cafetales

Cosecha sanitaria. Una vez finaliza la cosecha, en los cafetales a renovar deben retirarse todos los frutos verdes, maduros, sobremaduros y secos que quedan en la planta, para evitar la dispersión de broca hacia los lotes vecinos (Aristizábal et al., 2002; Benavides, 2013; Mejía et al., 2007).

Surcos trampa. En el lote deben dejarse surcos sin intervenir durante dos meses, para cosechar quincenalmente el café maduro y así controlar la broca que durante la cosecha queda en los frutos del suelo (Mejía et al., 2007).

Desrame. Es un corte parcial o total de las ramas, las cuales se dejan sobre el suelo como mulch, para protegerlo de la erosión y permitir el establecimiento de arvenses nobles. El desrame no debe causar heridas ni desgarramiento de la corteza del tallo, para evitar el desarrollo de enfermedades ocasionadas por hongos (Uribe, 1977).

Corte del tallo. El corte del tallo, según el sistema de poda, debe realizarse en forma inclinada o en bisel; además, este debe protegerse con la aplicación de fungicida, con el fin de evitar la infección por *Ceratocystis fimbriata* o llaga macana (Castro y Rivillas, 2003).

Selección de chupones. En esta práctica se dejan los chupones que aseguren la densidad óptima (uno, dos o tres tallos por sitio). Esta actividad requiere de una primera selección, dejando uno o dos chupones adicionales, y luego, se hace la selección definitiva. El chupón se corta a ras del tallo y se dejan los brotes más vigorosos y que estén localizados hacia la base del tocón; se eliminan los chupones que brotan unidos y se seleccionan chupones distantes entre sí (Uribe, 1977).

Fertilización. Se inicia entre tres y seis meses después de haber realizado la renovación, cuando se han formado los nuevos brotes (Mestre y Salazar, 1991).

Resiembras. Con el propósito de recuperar los sitios perdidos y mantener la población original, 6 meses antes de la renovación deben elaborarse los almácigos (Moreno, 2010). Esta labor se realiza al momento de seleccionar los chupones definitivos. La cantidad de colinos para resiembra se calcula según los sitios perdidos en el lote antes, durante y después de la renovación hasta la edad de un año. Debe asegurarse mínimo un 10% de colinos para resiembras (Mestre y Salazar, 1995).

Cultivos intercalados. Según el tipo de poda debe promoverse la siembra de cultivos intercalados como maíz y frijol, durante el primer año de intervenido el cultivo de café. El aprovechamiento del espacio entre calles para establecer cultivos semestrales, potencializa el uso eficiente del suelo y diversifica el sistema de producción (Arcila et al., 2007; Mestre y Ospina, 1994).

Sombrío transitorio. Bajo condiciones de déficit hídrico, las renovaciones por el sistema de zoca deben adaptarse durante el primer año, por medio del establecimiento de especies leguminosas de sombrío transitorio como *T. candida* (tefrosia) o *Cajanus cajan* (guandul) (Arcila et al., 2007).

Criterios técnicos para la renovación de cafetales

En los sistemas de renovación de cafetales, la siembra es una alternativa viable, cuando se pretende hacer cambio de variedad o se tienen lotes con un alto número de sitios perdidos. Si por el contrario, los lotes a renovar presentan condiciones aptas para el zoqueo, con esta alternativa se reducen los costos de establecimiento cerca del 50% (Duque, 2004).

Entre los principales criterios técnicos para la renovación de cafetales se tienen:

Planificación de la duración del ciclo y el cambio de variedad de café. La edad a la cual es recomendable renovar el cafetal depende del tipo de intervención y la tasa de crecimiento de la planta en cada localidad. En general, con la poda calavera se obtienen dos cosechas, y con renovaciones por zoca o siembra hasta cinco cosechas.

La diferencia de edad a la cual puede renovarse el cafetal le permite al caficultor planificar en el corto y mediano plazo el cambio de variedad de café, a través de siembra nueva, cuando sea atractiva o necesaria la adopción de una nueva variedad (Arcila et al., 2007).

Estabilización de la producción. Con una oportuna programación de la renovación puede estabilizarse la producción de la finca, al disponer de lotes de productividad similar, en diferentes edades (Mestre y Ospina, 1994); esto garantiza que solo una quinta parte de la finca se encuentre improductiva.

Selección del tipo de poda o zoca. Las condiciones del cafetal en cuanto a densidad, altura de la plantación, estado de ramas bajas y condición fitosanitaria (nivel de daño por plagas y enfermedades), así como la función que cumple cada sistema de renovación, deben ser definidos inicialmente (Ramírez, 1997).

La poda calavera debe implementarse sólo con el objetivo de ordenar edades y estabilizar la producción, ya que los ciclos son de dos cosechas como máximo. Por su parte, la poda pulmón requiere distancias amplias entre surcos y reduce la duración

del ciclo de producción en una o dos cosechas, comparada con la zoca común.

Época oportuna de renovación. Los diferentes sistemas de renovación ofrecen ventajas y desventajas, sin embargo, para cualquiera de las opciones el momento oportuno de efectuar la labor es justo al finalizar la cosecha. Las renovaciones que se hacen en épocas no recomendadas comprometen la producción.

Manejo integrado de broca. Independiente del tipo de poda o zoca, la adopción del manejo integrado de la broca tiene como punto de partida una correcta cosecha sanitaria antes de hacer la labor de desrame.

Ciclos y estabilización de la producción

La duración de los ciclos de producción, también se puede definir como el momento en el cual los árboles muestran un deterioro progresivo en su desarrollo, debido al grado de competencia intraespecífica alcanzado con la altura de la planta y el entrecruzamiento de las ramas, provocando dificultades en el manejo del cultivo, particularmente en las labores de cosecha y el control de plagas y enfermedades.

Mantener árboles jóvenes y productivos puede lograrse a través de la adopción de métodos de renovación en lotes con diferentes edades. No obstante, en la caficultura colombiana se han presentado escenarios que han influido sobre la decisión de renovar amplias áreas del cultivo en un solo momento, induciendo la pérdida de la estabilidad en la producción

Con base en las investigaciones realizadas sobre métodos de renovación

y la duración de los ciclos de producción, el sistema de renovación por lotes facilita y ordena la administración del cultivo a partir de la división del área en partes iguales, con diferentes edades. El objetivo es mantener un mismo número de plantas en producción cada año y una porción del área de cultivo en crecimiento vegetativo, para que la producción y la productividad se mantengan estables en el tiempo.

En la Figura 30 se presenta una propuesta de estabilización de la producción implementando podas calavera y zoca común para el ordenamiento de las edades, en un sistema con división del área de cultivo en quintas partes. La dinámica de recuperación de la capacidad productiva de las plantas que cumplen un rango de edad entre cuatro y cinco años, inicia con la intervención del primer lote por medio de una poda calavera para promover un ciclo de producción de dos cosechas. En el siguiente año se seleccionan dos lotes para intervenir: uno con poda calavera del cual se obtendrán dos cosechas y el otro con zoca común para obtener cuatro cosechas. Los dos últimos lotes de la división por quintas partes, se intervienen en el tercer año, de igual forma que los intervenidos el año anterior. Al cabo de cuatro años podrá mantenerse un sistema de renovaciones por medio de zoca común, con la intervención de un lote cada año y un 80% del área en producción.

Planificación de las labores de manejo agronómico en el cultivo de café

Registros de floraciones

La preantesis y antesis son etapas en las cuales el cultivo permite observar el inicio de

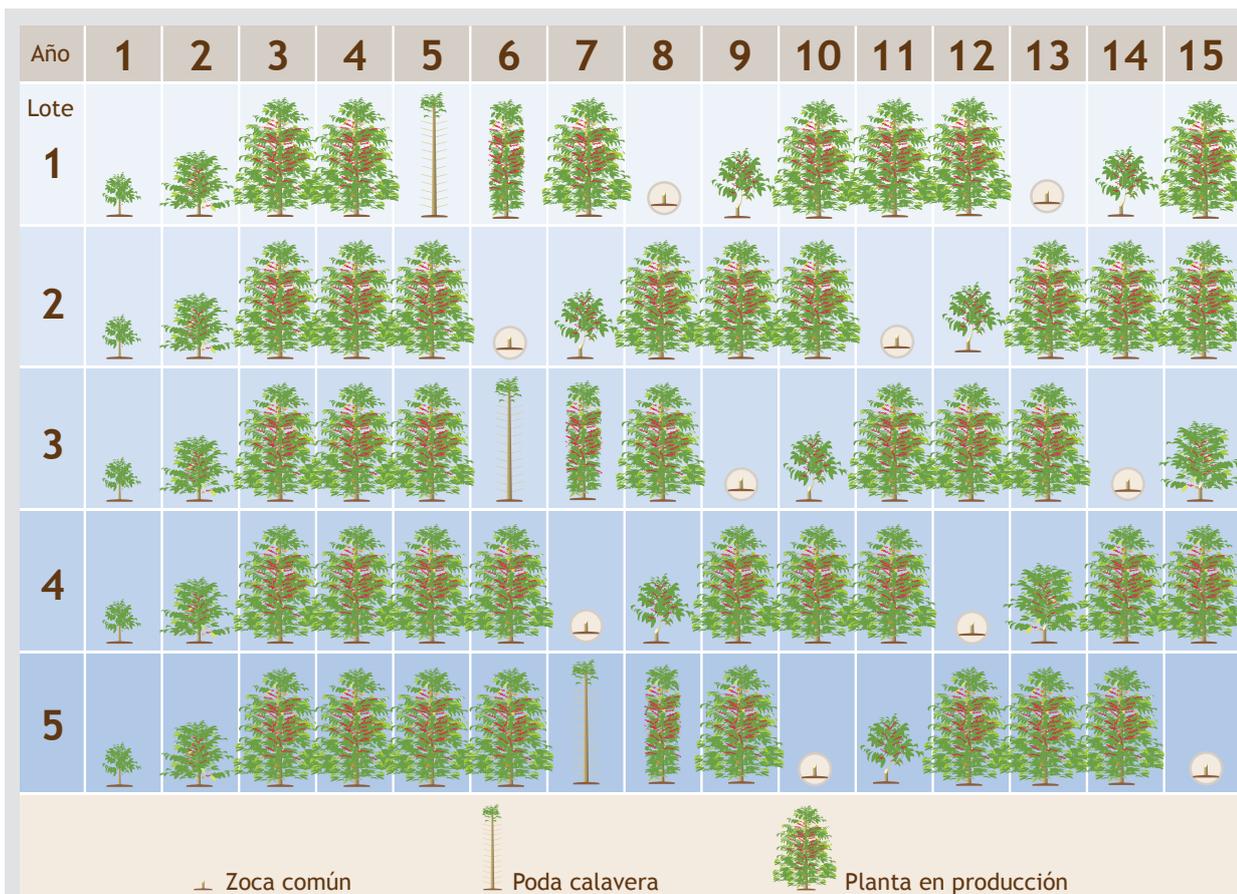


Figura 30.

Estabilización de la producción en plantaciones de café con división del área cultivada en quintas partes.

la formación y desarrollo de las cosechas. De acuerdo con los estudios fenológicos del cultivo y el clima, se han identificado cinco patrones de distribución de cosecha para el país, derivados a su vez de cinco patrones de floración (Arcila et al., 1993), los cuales caracterizan la proporción de las cosechas, correspondientes al café que se recolecta en cada semestre, con respecto a la cosecha total del año. Otros trabajos sobre la distribución de la cosecha en café corresponden a los estudios realizados por Alvarado y Moreno (1999) con evaluaciones en las variedades Caturra y Colombia, y por Vélez et al.

(2000), caracterizando las cosechas en diferentes altitudes.

El conocimiento generado sobre aspectos fisiológicos asociados al crecimiento de la planta de café, así como los estudios desarrollados para la descripción de las fases fenológicas, han permitido identificar la dinámica del crecimiento de las plantas, la formación de estructuras vegetativas y reproductivas, así como la duración de estas fases (Arcila et al., 2001). Con base en este conocimiento, se ha podido explorar la relación entre la cantidad de flores presentes en un evento y la

cantidad de frutos formados que alcanzan la maduración en los nudos (Arcila et al., 2007). Para el monitoreo de las floraciones, el estado de desarrollo que facilita su registro en el campo, corresponde al estado de preantesis o flor en forma de velón, que se caracteriza por presentar los pétalos cerrados y blanco verdosos (Arcila et al., 2001; Rendón et al., 2008). El registro de las floraciones en café es una actividad que se ha recomendado, especialmente con el fin de identificar períodos críticos en los que la broca puede afectar los frutos en desarrollo (Arcila et al., 1993; Bustillo, 2007).

A partir de los registros de floración se facilita la proyección anticipada del número de eventos de recolección en una cosecha, el porcentaje de distribución de la misma a lo largo del año y las semanas de mayor producción. Estos registros son una herramienta para la planificación en el manejo de plagas y enfermedades que representan pérdidas económicas en el cultivo, como son la broca (*Hypothenemus hampei*) y la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). Al conocer la magnitud de las floraciones pueden identificarse las épocas de mayor demanda de agua y de nutrimentos para el cultivo a lo largo del año, así como las épocas de mayor susceptibilidad de los frutos ante eventos climáticos adversos (Ramírez, 2014).

Los registros de floración basados en la inspección visual y calificadas de forma cualitativa como buenas o regulares carecen de objetividad; estas apreciaciones no son suficientes para establecer la relación con la distribución porcentual de la cosecha en el transcurso del año o para una cosecha en particular. Por el contrario, al cuantificar la floración de un semestre es posible proyectar la distribución porcentual de la cosecha del siguiente semestre, considerando que, en

café la duración de las etapas de desarrollo del fruto después de la floración hasta la maduración, es de aproximadamente 32 semanas (Salazar et al., 1993).

En términos prácticos, se identifican dos períodos de floración que responden por las cosechas del primer y segundo semestres del año, en cualquier región. Las floraciones entre el 1° de mayo y el 31 de octubre responden por la cosecha del primer semestre del año siguiente (1° de enero – 30 de junio) y las floraciones entre el 1° de noviembre y el 30 de abril responden por la cosecha del segundo semestre del año, es decir 1° de julio – 31 de diciembre.

Además de identificar los períodos de floración y de cosecha es importante comprender que, el número de eventos de floración registrados a lo largo del año (Tabla 10), no necesariamente corresponden al número de veces que se ingresa al lote a cosechar los frutos maduros, debido a que la recolección de café en períodos de cosecha se hace con intervalos entre 15 y 20 días, lo cual significa que registros de floración acumulados de tres semanas, pueden responder por la proporción de un solo evento de recolección (Rendón et al., 2008).

Con base en los registros de floración realizados semanalmente en ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, desde el año 2008, en los cuales se cuantifica el número de botones florales en preantesis en dos ramas por árbol en un total de 60 árboles por lote así se conoce de manera anticipada la dinámica de las cosechas en las regiones cafeteras del país. Los patrones promedio de distribución de la cosecha proyectada a partir de los registros de las floraciones se muestran en la Figura 31.

Tabla 10.

Número de eventos de floración históricos y meses con mayor floración en ocho localidades de Colombia.

Localidad	Latitud Norte	Número de eventos de floración en el año	Meses con mayor porcentaje de floración															
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
El Tambo (Cauca)	02° 24'	20																
Buenavista (Quindío)	04° 24'	16																
Pereira (Risaralda)	04° 45'	18																
Libano (Tolima)	04° 54'	14																
Chinchiná (Caldas)	04° 58'	21																
Venecia (Antioquia)	05° 58'	27																
Floridablanca (Santander)	07° 06'	10																
Pueblo Bello (Cesar)	10° 25'	3																

A partir de los patrones de cosecha descritos con base en los registros de floración, en las latitudes de las regiones cafeteras del país, las localidades de la región Centro y Centro-Norte, que comprende los departamentos de Antioquia, Risaralda y Caldas, presentan dos cosechas al año: una mitaca en el primer semestre del año (25%) y la cosecha principal en el segundo semestre (75%); en la región Centro-Sur en el departamento del Quindío, la cosecha del año se distribuye en un 45% el primer semestre y un 55% el segundo semestre; en el Tolima la cosecha se encuentra distribuida un 50% en cada semestre. En la región Sur del país, en el departamento del Cauca, las condiciones de oferta ambiental favorecen el registro de una cosecha principal con el 85% de la cosecha anual registrada en el primer semestre del año.

En la zona Norte del país, en el departamento del Cesar, se registra una sola cosecha al año en el segundo semestre, y en el departamento de

Santander un 90% de la cosecha del año en el mismo período.

Distribución de las floraciones en distintos escenarios climáticos. Durante el año 2011 predominó la condición La Niña, la cual inició en junio de 2010 y se extendió hasta marzo de 2012.

La precipitación acumulada durante 2011 alcanzó valores superiores a los históricos en las Estaciones Experimentales, con incrementos entre 504 y 1.007 mm (Figura 32).

En el año 2013 predominó la condición húmeda Neutra, la cual inició en abril de 2012 y se extendió hasta octubre de 2014. La cantidad de lluvia que se registró en las Estaciones Experimentales durante este período superó los valores entre 71 y 346 mm. La temperatura media anual no varió con respecto al valor histórico registrado en las Estaciones (Figura 33).

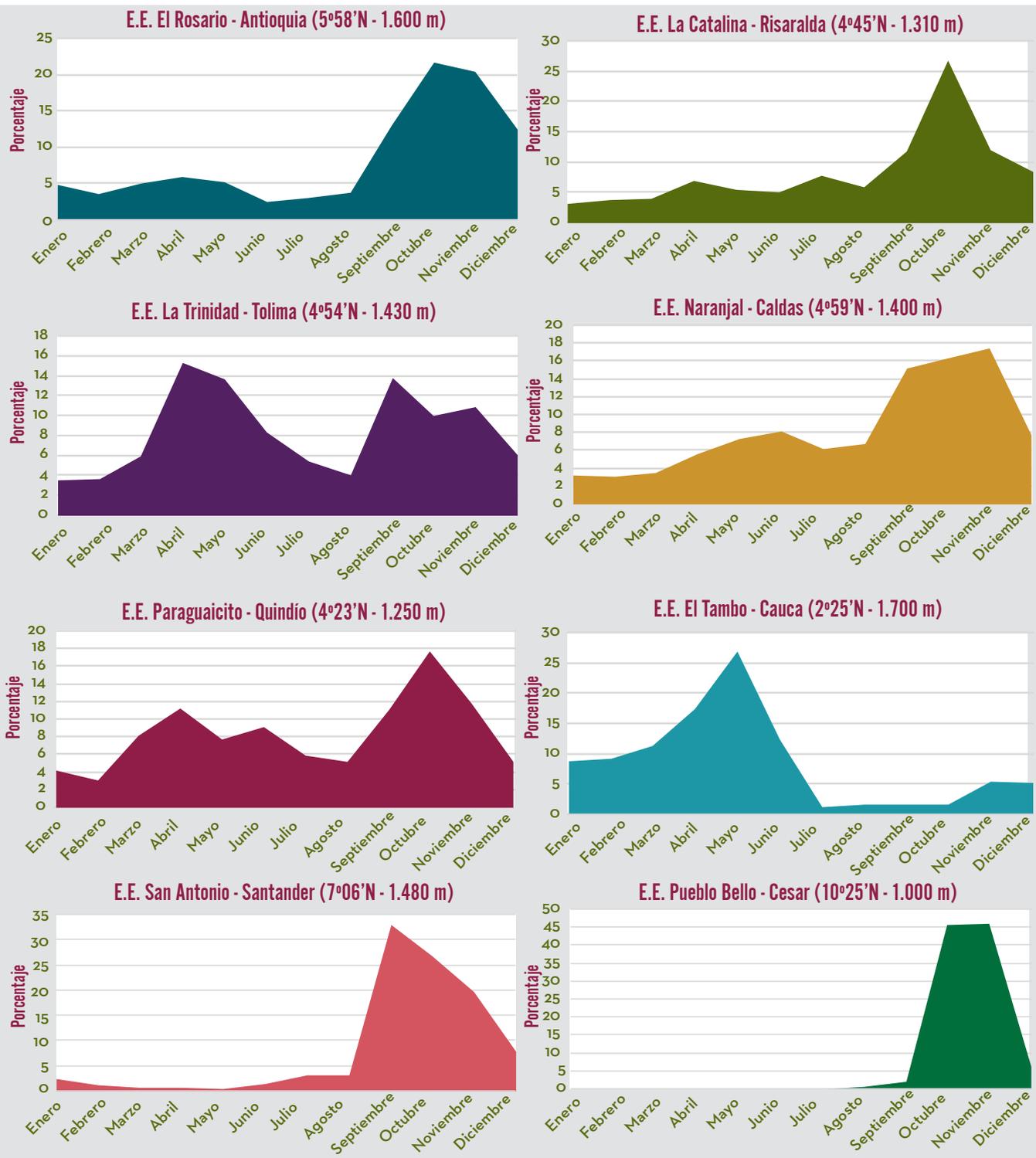


Figura 31. Patrones promedio de distribución de la cosecha proyectada a partir de los registros de floración, entre los años 2011 y 2017, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé.

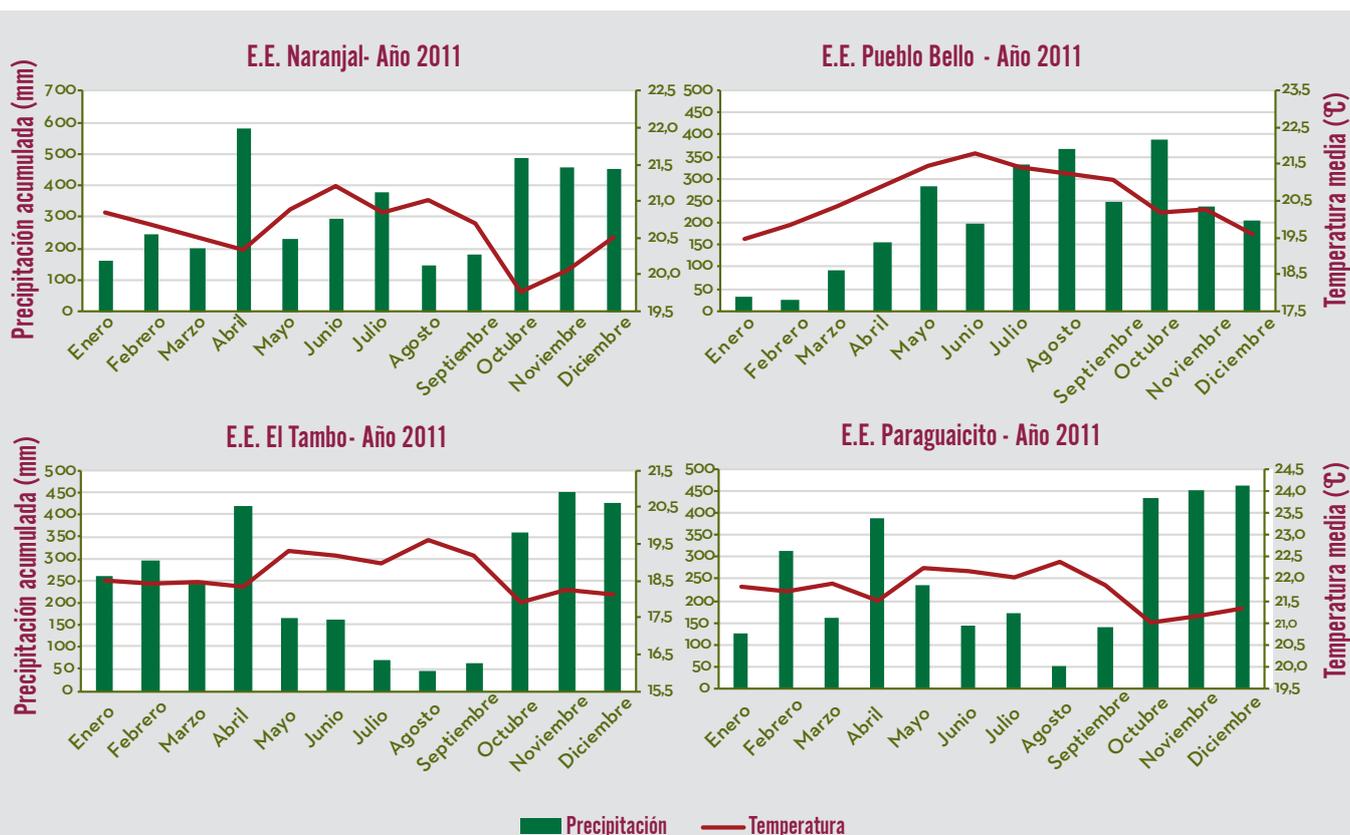


Figura 32.

Registros mensuales de precipitación (mm) y temperatura media (°C) en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé durante una condición La Niña¹, año 2011.

¹ http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Para el año 2015 predominó la condición El Niño, que inició en noviembre de 2014 y se extendió hasta mayo de 2016; uno de los eventos El Niño más fuerte en los últimos años. En las Estaciones Experimentales la cantidad de lluvia registrada durante este período, se redujo en promedio 744 mm y la temperatura media anual presentó incrementos entre 0,8 y 1,2°C (Figura 34).

Con base en las floraciones registradas en los períodos que representan las cosechas de cada año, se describe la distribución de los porcentajes de floración mensuales

según las condiciones de La Niña, Neutro y El Niño, en tres regiones representativas de la caficultura en Colombia.

En la zona cafetera Central en el municipio de Chinchiná (Caldas), las condiciones asociadas a períodos La Niña y Neutro conducen a desarrollar floraciones dispersas, con un mayor número de eventos de menor magnitud registrados durante el año; en contraste, bajo las condiciones de El Niño, los períodos secos promueven floraciones más concentradas y abundantes. Los patrones de distribución

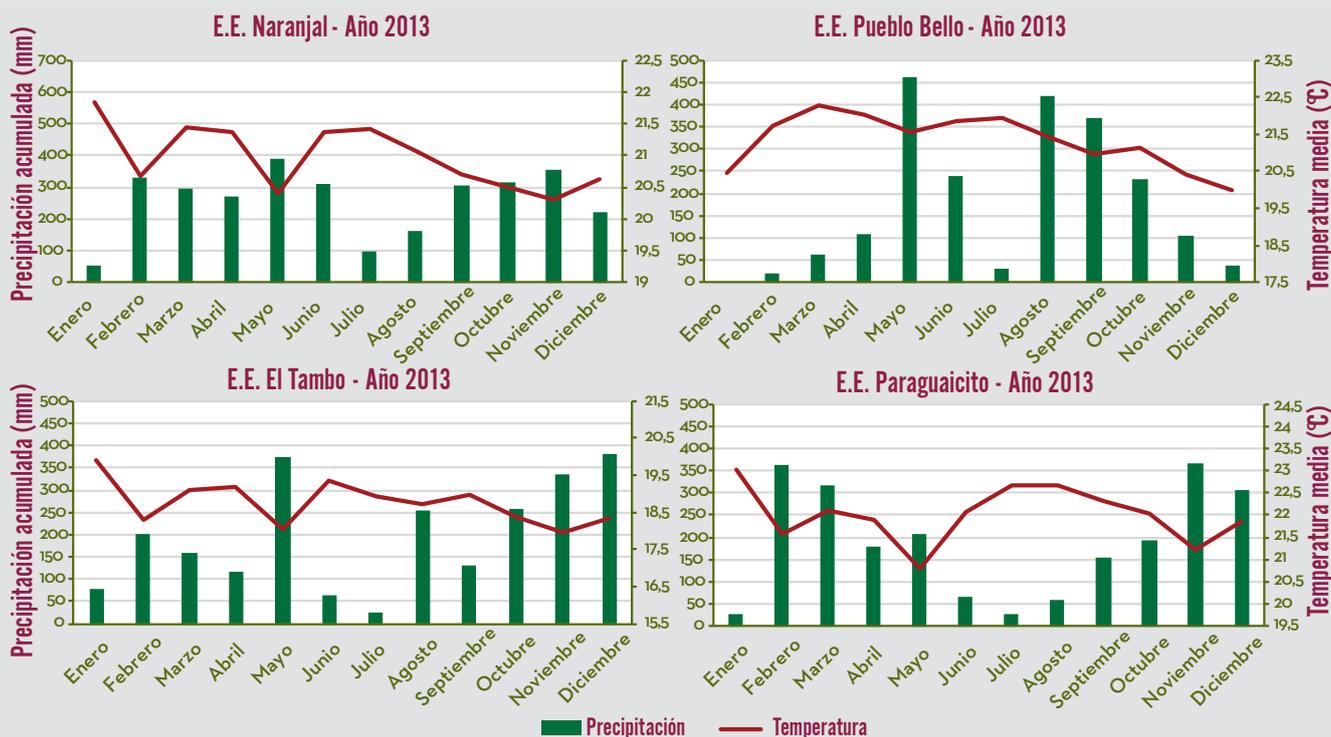


Figura 33.

Registros mensuales de precipitación (mm) y temperatura media (°C) en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé durante una condición Neutro², año 2013

² http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

de la cosecha anual en los diferentes escenarios climáticos, comparados con el patrón histórico de esta región, pueden variar sutilmente la proporción de cosecha en cada semestre (Figura 35).

En el Norte del país, la zona cafetera de Pueblo Bello (Cesar), bajo condiciones asociadas a períodos La Niña, presenta un adecuado desarrollo de las floraciones, la disponibilidad de agua para el cultivo favorece la etapa de llenado de frutos y una mejor calidad de las cosechas;

en condiciones Neutras, las floraciones pueden presentarse con normalidad en dos o tres eventos y las etapas de desarrollo del fruto en épocas con déficit pueden afectar el llenado. En períodos El Niño las floraciones pueden desarrollarse con normalidad ante la presencia de las primeras lluvias que inducen el rompimiento de la latencia; si estos períodos de baja disponibilidad hídrica se prolongan durante la etapa de llenado de los frutos, la calidad de la cosecha puede afectarse significativamente (Figura 36).

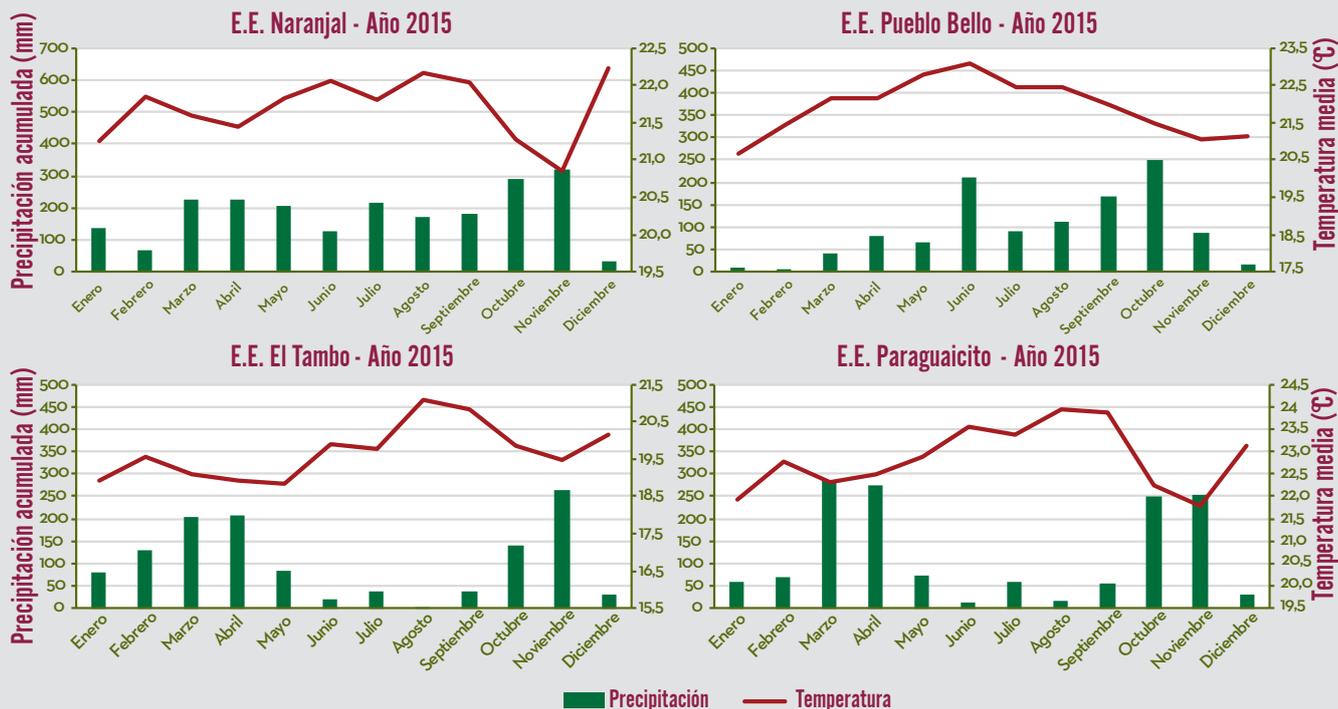


Figura 34.

Registros mensuales de precipitación (mm) y temperatura media (°C) en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé durante una condición El Niño³, año 2015

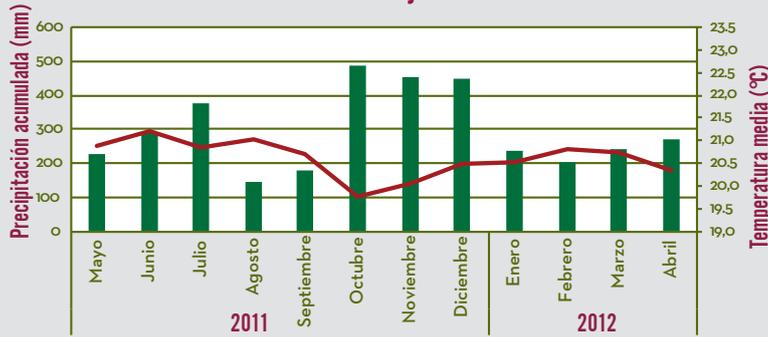
³ http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

En el Sur del país, la zona cafetera del municipio de El Tambo (Cauca), bajo las condiciones asociadas a períodos La Niña presenta eventos de floración dispersos, que alteran el patrón de distribución histórico de la cosecha, con un mayor número de eventos de recolección en el año. En períodos Neutros sucede una menor dispersión de las floraciones y el patrón de cosecha histórico tiende a normalizarse. Bajo las condiciones de El Niño, los períodos secos promueven floraciones más concentradas y

abundantes, favorecidas por el incremento en las unidades térmicas acumuladas, debido al aumento en la temperatura promedio (Figura 37).

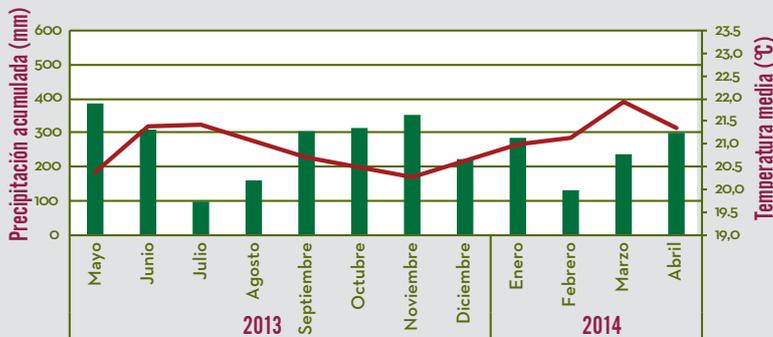
El comportamiento de las floraciones en escenarios que promueven un mayor número de eventos, con una mayor dispersión del número de flores, favorecen la disponibilidad de mano de obra para la cosecha en un momento determinado, pero incrementan el costo operativo de la recolección, debido a los bajos

E.E. Naranjal



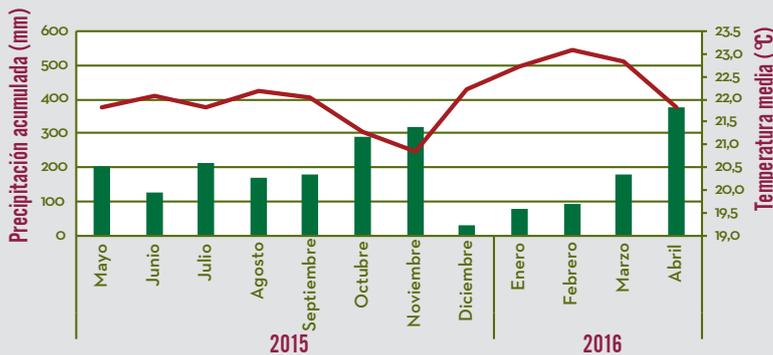
Distribución de floraciones (%) La Niña

May-11	Jun-11	Jul-11	Ago-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dic-11	Ene-11	Feb-11	Mar-11	Abr-11
4,28	4,08	3,16	4,15	4,06	3,12	6,27	6,73	11,85	15,26	28,87	8,16



Distribución de floraciones (%) Neutro

May-13	Jun-13	Jul-13	Ago-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dic-13	Ene-13	Feb-13	Mar-13	Abr-13
5,89	2,76	2,64	10,63	9,63	9,69	9,21	12,38	8,73	8,18	7,16	13,11



Distribución de floraciones (%) El Niño

May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dic-15	Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abr-15
3,11	1,94	5,74	4,35	2,77	11,33	6,39	4,02	2,14	53,29	0,39	4,54

■ Precipitación — Temperatura

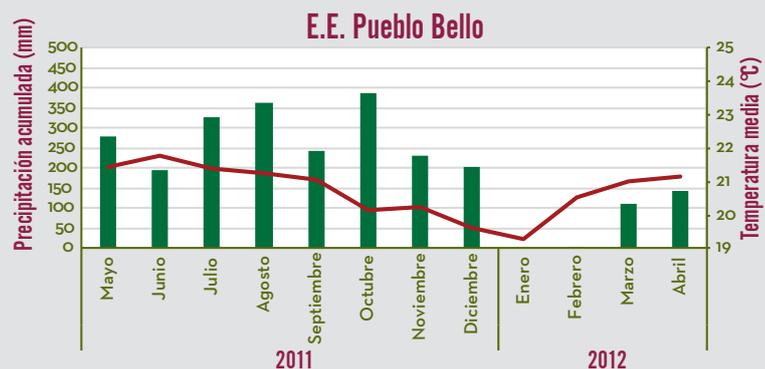
Figura 35.

Registros mensuales de precipitación (mm), temperatura media (°C) y floraciones (%) en condiciones de La Niña, Neutro y El Niño en la Estación Naranjal (Chinchiná, Caldas).

rendimientos en kilogramos de café cereza cosechados por jornada. El incremento en los costos de manejo de la broca es otro factor limitante bajo estas condiciones ya que la presencia de frutos en diferentes etapas de desarrollo requiere de un monitoreo permanente sobre los niveles de infestación y aumenta la frecuencia en la implementación de medidas de control.

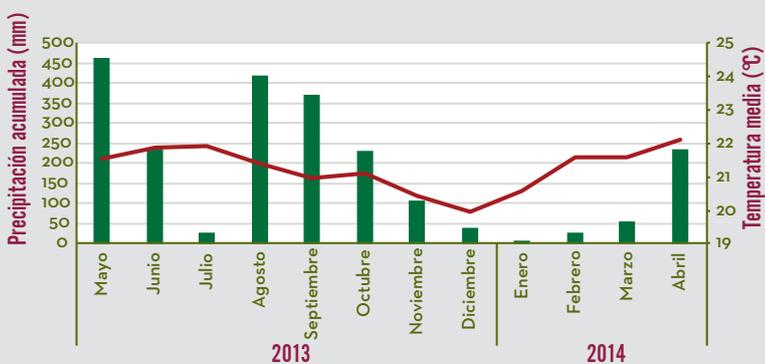
Cuando las floraciones son concentradas en un menor número de eventos, el manejo de la cosecha demanda la planificación de una mayor capacidad operativa para la recolección oportuna de la cantidad de café cereza en su etapa de maduración, y de infraestructura para el beneficio, el secado y el manejo de los subproductos correspondientes a esta etapa. Los registros de floración brindan una herramienta para la toma de decisiones con relación a las condiciones de clima predominantes en un período determinado.

A partir de los registros de floración es factible determinar los períodos críticos para iniciar el monitoreo y control de plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y enfermedades como la roya (*Hemileia vastarix*), con el fin de asegurar la cantidad y la calidad de las cosechas, con un menor riesgo de detrimento y una mayor rentabilidad del cultivo.



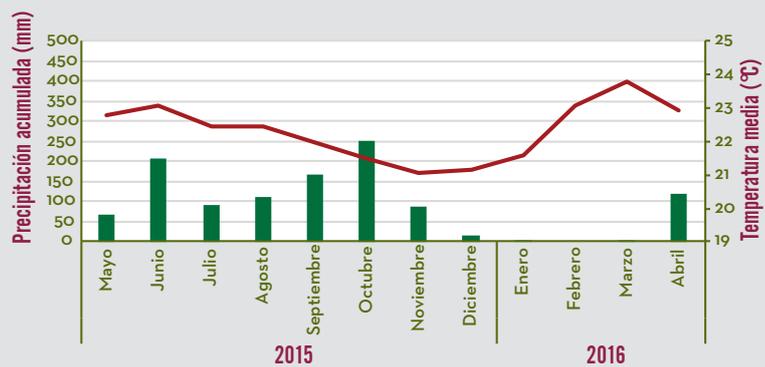
Distribución de floraciones (%) La Niña

May-11	Jun-11	Jul-11	Ago-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dic-11	Ene-11	Feb-11	Mar-11	Abr-11
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00



Distribución de floraciones (%) Neutro

May-13	Jun-13	Jul-13	Ago-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dic-13	Ene-13	Feb-13	Mar-13	Abr-13
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,72	52,03	35,24	0,00



Distribución de floraciones (%) El Niño

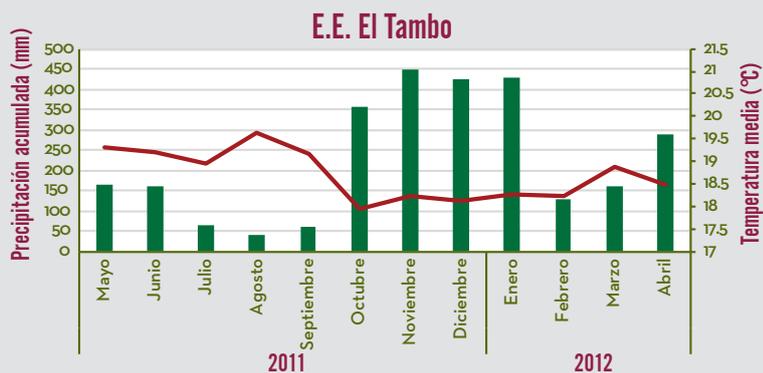
May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dic-15	Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abr-15
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,41	41,59

■ Precipitación — Temperatura



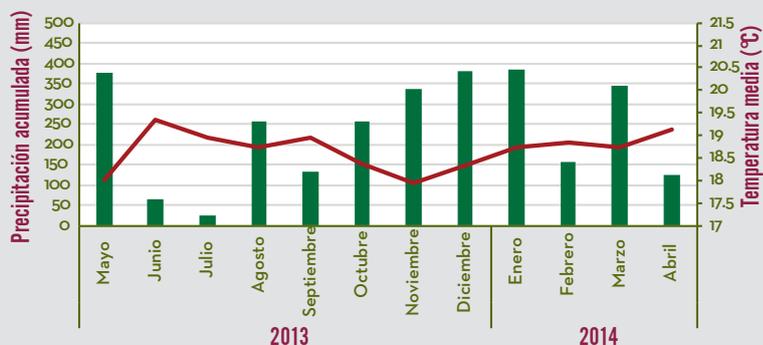
Figura 36. Registros mensuales de precipitación (mm), temperatura media (°C) y floraciones (%) en condiciones de La Niña, Neutro y El Niño en la Estación Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar).





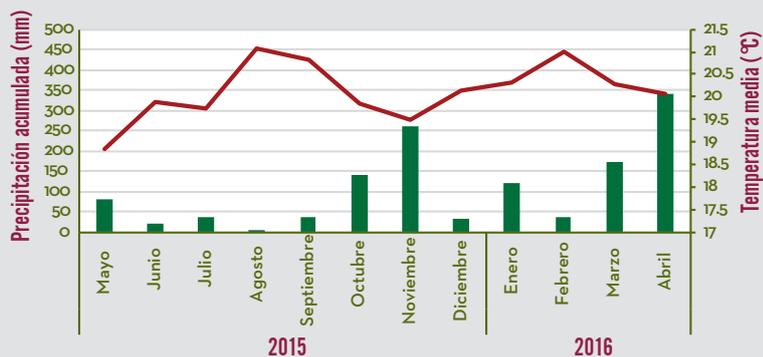
Distribución de floraciones (%) La Niña

May-11	Jun-11	Jul-11	Ago-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dic-11	Ene-11	Feb-11	Mar-11	Abr-11
9,92	11,37	4,52	20,77	9,52	6,94	2,07	2,79	2,82	3,15	16,71	9,42



Distribución de floraciones (%) Neutro

May-13	Jun-13	Jul-13	Ago-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dic-13	Ene-13	Feb-13	Mar-13	Abr-13
18,77	6,84	9,33	18,92	13,93	13,21	2,72	1,32	0,38	1,76	5,56	7,27



Distribución de floraciones (%) El Niño

May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dic-15	Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abr-15
10,66	8,17	38,11	0,96	25,88	14,92	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	1,21

■ Precipitación — Temperatura



Figura 37.

Registros mensuales de precipitación (mm), temperatura media (°C) y floraciones (%) en condiciones de La Niña, Neutro y El Niño, en la Estación El Tambo (El Tambo, Cauca).

Administración de labores agronómicas en el cultivo de café con base en los períodos secos y húmedos, floraciones y patrones de cosecha en las regiones cafeteras de Colombia

La planificación es una herramienta administrativa que facilita la toma de decisiones en la empresa cafetera y a través de esta puede identificarse cómo, cuándo, dónde y con qué recursos se cuenta para llevar a cabo una actividad. El manejo de cada una de las etapas del cultivo debe considerar además la oportunidad en la ejecución de la labor como clave del éxito para alcanzar los objetivos planteados.

Cenicafé durante sus 80 años se ha dedicado al desarrollo de investigación científica y tecnológica en el cultivo de café, proporcionando alternativas que procuran el bienestar del caficultor colombiano y la rentabilidad de su cultivo. Entre los principales logros se destacan los estudios sobre nuevas variedades, densidades de siembra, sistemas de renovación, nutrición del cultivo, manejo integrado de plagas y

enfermedades, conservación de suelos, desarrollo de herramientas y equipos para las labores de cosecha y poscosecha, y manejo de subproductos del café para la sostenibilidad del medio ambiente.

La divulgación de todos los productos de las investigaciones mediante las publicaciones (Avances Técnicos, artículos científicos, libros, boletines e informes técnicos) y la integración de las TICs a través de las páginas web y la creación de aplicativos, han facilitado el acceso y la oportunidad de la información para el gremio cafetero.

Teniendo en cuenta los aspectos aquí mencionados y el contenido de los capítulos de esta publicación, se presentan los planificadores de las principales labores de manejo agronómico del sistema de producción del cultivo durante las etapas de crecimiento y desarrollo para las diferentes zonas cafeteras del país, con base en los períodos secos y húmedos, los registros de floraciones y los patrones de distribución de las cosechas como se presenta en la siguiente infografía (Jaramillo, 2016; Arcila, 2007; Camayo y Arcila, 1997; Gómez, 2004; Jaramillo 2005; Farfán y Jaramillo, 2009; Arcila et al., 2007; Bustillo, 2007; Arcila, 2011; Gil et al., 2013; Galvis, 2002; Rivillas y Castro, 2011; Rivillas, et al., 2011; Gil, 2001; Gil & Leguizamón, 2000; Sadeghian, 2008; González et al., 2014; Rendón et al., 2008; Hincapié y Salazar, 2007; Menza y Peláez, 2015; Rendón, 2016).

1



CAFÉ AL SOL



CAFÉ EN SISTEMA AGROFORESTAL

2

PERÍODOS SECOS Y HÚMEDOS



ZONA CAFETERA

Norte y Oriente	Centro Norte y Sur	Sur
Diciembre a marzo	Enero a Marzo; Julio a Agosto	Junio a Septiembre
Abril a Noviembre	Abril a Mayo Septiembre a Diciembre	Octubre a Mayo

5

GERMINADOR



6

ALMÁCIGOS



ALMÁCIGOS DE SOMBRÍO



DE CAFÉ

7

SIEMBRA



8

FERTILIZACIÓN



9

REGULACIÓN SOMBRÍO



10

CONTROL DE ARVENSES



11

FLORACIÓN



12

COSECHA



Planifique el sistema de siembra de café



RENUEVE
Los cafetales viejos y los que terminan su ciclo productivo al finalizar la cosecha principal

3



VARIEDAD DE CAFÉ
Cenicafé 1, Castillo® Zona Norte, Centro y Sur y Tabi



4

SEMILLA
Certificada, resistente a la Roya y el CBD

ZONA CAFETERA

NORTE Y CENTRO ORIENTE	Agosto	Octubre	Abril a Mayo	Abril a Mayo Octubre a Noviembre	Abril	Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre	Febrero, Marzo y Abril	Octubre a Diciembre
CENTRO NORTE Y SUR	Febrero y Agosto	Abril y Octubre	Marzo a Mayo Septiembre a Octubre	Abril a Mayo Septiembre a Octubre	No aplica	Enero, Marzo, Mayo, Julio, Septiembre y Noviembre	Febrero a Marzo	Abril a Junio Octubre a Diciembre
SUR	Febrero	Abril	Septiembre a Octubre	Abril a Mayo Octubre a Noviembre	Octubre	Enero, Marzo, Mayo, Julio, Septiembre y Noviembre	Septiembre a Octubre	Abril a Mayo



Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales - SAF

Fernando Farfán Valencia

* Investigador Científico II, Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.
<https://orcid.org/0000-0003-0976-8828>

Farfán-Valencia, F. (2020). Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales - SAF. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café (pp. 72-123). Cenicafé.
https://doi.org/10.38141/10791/0002_3



La agroforestería es parte fundamental del proceso integral productivo del café; un sistema agroforestal cafetero es definido como el conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo y el agua, así como el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras (Farfán, 2014).

La producción de café con el asocio de árboles tiene ventajas ambientales como la conservación y mejoramiento del suelo, reforzar y establecer la sostenibilidad en las fincas de los caficultores mediante la promoción de la diversificación productiva y capacitación en el manejo de sistemas, mejorar y mantener otros tipos de agricultura alterna, aumentar los niveles de materia orgánica del suelo, fijación del nitrógeno atmosférico, reciclaje de nutrientes, modificación del microclima dentro del cultivo, y optimizar la productividad del sistema mediante la producción sostenible, entre otras; desde el punto de vista social brindan confort, protegen de las inclemencias climáticas y embellecen el paisaje, entre muchos otros.

En las regiones cafeteras colombianas los sistemas de producción de café bajo árboles de sombrío son una alternativa viable para el desarrollo de las comunidades cafeteras, apoyando la conservación y la optimización de los recursos, dado que integran factores edáficos, climáticos y de manejo.

Entre las principales variables a considerar para establecer sistemas de producción con café, se destacan:

Selección de la variedad basada en aspectos agroecológicos; procedencia del material vegetal a establecer para garantizar plantas bien desarrolladas, bien formadas y muy productivas durante todo el ciclo de vida del cultivo; densidad de siembra del café y arreglo espacial; épocas de siembra y duración de los ciclos de producción; época adecuada para realizar la renovación del cultivo; plan de nutrición del cultivo y prácticas de manejo de plagas y enfermedades potenciales en cada localidad; características físicas y químicas de los suelos que predominan y variables de clima, si deben establecerse sistemas de producción a libre exposición solar o en sistemas agroforestales. Todas estas prácticas agronómicas tienen como propósito incrementar la productividad del cultivo y la rentabilidad del sistema de producción (Cenicafé, 2018), (Figura 38).

Criterios de decisión para el establecimiento del cultivo en un sistema agroforestal o bajo sombra

Es importante considerar que el sombrío no es universalmente benéfico y que en algunas condiciones se presentan desventajas asociadas especialmente con la restricción de la incidencia de la radiación solar, que es el principal factor determinante de la productividad. Igualmente, establecer sistemas de



Figura 38.

Prácticas agronómicas a implementar en un sistema de producción de café, con criterios de productividad y rentabilidad.

producción con café a libre exposición solar donde, por condiciones de clima, es necesaria la presencia de árboles de sombrío, es detrimental para la producción (Farfán, 2014).

Si las condiciones climáticas son las adecuadas para el establecimiento del sistema de producción a libre exposición solar se logra un máximo de producción; pero si a este sistema se le incluye sombra, la producción se ve afectada considerablemente. En la Figura 39 (a) se presentan las producciones de dos sistemas de producción de café, a libre exposición solar y bajo sombrío en la Estación Experimental Paraguaicito (Buenavista, Quindío), donde por condiciones de clima la caficultura puede establecerse a libre exposición solar, es notable que al establecerse sombra la producción se reduce cerca del 35%.

En la Figura 39 (b) se presenta las producciones de dos sistemas de producción de café, a libre exposición

solar y bajo sombrío en la Estación Experimental El Tambo (El Tambo, Cauca), donde por condiciones de clima y suelos caracterizados por deficiencias hídricas en períodos marcados del año, la caficultura debe hacerse con el acompañamiento de árboles, es evidente que, al establecer el café a libre exposición solar se ve afectada negativamente su producción.

Los sistemas agroforestales o bajo sombra (Figura 40) deben establecerse en zonas cuya temperatura media anual supere los 23,0°C, y si en determinados meses del año se presentan temperaturas máximas superiores a ésta. Son recomendables para regiones donde la cantidad de lluvia anual sea inferior a 1.200 mm, con períodos secos marcados durante más de cuatro meses continuos, en alguna época del año (primero o segundo semestre); estas condiciones de lluvia conducen a una falta de agua en el suelo o deficiencia hídrica, lo que provoca efectos negativos para el desarrollo y producción del cultivo. También es necesario el establecimiento

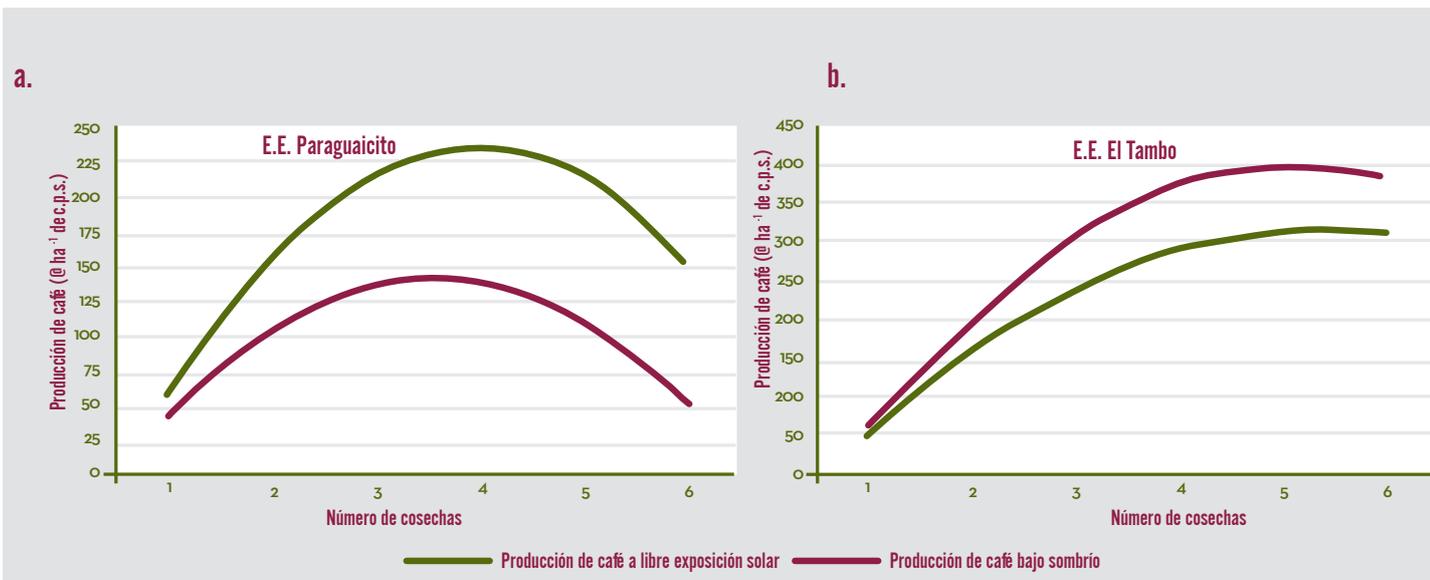


Figura 39.

Producción de cultivos de café a libre exposición solar y en sistemas agroforestales, en dos localidades de la zona cafetera colombiana (Adaptado de Farfán y Solarte, 2008; Farfán y Urrego, 2004).



Figura 40.
Sistema agroforestal de café.

de sombrío al café si la radiación solar es alta, superando las 1.800 horas al año, acompañada de una baja nubosidad.

Deben establecerse árboles asociados al café si el relieve es quebrado, con pendientes que superen el 50%, en suelos con limitaciones nutricionales o de baja fertilidad natural, que presenten mal drenaje, baja retención de humedad y que sean susceptibles a procesos erosivos (Farfán, 2014).

Los árboles como acondicionadores del sitio de cultivo del café

Al comparar los factores climáticos necesarios para el establecimiento del

cultivo del café a libre exposición solar, con aquellos definidos para el café bajo sombrío, es concluyente precisar que los árboles son acondicionadores de los sitios de siembra del café en regiones donde por condiciones adversas para el cultivo del café a libre exposición solar, es fundamental el establecimiento del cultivo adicional, como es el componente arbóreo.

Para sustentar la precisión anterior, en la Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar), se compararon dos escenarios: (i) variables registradas a cielo abierto, simulando café a libre exposición solar y (ii) variables estimadas dentro del cultivo bajo sombra; se analizaron el brillo solar anual en horas, la temperatura (°C) y la humedad volumétrica del suelo (mm).

Brillo solar. El número de horas de brillo solar anual histórico registrado en la estación meteorológica de Pueblo Bello es de 2.431 horas (FNC, 2016); en estas condiciones, para el cultivo del café es necesario la siembra de árboles, para reducir cerca del 20% el número de horas de brillo solar anual (Figura 41).

Temperatura. La temperatura máxima media anual histórica registrada en la estación meteorológica de Pueblo Bello es de 27,8°C (FNC, 2016), con las mayores temperaturas entre los meses de enero a abril, coincidentes con los máximos valores de horas de brillo solar. En estas condiciones, al establecer el cultivo bajo especies arbóreas logra reducirse la temperatura máxima a 22,2°C, temperatura ideal para el desarrollo y producción del café (Figura 42).

Humedad volumétrica del suelo (mm). Farfán y Jaramillo (2008) evaluaron el efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo, en sistemas agroforestales con café y a libre exposición solar, en la Estación Experimental Pueblo Bello, encontrando que: (i) el volumen crítico o la

disponibilidad mínima de agua en el suelo a 10,0 cm de profundidad, para que no se presenten problemas de desarrollo del cultivo fue de 45,4 mm; (ii) fuera del cultivo o a campo abierto se superó el volumen crítico, es decir, la deficiencia hídrica fue de 64,9 mm; (iii) con el cultivo del café bajo árboles de *E. fusca* (cámbulo) no se alcanzó el volumen crítico, de acuerdo con el análisis de un solo período de evaluaciones (Figura 43).

Variedad de café a establecer en sistemas agroforestales

Como práctica agronómica fundamental al establecer o renovar por siembra un cultivo del café, se tiene la variedad de café a seleccionar, la cual debe ser resistente a la roya del cafeto, pues influirá en la productividad del sistema y en su rentabilidad. Como variedades resistentes a la enfermedad se dispone de las variedades Castillo® (porte medio), Cenicafé1 (porte bajo) y Tabi (porte alto).

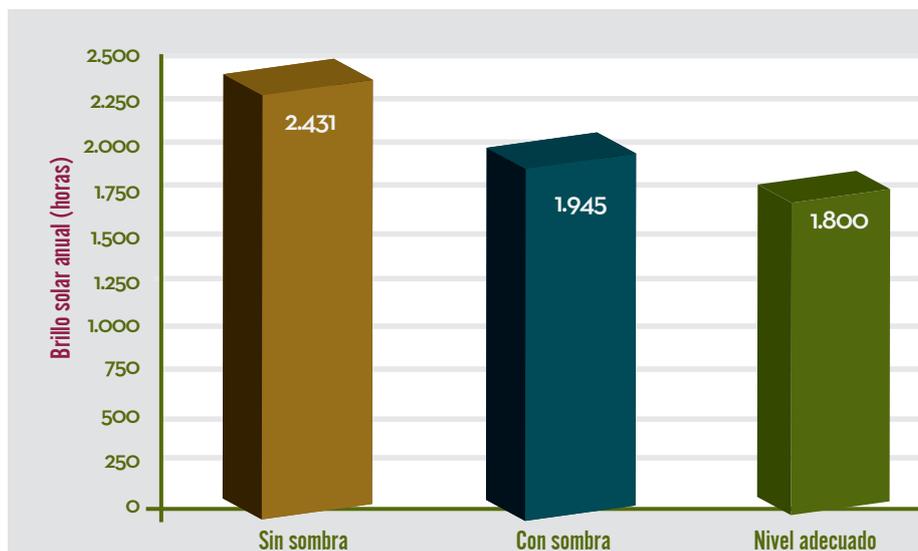


Figura 41. Condiciones de brillo solar anual histórico (horas) en un cultivo de café bajo sombrío. Estación Experimental Pueblo Bello - Cesar

Figura 42.

Condiciones de temperatura máxima (°C) histórica, en un cultivo de café bajo sombrío. Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).

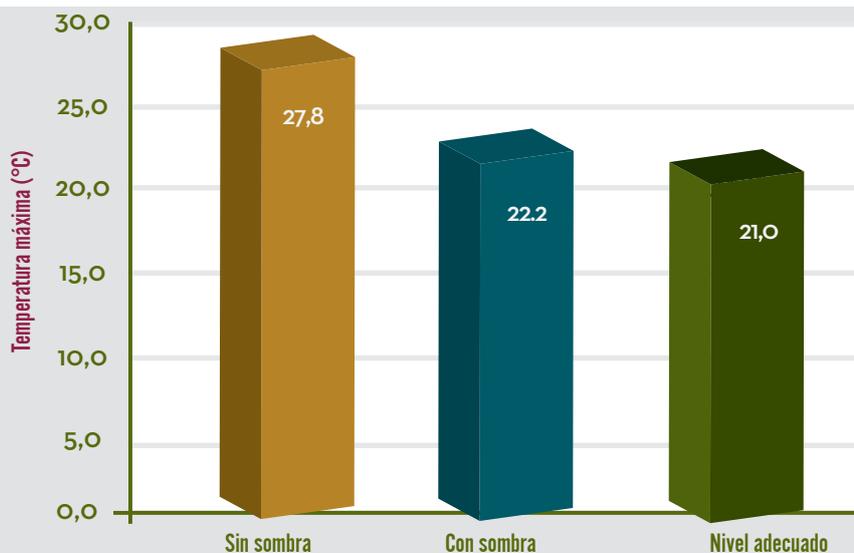
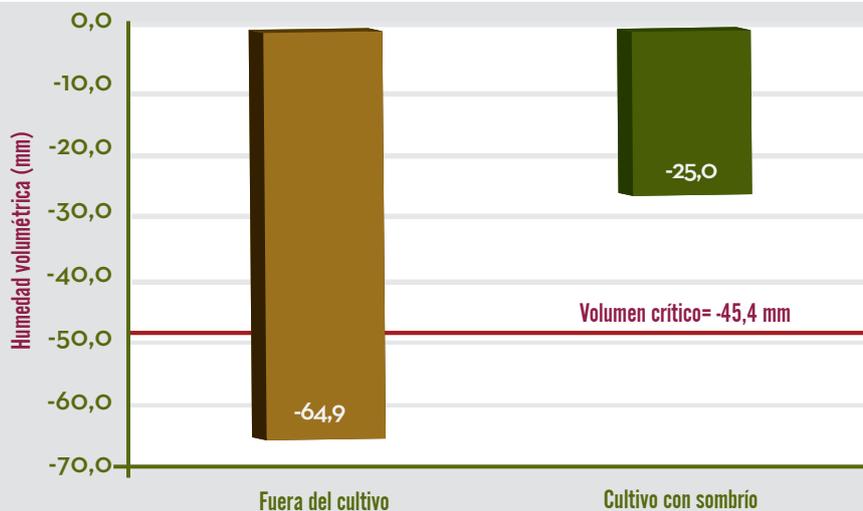


Figura 43.

Condiciones de humedad volumétrica del suelo (mm) en un cultivo de café bajo sombrío. Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).



Recomendación práctica

De la acertada selección del sistema de producción bajo sombra, de acuerdo a las condiciones de clima presentes en la zona de cultivo, mejorará la productividad y rentabilidad del sistema.

Los árboles son acondicionadores del sitio de cultivo del café y de su manejo dependerá la producción del sistema, pues los árboles de sombrío deberán manejarse como un cultivo adicional.

En la década de los 70 se inició en Cenicafé un programa para desarrollar variedades de porte alto con resistencia a la roya del cafeto; para ello, se efectuaron cruzamientos entre el Híbrido de Timor, progenitor resistente a la roya del cafeto, y la variedad Típica y Borbón. Las progenies derivadas del cruzamiento Borbón por Híbrido de Timor fueron las más vigorosas y de mayor altura que la variedad Típica; las progenies resistentes mostraron una producción mayor frente a Borbón y Típica (Moreno, 2002).

La Variedad Castillo se obtuvo a partir del cruzamiento de la variedad Caturra x Híbrido de Timor, es una variedad compuesta, de porte medio, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa, de grano grande, excelente calidad en taza, producción superior a Caturra y resistente a la roya del cafeto (Alvarado et al., 2005).

Para el desarrollo de la Variedad Cenicafé1, se evaluaron 116 progenies provenientes

del cruzamiento entre la variedad Caturra y el Híbrido de Timor 1343. Cenicafé1 presenta una altura promedio a los 24 meses de 140,1 cm, igual a la altura de la variedad Caturra (142 cm), pero menor a la Variedad Castillo®. La producción promedio de un árbol es de 17,6 kg de café cereza (cc) en un ciclo de cuatro cosechas.

En la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), y en un sistema agroforestal se evaluó la producción de dos variedades susceptibles al ataque de la roya del cafeto, Típica de porte alto y Caturra de porte bajo. Las producciones fueron comparadas con las registradas en dos variedades resistentes a la enfermedad, Tabi de porte alto y Castillo® de porte medio (Figura 44). De los análisis se obtuvo que, por efectos de la incidencia de la enfermedad, en la variedad Típica se produce 50,8% menos con relación a la producción de la variedad resistente de porte alto Tabi; en las variedades de porte bajo y en la susceptible a la enfermedad

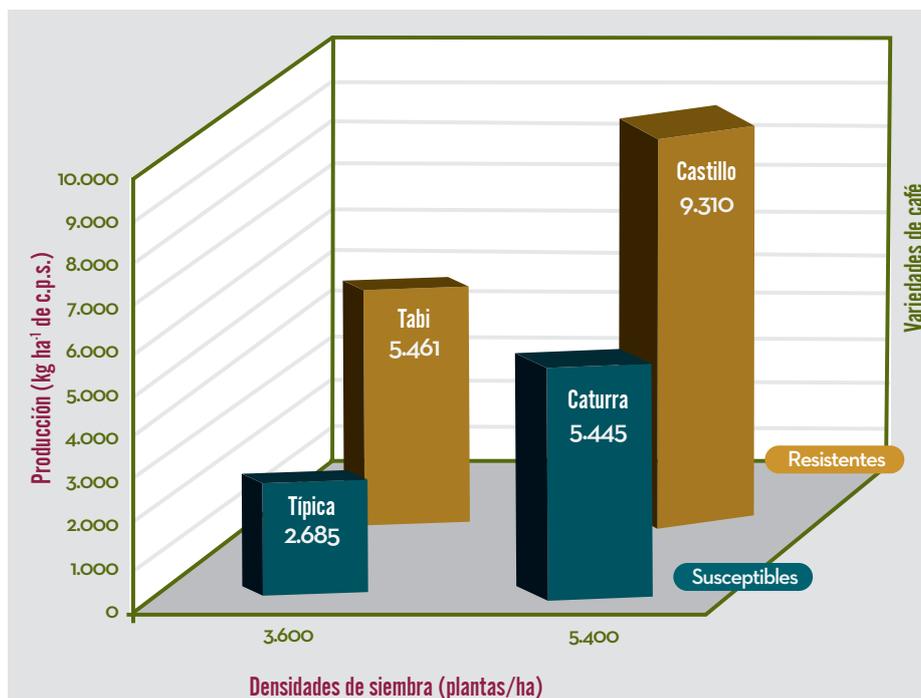


Figura 44. Producción acumulada de cuatro cosechas de dos variedades susceptibles a la roya del cafeto (Típica y Caturra) y dos resistentes a la enfermedad (Tabi y Castillo®). Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas).

Recomendación práctica

En sistemas agroforestales con café se sugiere el establecimiento de variedades resistentes a la roya del cafeto, debido a que bajo sombrío y en condiciones de épocas húmedas prolongadas, se crean las condiciones para el incremento en la incidencia y severidad de la enfermedad.

(variedad Caturra), la producción se redujo en 41,5% frente a la registrada en la variedad resistente (Castillo®). En los análisis no se analizó el costo del control.

Densidad de siembra del café en SAF

El principal objetivo de toda actividad agrícola es obtener la máxima producción posible por unidad de área, es decir, lograr acercar la producción real a la potencial y que sea económicamente rentable. La producción potencial depende básicamente de la cantidad y disponibilidad de radiación solar incidente y del potencial fotosintético, que a su vez está determinado por la proporción de esta luz que es interceptada por los órganos verdes de la planta y la eficiencia de la planta para la conversión fotosintética de la luz interceptada en biomasa (Scurlock et al., 1987).

En sistemas agroforestales con café la cantidad y calidad de radiación solar

disponible para el cultivo depende, entre otros, de la densidad de siembra de los árboles de sombrío, especies arbóreas seleccionadas, arquitectura de los árboles y, estrictamente, del manejo de los árboles para mantener los niveles de sombra dentro del rango adecuado para la localidad, según la nubosidad (Farfán y Jaramillo, 2009). El potencial fotosintético está determinado por la nutrición del cultivo, su estado fitosanitario, edad del cultivo, manejo de arvenses, y la variedad seleccionada, estructura del dosel, prácticas de manejo del cultivo y la densidad de siembra (Lobell et al., 2009).

La densidad de siembra del café la determina las características físicas y químicas del suelo donde se establece el cultivo, las características del clima, los ciclos de renovación, la variedad seleccionada, la distribución espacial y fundamentalmente los recursos económicos que posea el caficultor para manejar bajas o altas densidades de siembra (Arcila et al., 2007; Lobell et al., 2009).

Son diversos los estudios realizados en Colombia para obtener la densidad de siembra del café, con la cual se acerque a la producción potencial. Valencia (1973) obtuvo que esta producción puede alcanzarse con 10.000 plantas por hectárea con café variedad Caturra al sol; resultados similares fueron obtenidos por Uribe y Mestre (1980), en las condiciones de la zona cafetera Central de Colombia. En sistemas agroforestales, Farfán y Mestre (2004), para la zona Norte de Colombia afirman que la producción potencial puede lograrse al establecer 8.500 plantas por hectárea.

Los cultivos de café en sistemas agroforestales son una estrategia de

adaptación de los sistemas de producción a la variabilidad climática, en zonas en las cuales, en determinadas épocas estén bajo este riesgo, previendo afectaciones en la producción; pero es fundamental determinar la densidad de siembra del café con la que se obtiene la producción máxima y así compensar las reducciones en producción por efecto de la sombra. En diferentes estudios se tienen resultados sobre las densidades de siembra para obtener la máxima producción en dos variedades resistentes a la roya del cafeto, en la Estación Experimental Naranjal, zona cafetera Central de Colombia, los cuales se discuten a continuación.

Resultados de investigaciones

En la Estación Experimental Naranjal ubicada a 4° 58' latitud Norte y 75° 39' longitud Oeste, región cafetera Central colombiana, se evaluó la respuesta en producción del café a diferentes

densidades de siembra; en un sistema agroforestal con *E. fusca* (cámbulo), *Inga edulis* (guamo santafereño), *I. densiflora* (guamo macheto) y *Albizia carbonaria* (carbonero), establecido a 12,0 x 12,0 m (70 árboles/ha). Las variedades de café evaluadas fueron Castillo® y Tabi, resistentes a la roya del cafeto. Las densidades de siembra evaluadas en la variedad Tabi fluctuaron entre 1.800 y 7.200 plantas/ha y Castillo entre 3.600 y 9.000 plantas/ha.

Las densidades de siembra con las que se obtienen las mayores producciones se presentan en la Figura 45. Para las variedades evaluadas, estas densidades se determinaron mediante funciones cuadráticas del orden $y = ax^2 + bx + c$. De acuerdo con las funciones de ajuste, a las condiciones de clima y suelo de la localidad donde se desarrolló el estudio, al plan de fertilización y al período productivo evaluado (2008 a 2012), la densidad de siembra del café Variedad Castillo®, con



la cual se obtiene la máxima producción (11.444 kg ha⁻¹ de c.p.s.), es de 9.000 plantas/ha.

Bajo estas mismas condiciones, la densidad de siembra del café variedad Tabi (porte alto), con la que se obtuvo la máxima producción acumulada (7.103 kg ha⁻¹ de c.p.s.) fue de 5.300 plantas/ha (Figura 45).

En este estudio fue un polinomio cuadrado la función que explicó la densidad de siembra (10.000 plantas/ha), con la cual se obtiene la máxima producción (2.769 kg ha⁻¹ de c.p.s.).

En sistemas agroforestales con café variedad Colombia, Farfán y Baute (2009), encontraron que los promedios de la producción fueron mayores en cafetales establecidos a altas densidades de siembra, y mediante el ajuste de una función cuadrática, la densidad de siembra con la que se obtiene la máxima producción (2.800 kg ha⁻¹ de c.p.s.), es de 8.000 plantas/ha.

En la zona cafetera Central es factible obtener altas producciones, de 2.228 kg ha-año⁻¹ de café pergamino seco con Variedad Castillo® y 1.421 kg ha-año⁻¹ con variedad Tabi, establecidas en sistemas agroforestales, en altas densidades de siembra y con un apropiado plan de fertilización (análisis de suelos, épocas y dosis de fertilizantes recomendados). Adicionalmente, estos sistemas de producción, pueden ser alternativas en zonas donde se cultiva café con alto riesgo climático: altas temperaturas, baja precipitación, deficiencias hídricas en el suelo, alta radiación solar, etc.

En la Finca Las Tapias, ubicada en el municipio de El Socorro (Santander), a 06° 25' 29" N y 73° 12' 49" W, zona cafetera Norte de Colombia, se evaluó la respuesta en producción de café variedad Castillo® establecido en tres densidades de siembra en un sistema agroforestal con el componente arbóreo de *I. edulis* (guamo santafereño), en tres distancias de siembra (Tabla 11).

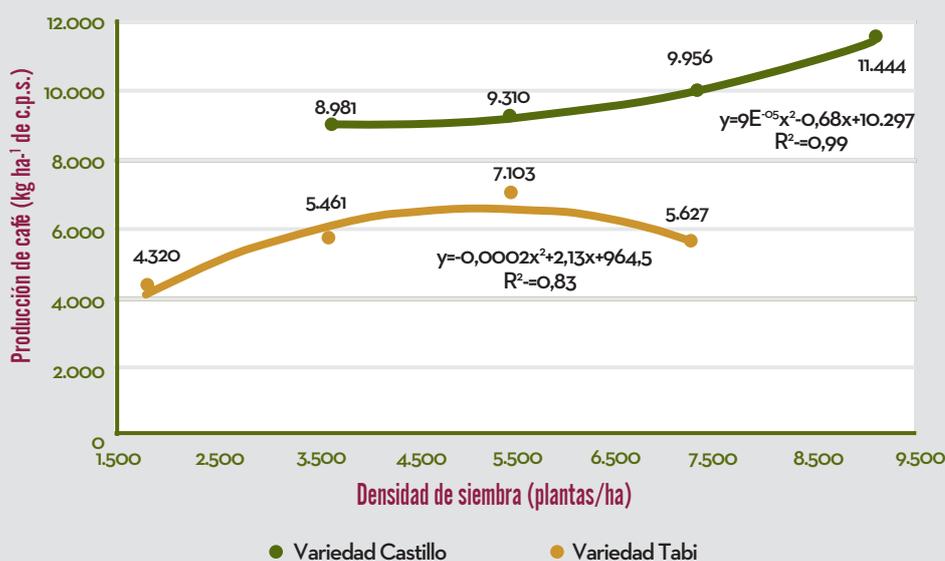


Figura 45. Producción acumulada (cuatro cosechas) de café de las variedades Castillo® y Tabi, en respuesta a la densidad de siembra.

De acuerdo a la Figura 46, la densidad de siembra del café y del sombrío con las que se obtuvo la mayor producción fue de 10.000 plantas/ha, bajo cualquier densidad de siembra del sombrío. Los resultados indican una respuesta favorable en producción, al incremento en la radiación solar disponible para el cultivo. La producción máxima se alcanza con el café establecido con 10.000 plantas/ha y con el sombrío de *I. edulis* con 123 árboles/ha. Esto puede deberse a que al incrementar la densidad de siembra del café aumenta el calcio intercambiable, los macronutrientes, el carbono orgánico, el contenido de humedad del suelo y la colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares. A estos resultados también se le atribuye un mejor control de la erosión, el mejoramiento en

la gestión de los residuos de la planta y el ciclo de nutrientes, y la disminución de pérdidas por lixiviación, es decir, el aumento de población de árboles de café por unidad de área ha demostrado ser una estrategia de recuperación y mejoramiento de la fertilidad del suelo (Lomis et al., 1971; Paulo y Furlani, 2010; Pavan et al., 1999).

En la caficultura, el establecimiento de las variedades adaptadas a las localidades, con ajustes a condiciones particulares, adecuada nutrición y óptimas densidades de siembra, debe traducirse en altos rendimientos por unidad de área (Parreiras et al., 2011).

Producción anual vs. Precipitación (mm). En el año 2010 se presentó el período de máxima precipitación (Figura 47) y para

Tabla 11.

Distancias de siembra del sombrío y del café. Finca Las Tapias (El Socorro, Santander).

Distancia de siembra del sombrío		Distancia de siembra del café	
(m)	(árboles/ha)	(m)	(plantas/ha)
6,0 x 6,0 m	278	1,00 x 1,00 m	10.000
9,0 x 9,0 m	123	1,42 x 1,42 m	5.000
12,0 x 12,0 m	70	2,00 x 2,00 m	2.500

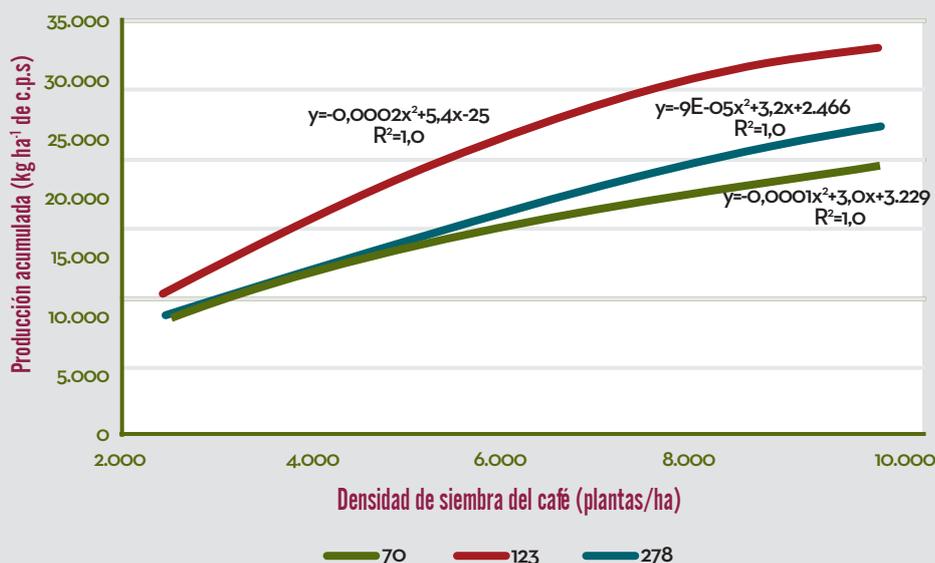


Figura 46. Promedio de producción de café, en tres densidades de siembra, bajo sombrío de *I. edulis*. Finca Las Tapias (El Socorro, Santander).

este año las producciones de café más altas se registraron en los sistemas de siembra de 10.000 plantas/ha.

En los años 2012 al 2014 hubo una disminución en la precipitación, comparados con los años 2009 al 2011; además, estos cambios en la precipitación estuvieron acompañados por un incremento en la temperatura máxima. Si bien, el comportamiento de la producción fue similar y la mayor producción se obtuvo con 10.000 plantas/ha, los rendimientos acumulados más altos se registraron con el sombrero establecido a 9,0 x 9,0 m.

Para su máxima expresión en producción, el café requiere zonas con precipitaciones entre 1.800 y 2.000 mm anuales, acompañados de temperaturas entre 19,0 y 21,5°C. Las precipitaciones por debajo de los niveles de 1.450 mm (Figura 47), registradas en los años 2012 a 2014, pudieron generar una situación desfavorable para el café establecido con los árboles de sombrero a 12,0 x 12,0 m (la menor densidad de siembra del sombrero evaluada), favoreciendo la producción con un mayor número de árboles por hectárea.

De acuerdo con Arcila et al. (2007), en los primeros 30 cm de profundidad del suelo se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del cafeto, lo que significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes. Adicionalmente plantea que una estrategia para reducir el estrés hídrico en el cafeto es incrementar la densidad de siembra, debido a que se estimula el crecimiento vertical de la raíz, obligándola a tomar agua de capas más profundas del suelo.

Alcanzar altos niveles de producción mediante una caficultura intensiva en sistemas agroforestales (SAF) es factible,

si el caficultor dispone de los recursos humanos y económicos para el manejo de las plantaciones; una práctica fundamental en el manejo de altas densidades de siembra del café en SAF es el mantenimiento del nivel de sombrero dentro de los rangos óptimos. El café tolera disminuciones hasta del 45% de la radiación solar (Damatta et al., 2007), sin sufrir reducciones en el crecimiento y en el índice de área foliar (IAF); reducciones superiores a este valor ocasionan una menor cobertura del suelo por las plantas de café y, en consecuencia, una disminución en el crecimiento y en la producción (Arcila, 2007). Adicionalmente, bajo estos sistemas de producción es fundamental la implementación de ciclos cortos de renovación, planes de fertilización basados en los resultados de análisis de suelos, el manejo oportuno de broca del café y arvenses, entre otros.

En conclusión, la producción del café se ve afectada por la baja disponibilidad de agua en períodos secos y la reducida cobertura arbórea, sometiéndolo a una condición de estrés hídrico; situación que puede corregirse incrementando la densidad de siembra del café y del sombrero. Estas pueden ser estrategias de adaptación de los cultivos a la variabilidad climática, específicamente para eventos El Niño.

En la Estación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar), zona cafetera Norte de Colombia, se evaluó la respuesta en producción de café Variedad Castillo® a la densidad de siembra, en un sistema agroforestal con *I. edulis* (guamo santafereño), establecido a densidades cercanas a los 70 árboles/ha.

Las densidades de siembra del café fueron 3.900, 6.000 y 7.800 plantas/ha. La fertilización del café se realizó con base

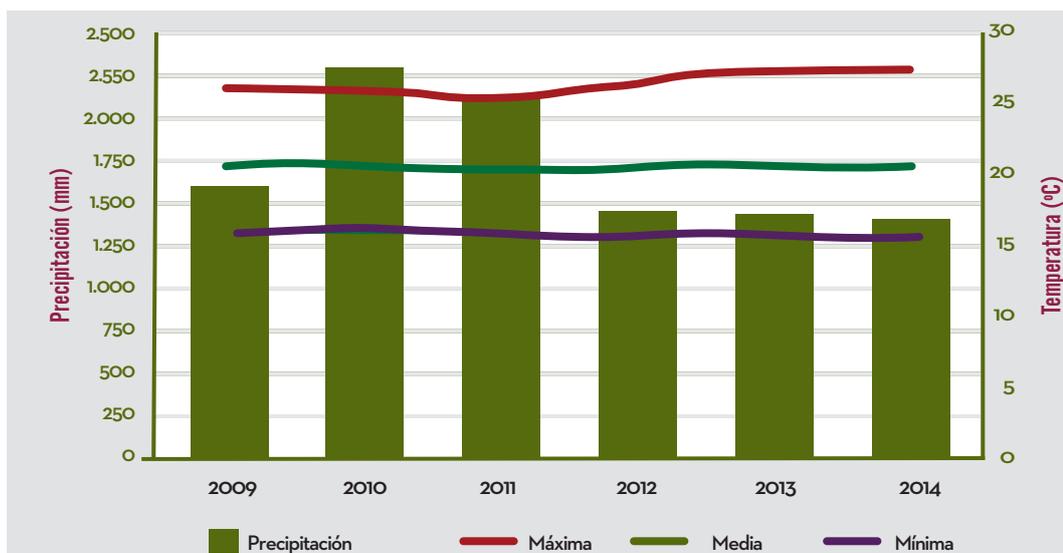


Figura 47. Precipitación y temperatura máxima, media y mínima, promedio anual (2009 a 2014); Estación Alberto Santos, municipio de El Socorro, Santander (Fuente: Anuarios Meteorológicos, Cenicafé 2009 a 2014).

en los resultados de los análisis de suelos, empleando como fuentes pulpa de café descompuesta y fertilizante inorgánico.

En la Figura 48 se presenta la producción acumulada de café pergamino seco de cinco cosechas, como respuesta a la densidad de siembra, en la cual se evidencia que las máximas producciones se obtuvieron con altas densidades de siembra del café. En términos generales, podría inferirse que, en sistemas agroforestales con café, en zonas cafeteras colombianas como la Norte, pueden adoptarse prácticas agronómicas, como el incremento en la densidad de siembra, que se traduzcan en mayor productividad y rentabilidad para los caficultores.

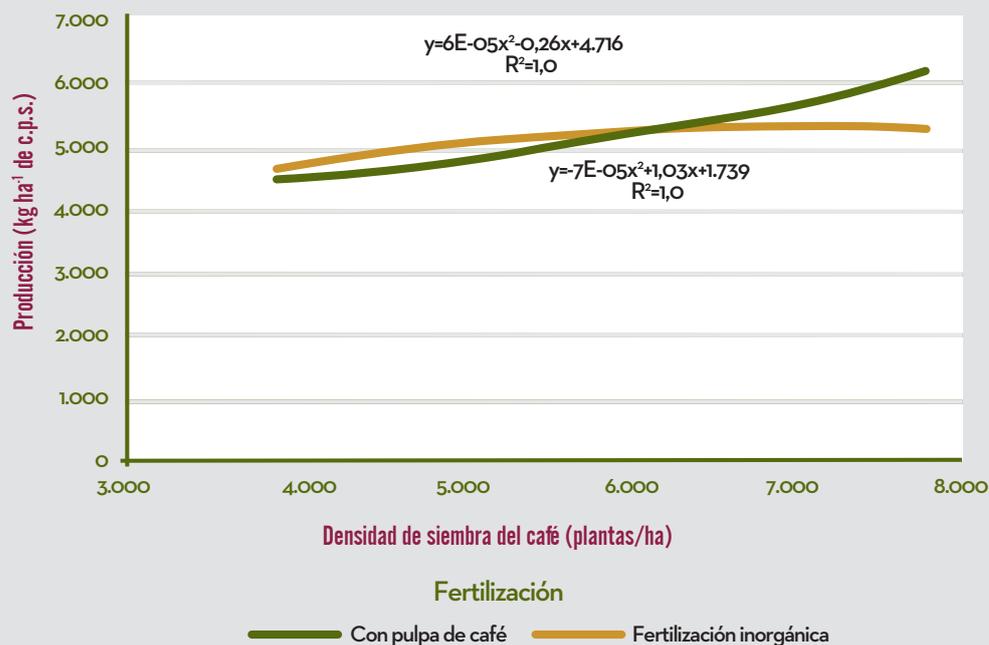
En la Granja Blonay, ubicada en el municipio de Chinácota (Norte de Santander), se evaluó el efecto en la producción, de las dosis de fertilizante aplicado al cultivo, en función de las densidades de siembra del café, en un sistema agroforestal. En el estudio se empleó la variedad de café Castillo® Pueblo Bello y como sombrero permanente se utilizó el componente arbóreo ya establecido en el sitio de

estudio, con arreglo espacial no definido, pero con una densidad de siembra cercana a los 70 árboles/ha, que proporcionaron alrededor de 30% de cobertura.

Se evaluaron 20 tratamientos, conformados por la combinación de cinco niveles de fertilización: 12,5%, 25,0%, 50,0%, 75,0% y 100%, según resultados de los análisis de suelos, y cuatro densidades de siembra del café: 3.600, 5.400, 7.200 y 9.000 plantas/ha, correspondientes a las distancias de siembra de 1,65 x 1,65 m, 1,35 x 1,35 m, 1,18 x 1,18 m y 1,05 x 1,05 m, respectivamente.

Se construyeron funciones de producción relacionándolas con las dosis de fertilizante aplicado y las densidades de siembra evaluadas; las funciones que tuvieron el mejor ajuste para explicar la mayor producción, fueron polinomios cuadrados. En la Figura 49, se evidencia que las mayores producciones se obtienen hasta con la siembra de 9.000 plantas/ha, independiente de la cantidad de fertilizante aplicado. No obstante, los mejores resultados se logran si se aplica el 100% de la dosis de fertilizante recomendado en los análisis de suelos.

Figura 48.
Producción acumulada de cinco cosechas (kg ha⁻¹ de c.p.s.) y tres densidades de siembra. Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).



En tres localidades de las zonas cafeteras de Colombia, Pueblo Bello en el departamento de Cesar (zona Norte), la Estación Experimental Naranjal, departamento de Caldas (zona Centro) y la Estación Experimental El Tambo, departamento de Cauca (zona Sur), se evaluó la respuesta en producción del café variedad Tabi (porte alto), en un sistema agroforestal, a las densidades de siembra 1.667, 2.500, 3.300, 4.200, 5.000 plantas/ha. El componente arbóreo fue diverso y establecido a 70 árboles/ha.

El estudio inició en el año 2008 en la Estación Pueblo Bello, en el año 2005 en la Estación Naranjal y en el año 2009 en la Estación El Tambo. En las tres localidades ya se encontraba establecido el sombrío permanente. Se realizaron podas periódicas a los árboles de sombrío para mantener un porcentaje de sombra de acuerdo a cada localidad, así: en Pueblo

Bello del 42%, en Naranjal del 30% y en El Tambo del 33% (Farfán y Jaramillo, 2009).

Las densidades de siembra con las que se obtuvo la máxima producción para la variedad Tabi en sistemas agroforestales, en las tres localidades bajo estudio, se determinaron mediante funciones cuadráticas del orden $y = ax^2 + bx + c$. De acuerdo a las funciones de ajuste, a las condiciones de clima y suelo de las localidades, al plan de manejo agronómico, al porcentaje de sombrío y a los períodos evaluados, la densidad de siembra del café con la cual se obtienen las mayores producciones, es de 5.000 plantas/ha, en todas las localidades (Figura 50).

Los resultados son contrastantes con las recomendaciones dadas por Arcila et al. (2007), quienes afirman que variedades de porte alto bajo sombrío deben establecerse máximo con 2.500 plantas/ha; pero

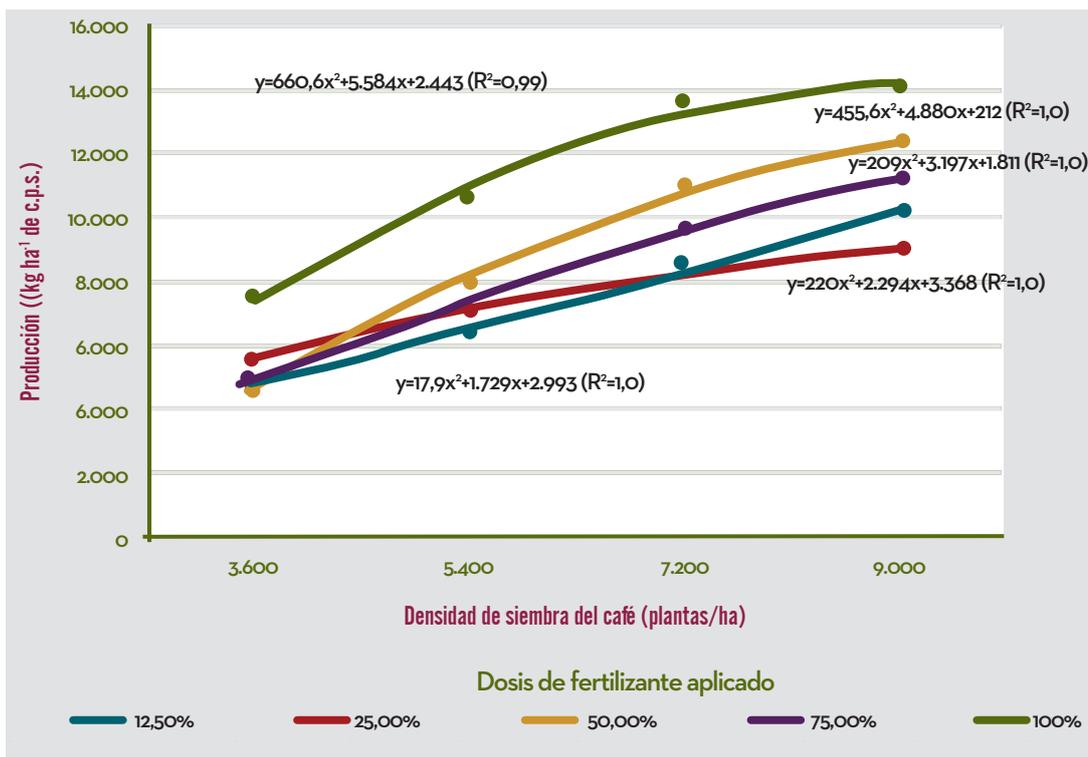


Figura 49. Producción acumulada de seis cosechas (2013 a 2018), del café Variedad Castillo®, en función de la densidad de siembra, Granja Blonay, Norte de Santander.

concordantes con los resultados obtenidos por Moreno (2002a) en la Estación Pueblo Bello, con producciones de 2.112 kg ha⁻¹ de café pergamino seco, establecido con 3.600 plantas/ha. Farfán y Baute (2009), encontraron que los promedios de la producción fueron mayores en cafetales establecidos a altas densidades de siembra y que, mediante el ajuste de una función cuadrática, la densidad de siembra con la que se obtiene la máxima producción (2.800 kg ha⁻¹ de c.p.s), fue 8.000 plantas/ha, con variedades de porte intermedio.

Sakai et al. (2013) evaluaron la respuesta en producción de café variedad Catuai ante la variación de las densidades de siembra entre 3.100 y 12.500 plantas/ha, y obtuvieron que fue un polinomio cuadrado la función que explicó la densidad de siembra (10.000 plantas/ha) con la que se

obtiene la máxima producción (2.769 kg ha⁻¹ de café pergamino seco). Martins y Furlani (2010), con similar variedad de café, evaluaron la respuesta en producción a la densidad de siembra (2.500, 5.000, 7.519 y 10.000 plantas/ha) y obtuvieron que la producción acumulada de dos cosechas se incrementó linealmente ($y = 0,8094x + 3,353$; $R^2=0,87$) con la densidad de la plantación de árboles de café. El mayor rendimiento lo registraron en la población con aproximadamente 3.650 plantas/ha, en investigaciones realizadas con cultivos a libre exposición solar.

Las progenies derivadas de cruzamientos entre variedades de porte alto (Borbón) por Híbrido de Timor, constituyen un material resistente a la roya para los cultivadores que prefieren cultivar estas variedades en sistemas agroforestales, y pueden ser especialmente útiles en zonas en que

Recomendación práctica

Al incrementar la densidad de siembra:

- Puede reducirse la densidad del sombrío o porcentajes de sombra.
- Se tienen ciclos cortos de producción, lo que contribuye a reducir el riesgo de daños por deficiencias hídricas.
- Se recupera parte de la producción cuando ésta se reduce por el establecimiento del sombrío.
- Se promueve el crecimiento vertical de raíces en el suelo, por lo tanto, las plantas consumen agua de las capas más profundas.

- Se reduce la evaporación del suelo al incrementarse el área foliar del café.

- Al producirse en ciclos cortos se tienen plantas siempre jóvenes, las que soportan mejor los períodos de deficiencia hídrica.

- Las plantas se autoprotegen de temperaturas bajas en las horas de la noche y de las altas temperaturas en períodos secos.

- Se permite una mayor utilización de los recursos como agua, fertilizantes, suelo, etc.

- Hay compensación o recuperación de sitios perdidos y menor exposición del suelo a evaporación.

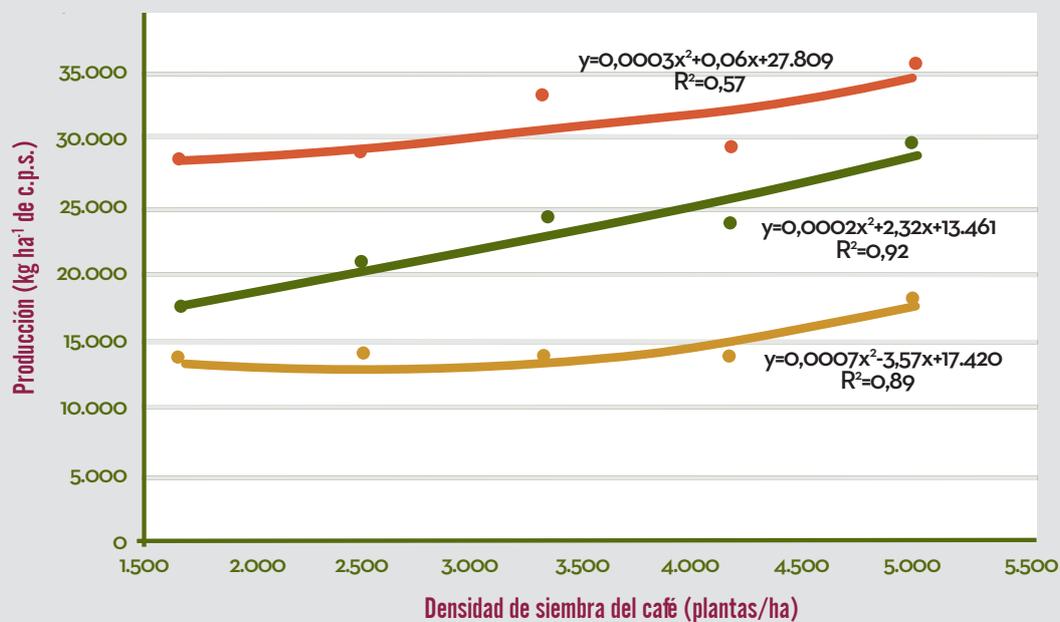


Figura 50. Producción de café variedad Tabi, en respuesta a la densidad de siembra.

— E.E. Pueblo Bello (Cesar) — E.E. El Tambo (Cauca) — E.E. Naranjal (Caldas)

el cultivo intensivo no es adecuado por limitaciones de clima y suelo⁴.

Ciclos, sistemas y épocas de renovación del café en SAF

La planta de café es perenne y alcanza su crecimiento y productividad máxima entre los 6 y 8 años de edad, después de la cual la planta se envejece paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad. El ritmo de envejecimiento depende de la calidad del sitio, la densidad de siembra, intensidad de la producción, disponibilidad de nutrientes, presencia de plagas y enfermedades o estrés ambiental, entre otros (Arcila et al., 2007).

A medida que la planta envejece, el follaje se torna de un color verde pálido, indicando cierto grado de senescencia y además se observa defoliación en las ramas de la parte baja. Después de tres a cuatro cosechas, la zona de producción se ha movido hacia la parte media y superior en el tallo principal y hacia la parte exterior de las ramas, las hojas son de tamaño menor que el normal, se observa fuerte defoliación en la parte inferior y al interior de la planta, y se produce la muerte de algunas ramas en la base de la planta (Arcila et al., 2007).

Ciclos de renovación del café en SAF

El cultivo del café requiere de renovaciones periódicas y programadas de los árboles después que alcanzan su pleno desarrollo, si se quiere mantener un promedio de

producción por unidad de superficie alto y rentable. Si no se hace renovación periódica, la producción declina año tras año, debido a la competencia por espacio, luminosidad y por efecto del deterioro físico de las plantas, que generalmente son doblegadas y se quiebran durante la labor de recolección (Mestre y Salazar, 1998).

En la Finca Las Tapias, ubicada en el municipio de El Socorro (Santander), zona cafetera Norte de Colombia, se estimó el ciclo de renovación del café variedad Castillo®, fijado cuando la plantación alcanzara el nivel de máxima producción, durante seis cosechas de café. El café se estableció a tres densidades de siembra (2.500, 5.000 y 10.000 plantas/ha) y el sombrío, con *I. edulis* (guamo santaferense), se estableció a 70, 123 y 278 árboles/ha. Los resultados se presentan en la Figura 51.

Con el sombrío a 6,0 x 6,0 m (278 árboles/ha), el café plantado con 2.500 o 5.000 plantas/ha debe iniciar su ciclo de renovación después de la quinta cosecha, mientras que con 10.000 plantas/ha esta renovación debe iniciar después de la sexta cosecha. Con el sombrío a 9,0 x 9,0 m (123 árboles/ha) y el café a 5.000 y 10.000 plantas/ha, debe iniciarse la renovación entre la quinta y la sexta cosecha, respectivamente; a bajas densidades de siembra (2.500 plantas/ha), no fue determinado el ciclo.

Con el sombrío establecido a 12,0 x 12,0 m (70 árboles/ha) y el café a 5.000 y 10.000 plantas/ha, debe iniciarse la renovación entre la sexta y la cuarta cosecha, respectivamente; a bajas densidades de siembra (2.500 plantas/ha) no fue

⁴ CASTILLO Z., J. Algunos materiales de interés agronómico seleccionados por la disciplina de mejoramiento genético de Cenicafé. Chinchiná : Cenicafé, 1989. 1 p. (Seminarío octubre 27).

determinado el ciclo. Estas estimaciones fueron realizadas para las características y condiciones de suelos y manejo del cultivo en la localidad y para las condiciones de clima durante el período de evaluaciones de la producción (2009 a 2014).

En la Estación Experimental Pueblo Bello, en el municipio de Pueblo Bello (Cesar), zona cafetera Norte de Colombia, se estimó el ciclo de renovación del café variedad Colombia, determinado cuando la plantación alcanza el nivel de máxima producción, durante siete cosechas de café. El café se estableció a distancias de 1,5 m entre plantas y surcos, para una densidad cercana a 4.500 plantas/ha; el sombrío, con *I. edulis* (guamo santafereño), se estableció a 70, 123 y 278 árboles/ha; los resultados se presentan en la Figura 52.

En esta localidad, con densidades de siembra del café de 4.500 plantas/ha y altas densidades de siembra del sombrío (278 árboles/ha) se obtienen menores producciones y, por ende, ciclos de

renovación más prolongados, entre la quinta y sexta cosecha, comparados con las producciones registradas bajo 70 y 123 árboles/ha.

Con el sombrío establecido a 9,0 x 9,0 m (123 árboles/ha) y a 12,0 x 12,0 m (70 árboles/) el ciclo de renovación deberá iniciarse entre la cuarta y la quinta cosecha de café. Estas estimaciones se realizaron para las características y condiciones del suelo y manejo del cultivo en la localidad y para las condiciones de clima durante el período de evaluaciones de la producción (1997 a 2003).

En la Granja Blonay, municipio de Chinácota (Norte de Santander), zona cafetera Norte de Colombia, se estimó el ciclo de renovación del café Variedad Castillo®, determinando cuando la plantación alcanzara el nivel de máxima producción, durante seis cosechas de café. El café fue establecido a densidades de 3.600, 5.400, 7.200 y 9.000 plantas/ha; el cultivo siempre tuvo sombrío permanente, conformado por diversas especies



maderables, que proporcionaron cerca de 30,0% de cobertura; los resultados de producción se presentan en la Figura 53.

En esta localidad, con bajas densidades de siembra (3.600 plantas/ha) no se determinó el ciclo para la renovación del café. Con 5.000 plantas/ha el café podría ser renovado una vez recolectada la cuarta cosecha. Para altas densidades de siembra, entre 7.200 y 9.000 plantas/ha, el momento para la renovación del café puede fijarse entre la tercera y cuarta cosecha.

En la Estación Experimental Naranjal, zona cafetera Central y en la Estación Experimental Pueblo Bello, zona cafetera Norte, durante nueve cosechas de café en la primera y durante ocho cosechas en la segunda estación, respectivamente, se evaluó el momento en el que se alcanzó la máxima producción y, por ende, el ciclo de renovación. El café se estableció con 4.500 plantas/ha en los dos casos y con sombrío diverso en densidades aproximadas de 70 árboles/ha.

En la zona cafetera Centro de Colombia, el ciclo de renovación del café en SAF y a las densidades mencionadas, deberá realizarse en la quinta cosecha. En la zona cafetera Norte con densidades de siembra similares, este ciclo deberá ser entre la séptima y octava cosechas (Figura 54).

Sistemas de renovación del café en SAF

Para que el sistema agroforestal con café pueda cumplir con el objetivo de mantener una producción alta y estable, es necesario mantener, en la misma proporción, plantas en todas las edades posibles dentro del sistema, es decir,

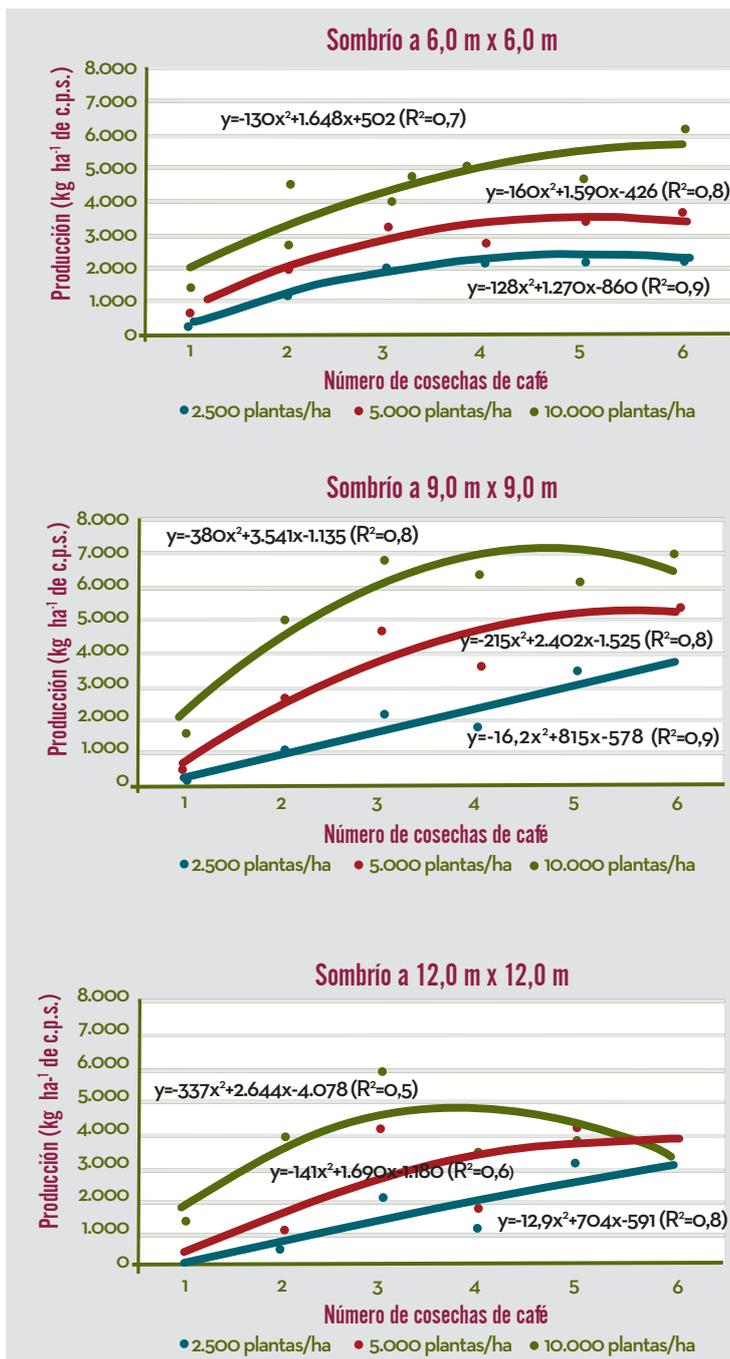


Figura 51.

Ciclo para la renovación del café con el sombrío a 6,0 m x 6,0 m (a), a 9,0 m x 9,0 m (b) y a 12,0 m x 12,0 m (c), en la finca Las Tapias, en el municipio de El Socorro (Santander).

que para la implementación del sistema puede dividirse la finca en un número de lotes equivalentes al ciclo de producción



Figura 52.

Ciclo para la renovación del café en SAF E.E. Pueblo Bello (Cesar).

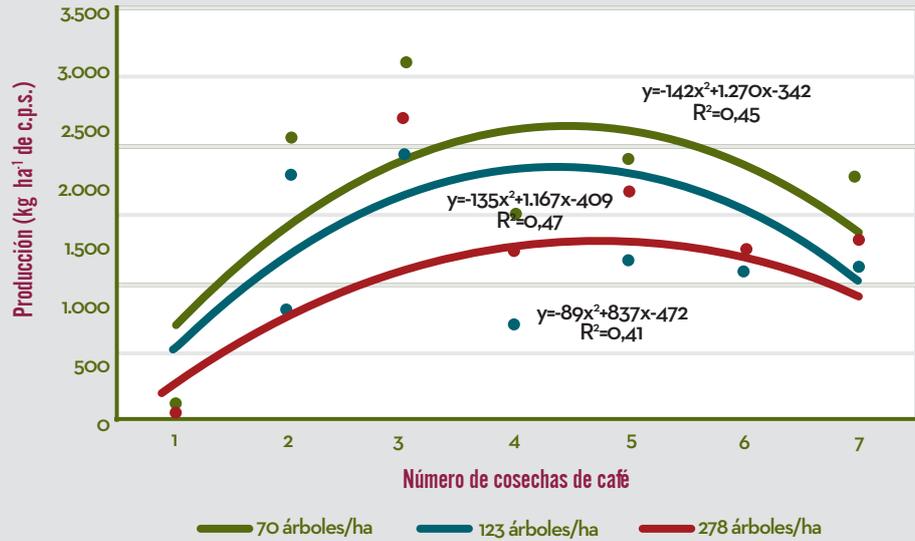
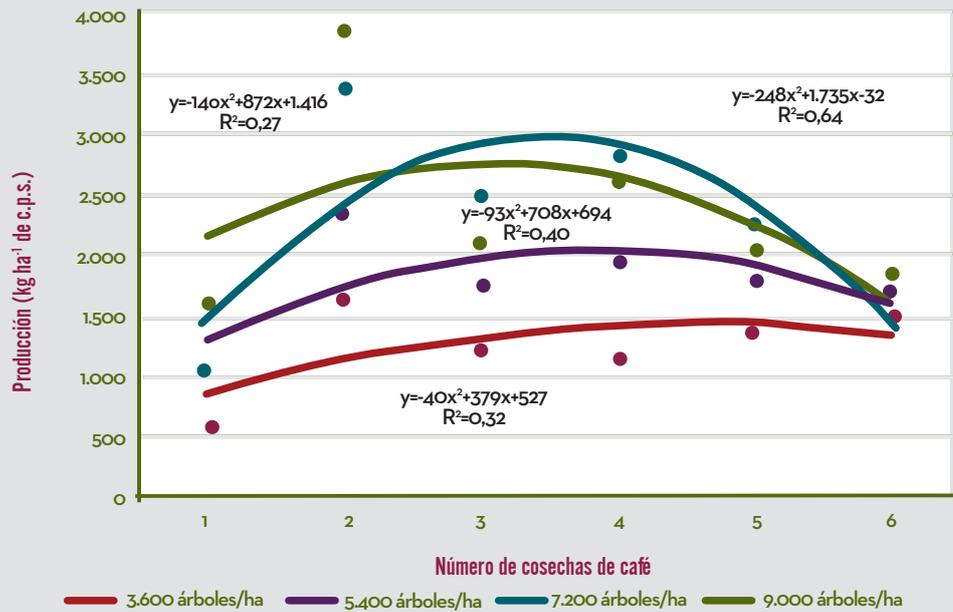


Figura 53.

Ciclo para la renovación del café en SAF. Granja Blonay (Norte de Santander).



(Mestre y Ospina, 1994). Existen diversas alternativas para la renovación de una planta de café, pero es el zoqueo la práctica que implica menores inversiones en la renovación; mediante este sistema pueden renovarse grupos de plantas anualmente, por ejemplo, para una densidad de 6.000 plantas/ha, en un ciclo de renovación de seis cosechas, por

zoqueo pueden renovarse cerca de 1.000 plantas anualmente.

En la Figura 55 se presenta un ejemplo para la implementación de un sistema de renovación por zoqueo, para un ciclo de seis cosechas y empleando la “poda calavera” como estrategia para evitar

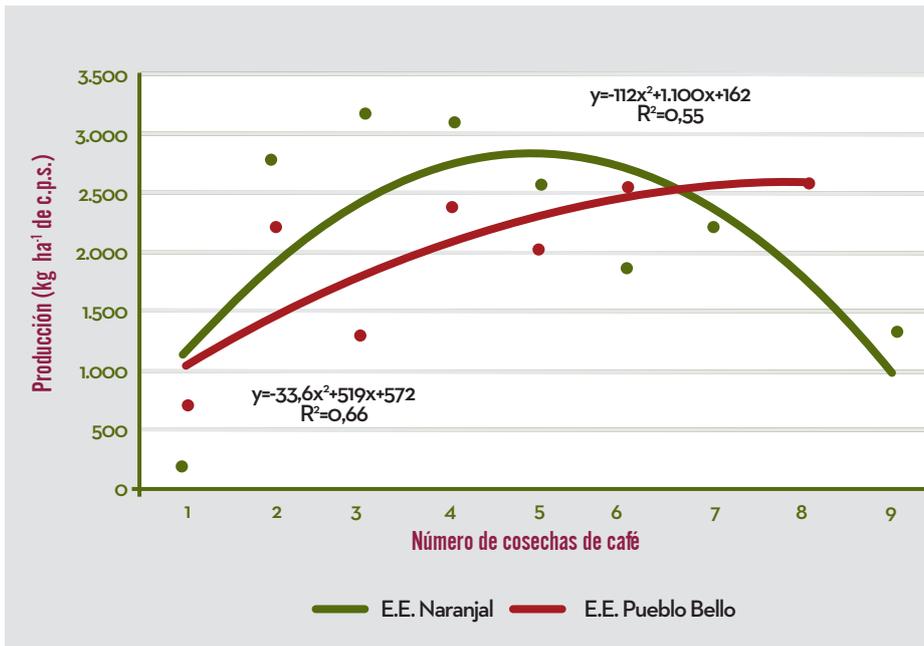


Figura 54. Ciclo para la renovación del café en SAF. Estación Experimental Naranjal (Caldas) y Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).

reducciones sustanciales en el ingreso del productor y estabilizar la producción (adaptado de Mestre y Salazar, 1998).

Épocas de renovación del café en SAF

La época de renovación está estrechamente relacionada con los períodos de cosecha del café. En Colombia se produce café durante todo el año; se obtienen dos cosechas, una de mayor volumen denominada “cosecha principal” y otra llamada “travesía o mitaca” (Tabla 12), por lo tanto, la renovación debe realizarse según se muestra en la Figura 56.

Administración de los árboles de sombrío

En el campo de la agroforestería son básicos los estudios sobre la importancia

relativa de la competencia por luz, agua y nutrientes, a lo largo de los gradientes ecológicos, para identificar los factores limitantes en un rango de condiciones biofísicas. Es importante conocer los efectos de la arquitectura y dinámica de la copa del árbol de diferentes especies sobre la disponibilidad de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) en el cultivo, los efectos de la sombra sobre la fenología del café, particularmente la iniciación y desarrollo del fruto, pero más importante es conocer las interacciones entre las densidades de siembra del árbol, el porcentaje de sombra, el arreglo espacial del café y sus efectos sobre la producción del cultivo, cuando se establece bajo cubierta arbolada (Farfán, 2014).

Son diversas las alternativas para el establecimiento de los árboles de sombrío al café, entre las que sobresalen las hileras de árboles, los sombríos simples o con una sola especie, los sombríos estratificados o el empleo de varias especies de árboles que se desarrollan a diferentes tasas de

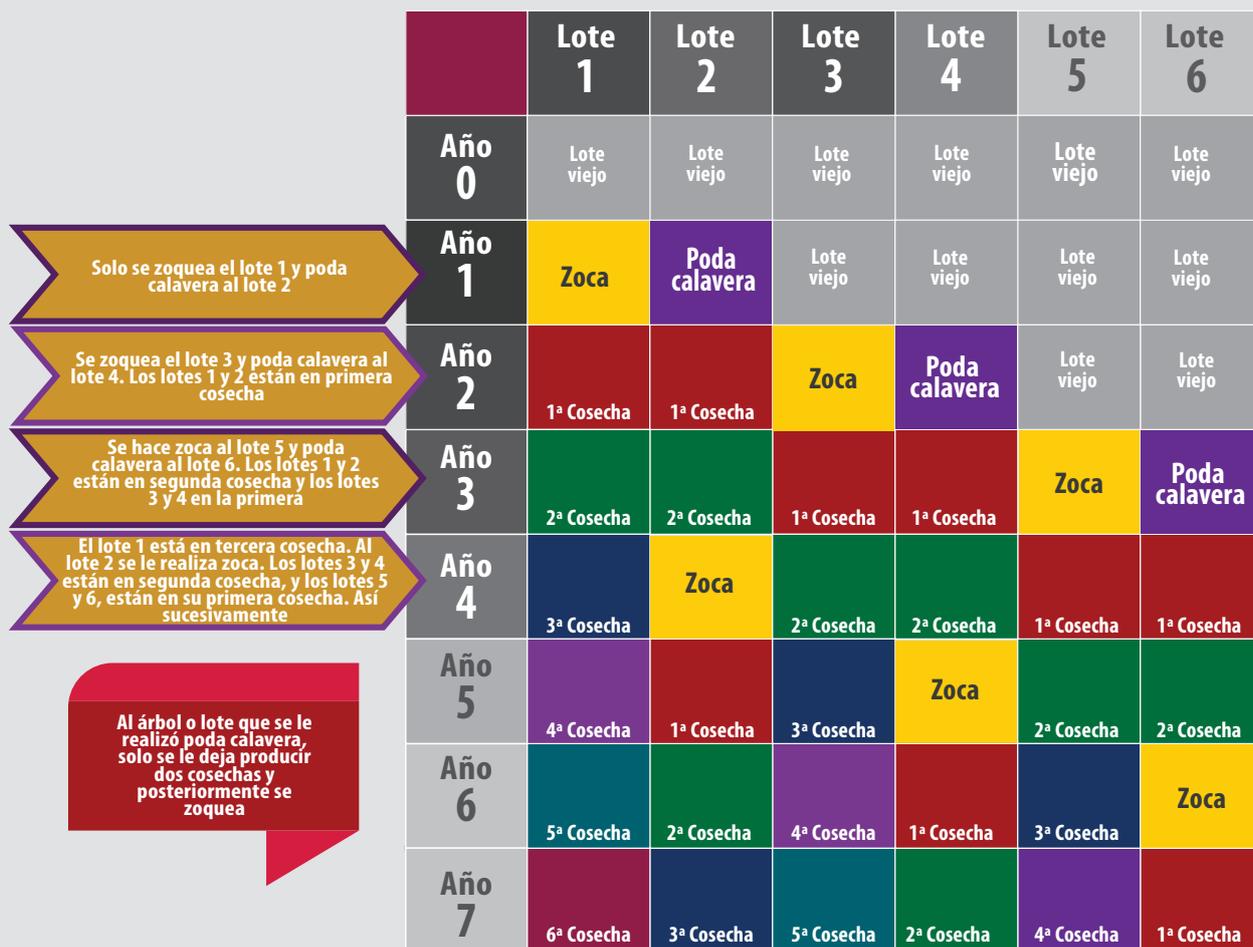


Figura 55. Implementación de un sistema de renovación de café en SAF. Las cosechas se representan en diferentes colores.

crecimiento, alcanzando diferentes alturas, a lo que se denominaría estratificación vertical. Estos árboles pueden plantarse a diferentes distancias de siembra, diferentes arreglos espaciales, al cuadro, al triángulo, etc., lo que se denominaría estratificación horizontal; estas estratificaciones tienen como propósito lograr una mayor interceptación de la RFA por parte de cultivo, traducida ésta en rendimiento, lo cual implica una adecuada administración o manejo del componente arbóreo dentro del cultivo.

Sombrío transitorio

En Colombia es común establecer sombrío en los cafetales durante los primeros años después del establecimiento del cultivo con plantas de corta duración, formando lo que se llama “sombrío transitorio”, posteriormente, se establece el sombrío permanente. En los primeros años de vida del cafeto su producción es escasa y por esto los caficultores tratan de compensar esta diferencia estableciendo plantas de sombrío que produzcan algún fruto; así

se obtiene una utilidad y a la vez se da tiempo al sombrío permanente para su establecimiento (Farfán, 2014).

El sombrío transitorio se diferencia del cultivo transitorio, en que este último se

establece intercalado con el café, en los surcos o calles, con el propósito de aprovechar estos espacios libres del cafetal antes de la primera cosecha, sin que se afecte su producción. El ingreso adicional que producirá el

Tabla 12.
Distribución de la cosecha de café en Colombia.

Departamentos	Meses del año											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Antioquia			■	■	■					■	■	■
Boyacá	■			■	■					■	■	■
Caldas				■	■	■				■	■	■
Cauca				■	■	■						
Cundinamarca										■	■	■
Huila				■	■	■				■	■	■
Magdalena, César, La Guajira	■										■	■
Nariño	■	■			■	■						
Norte de Santander			■	■	■					■	■	■
Quindío			■	■	■					■	■	■
Risaralda				■	■	■				■	■	■
Santander								■	■	■		
Tolima	■		■	■	■	■					■	■
Valle del Cauca	■		■	■	■						■	■

■ Cosecha principal ■ Mitaca

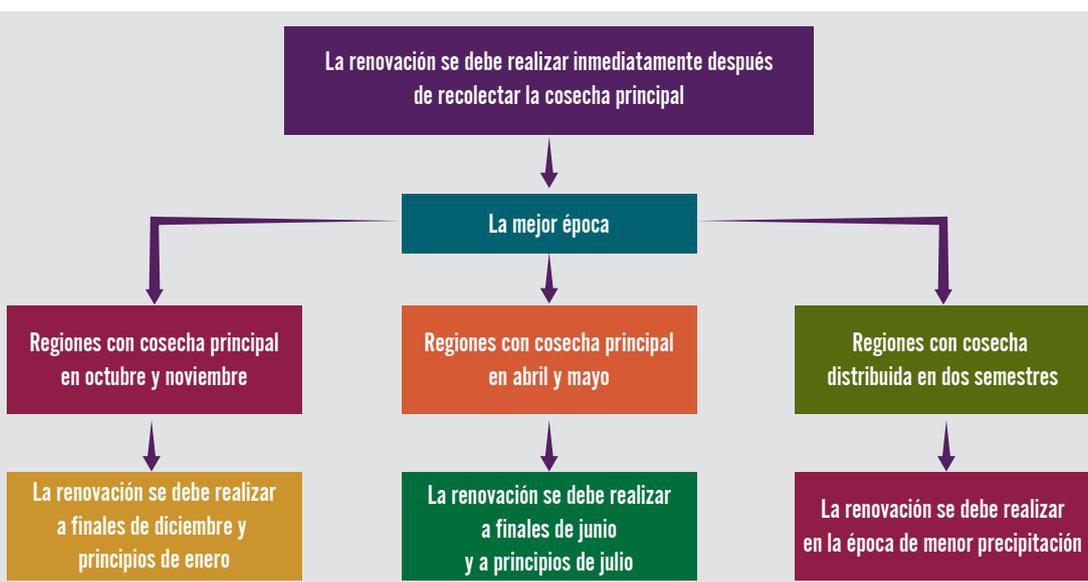


Figura 56.
Épocas de renovación del café en sistemas agroforestales.



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 frijol y maíz se corroboró que estos cultivos no afectan la producción de café, con la ventaja económica por los ingresos que se obtienen al vender la producción de maíz o frijol. De otra parte, se reduce el costo del mantenimiento del lote, porque este se carga a los cultivos intercalados (Moreno y Sánchez 2012).

Características del sombrío transitorio

Las especies empleadas como sombrío transitorio deben ser de rápido crecimiento y una vida entre dos y cuatro años, tiempo en el cual el sombrío permanente debe estar cumpliendo su función; deben ser de rápida regeneración y que se adapten bien a las condiciones climáticas y de suelos donde se establecen, preferiblemente que no sean hospederos de plagas y enfermedades y que no requieran de demasiada mano de obra para su mantenimiento (Enríquez & Martínez, 1984).

Adicionalmente, las especies para el sombrío transitorio deben tener la capacidad suficiente para dar sombra al café en su fase de establecimiento y protegerlo de condiciones climáticas adversas, deben ser conservadores del suelo, fáciles de eliminar al final del ciclo y su distribución en el campo no debe afectar el trazado y siembra del café, y preferiblemente que sirvan como fuente de abonos verdes y que ofrezcan alguna utilidad económica al caficultor (Enríquez & Martínez, 1984).

Especies a emplear como sombrío transitorio

Son diversas las especies que pueden ser empleadas con estos propósitos; entre

ellas se destaca el plátano y el banano, también se emplean arbustos leguminosos que adicional a brindar sombra en los primeros años de establecimiento del cultivo, aportan materia orgánica, reciclan nutrientes, mejoran las características químicas de los suelos, fijan gran cantidad de nitrógeno y realizan un eficiente control de arvenses, entre otros. Entre estas especies se destaca *T. candida* (tefrosia), *C. juncea* (crotalaria) y *C. cajan* (guandul).

Para el establecimiento de estas leguminosas como sombríos transitorios puede seguirse la recomendación dada en la Tabla 13, de acuerdo a las distancias de siembra del café.

Los 12 casos mencionados en la Tabla 14 hacen referencia a los procedimientos a seguir para establecer la densidad de siembra final (10.000 plantas/ha), a partir de raleos o eliminación de plantas establecidas inicialmente como sombrío transitorio.

Beneficios de las especies leguminosas como sombríos transitorios (Farfán, 2014)

- ♦ Conservan la humedad de los suelos y reducen la evaporación.
- ♦ Amortiguan los cambios de temperatura.
- ♦ Evitan el impacto directo del agua en el suelo.
- ♦ Impiden la disgregación del suelo y evitan la formación de costras impermeables superficiales.
- ♦ Protegen los suelos del sol y del viento.
- ♦ Son una fuente constante de materia orgánica

Tabla 13.

Distancias de siembra de las leguminosas, de acuerdo a las distancias de siembra del café.

Café			Especies leguminosas				
D. surcos (m)	D. plantas (m)	Densidad (plantas/ha)	D. surcos (m)	D. plantas (m)	D.S.I (plantas/ha)	D.S.F (plantas/ha)	Caso*
1,0	1,0	10.000	1,0	0,50	20.000	10.000	1
2,0	0,5	10.000	1,0	0,50	20.000	10.000	2
1,1	1,0	9.100	1,1	0,45	20.200	10.100	3
1,2	1,0	8.333	1,2	0,40	20.800	10.400	4
1,2	1,2	6.944	1,2	0,40	20.800	10.400	5
1,3	1,2	6.410	1,3	0,40	19.200	9.600	6
1,5	1,1	6.061	1,5	0,30	22.200	11.100	7
1,4	1,2	5.952	1,4	0,35	20.400	10.200	8
1,8	1,0	5.556	0,6	0,80	20.800	10.400	9
1,6	1,2	5.200	1,6	0,30	20.800	10.400	10
2,0	1,0	5.000	1,0	0,5	20.000	10.000	11
1,5	1,5	4.444	1,5	0,3	22.200	11.100	12

D. surcos. Distancia entre surcos.

D. plantas. Distancia entre plantas.

D.S.I. Densidad de siembra inicial.

D.S.F. Densidad de siembra final.

* Casos en la Tabla 15

Tabla 14.

Casos para establecer la densidad de siembra en café con sombrío transitorio.

Casos	Descripción
1	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,0 m x 1,0 m.
2	Siembra de dos surcos de leguminosas entre cada calle del café, raleo el 50% de las plantas, una por medio en cada surco, para una distancia de siembra final de 1,0 m x 1,0 m.
3	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,1 m x 0,9 m.
4	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,2 m x 1,0,8 m.
5	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,2 m x 0,8 m.
6	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,3 m x 0,8 m.
7	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,5 m x 0,6 m.
8	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,4 m x 0,7 m.
9	Siembra de dos surcos de leguminosas entre cada calle del café, raleo el 50% de las plantas, una por medio en cada surco, para una distancia de siembra final de 0,6 m x 1,6 m.
10	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,6 m x 0,6 m.
11	Siembra de dos surcos de leguminosas entre cada calle del café, raleo el 50% de las plantas, una por medio en cada surco, para una distancia de siembra final de 1,0 m x 1,0 m.
12	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco para una distancia final de siembra de 1,5 m x 0,6 m.

- ♦ Reducen el escurrimiento superficial del agua.
- ♦ Contribuyen al mejoramiento de la tasa de infiltración y drenaje de los suelos.
- ♦ Favorecen la bioestructura y estabilidad de los suelos.
- ♦ Aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- ♦ Mejoran la permeabilidad de los suelos, su aireación y porosidad.
- ♦ Fijan el nitrógeno atmosférico y promueven su aporte al suelo.
- ♦ Controlan el desarrollo de la población de otras plantas por su efecto supresor o alelopático.
- ♦ Mejoran la capilaridad en los suelos.
- ♦ Sirven como perforadores de capas compactadas y actúan como un “arado biológico”.
- ♦ Sirven para extraer agua y minerales del subsuelo, aumentando su disponibilidad.
- ♦ Pueden ser utilizados tanto para la alimentación animal como humana.
- ♦ Favorecen la biodiversidad de la fauna y la flora, contribuyendo a la estabilidad ambiental.
- ♦ Son una fuente de enriquecimiento nutricional del suelo y de reciclaje.
- ♦ Disminuyen la lixiviación de nutrientes hacia las capas más profundas del suelo.
- ♦ Contribuyen a reducir los procesos erosivos del suelo.
- ♦ Sirven para el control de muchas especies de insectos con el “efecto trampa”, al tiempo que atraen otras especies benéficas.

Sombrío productivo

En Colombia y otros países cafeteros son comunes los sistemas de producción de café en asocio con árboles como componente protector o productivo. Estas asociaciones agroforestales son de gran importancia en las culturas cafeteras, especialmente donde el cultivo debe hacerse con el acompañamiento de árboles. Los caficultores normalmente conocen las ventajas y beneficios de estas asociaciones, pero en su mayoría desconocen cuáles son las implicaciones en la producción de café y cuáles son los beneficios reales económicos obtenidos por el asocio de especies de valor económico, como componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. *Cordia alliodora* (nogal cafetero) provee en cafetales una fuente adicional de ingresos al agricultor, especialmente en Colombia, donde el metro cúbico de las trozas sin procesar pueden venderse a precios equivalentes a dos arrobas (@) de café pergamino seco, al final del turno de aprovechamiento (10 a 12 años). Las mediciones realizadas en Costa Rica y Colombia indican que esta especie asociada con café y cacao, alcanza un volumen comercial de 100 a 250 m³ ha⁻¹ en un período de 20 a 25 años, con incrementos promedio entre 3,2 y 3,6 cm año⁻¹ para un diámetro y entre 0,7 y 2,0 m año⁻¹ en altura (Salas, 1987).

Adicional a las ventajas ofrecidas por los sistemas agroforestales, estos representan una alternativa para los caficultores, al reducir la dependencia de un solo cultivo, logrando por lo general, incrementar la rentabilidad en las fincas. En regiones donde las características de clima (brillo solar anual superior a 1.800 h, temperatura superior a 21°C, baja nubosidad, precipitación inferior a 1.500 mm al año o lluvias concentradas en un período corto), causan deficiencias hídricas en el suelo por largos períodos, obligan al establecimiento del café con árboles de sombra, y bajo estas condiciones es aconsejable establecer árboles que protejan el café durante todo su ciclo de vida, cerca de 20 años (Farfán, 2014).

El sombrío productivo, como por ejemplo, las especies forestales pino y eucalipto, maderables como nogal, chaquiro, cedro, etc., o frutales, se establece asociado al café temporalmente, para obtener beneficios económicos a mediano y largo plazo; el sombrío permanente debe permanecer protegiendo el cultivo durante todo su ciclo de vida.

A continuación, se presentan resultados de investigaciones de sistemas agroforestales con café, en los que el componente arbóreo fue de *C. alliodora* (nogal cafetero), *Eucalyptus grandis* (eucalipto), *Pinus oocarpa* (pino), *P. tecunumanii* (pino tecunumanii) y *P. chiapensis*.

Producción de madera por las especies forestales

En la Estación Experimental Paraguaicito, ubicada en el municipio de Buenavista (Quindío) y en la finca La Suecia, ubicada en el municipio de El Tambo (Cauca), se realizaron estudios para evaluar la producción de café, al que se le intercalaron

cultivos de especies forestales. En la primera localidad se intercalaron nogal cafetero, pino y eucalipto; y en la segunda eucalipto y dos especies de *P. chiapensis* y *P. tecunumanii* que, si bien no son muy conocidas comercialmente, tienen un gran potencial para cumplir con propósitos económicos.

Las especies forestales establecidas como cultivo intercalado en el cultivo del café pueden producir las cantidades de madera descritas en la Tabla 15. La distancia de siembra de los árboles fue de 6,0 x 6,0 m (270 árboles/ha) y para el café 1,5 x 1,5 m (4.450 plantas/ha), en las dos localidades.

Producción de café como cultivo principal

En las Figuras 57 y 58 se presenta un sistema de producción de café con intercalamiento de especies forestales, en un período de seis cosechas en la Estación Experimental Paraguaicito y de cuatro en la finca La Suecia.

Bajo condiciones óptimas de clima (brillo solar anual entre 1.500 y 1.800 h, temperatura entre 19 y 21°C, precipitación anual entre 1.800 y 2.000 mm), suelos que no presenten deficiencias hídricas en alguna época del año, el café debe establecerse a libre exposición solar; de lo contrario, el efecto de la sombra de los árboles asociados como sombrío o intercalados con propósitos económicos afectan la producción.

En Paraguaicito (Quindío) la diferencia en producción de café al sol con la obtenida con eucalipto fue de 328 kg de c.p.s. y la obtenida con pino fue de 354 kg (Farfán y Urrego, 2004). En la finca La Suecia (Cauca) la mayor producción de

café se registró con el intercalamiento de eucalipto, con una diferencia de 959 kg de café pergamino seco al compararla con la obtenida con café a libre exposición solar. Es de anotar que en esta localidad se presenta un período seco, con deficiencias hídricas en el suelo entre los meses de junio a agosto, lo que pudo favorecer la producción de café bajo esta especie forestal (FNC, 2016).

Sombrío permanente

Densidad de siembra de los árboles de sombrío

En la Finca Villa Sofía, ubicada en el municipio de Charalá (Santander), zona cafetera Norte de Colombia, se evaluó el efecto de la sombra de cinco especies leguminosas (*E. fusca*, *I. densiflora*,

Tabla 15.

Producción de madera ($m^3 ha^{-1}$) por especies forestales asociadas al café en SAF.

Especies forestales	Madera producida ($m^3 ha^{-1}$)	Período (años)	Densidad ($kg m^3$)	Peso total ($t ha^{-1}$)
Estación Experimental Paraguaicito - Buenavista, Quindío				
<i>Cordia alliodora</i>	102,3	8	660 (Cordero, 2003)	67,5
<i>Pinus oocarpa</i>	115,8	8	489 (Ramos, 2001)	56,6
<i>Eucalyptus grandis</i>	139,4	8	505 (Monteoliva, 2015)	70,4
Finca La Suecia - El Tambo, Cauca				
<i>Eucalyptus grandis</i>	210,6	8	505 (Sánchez, 1995)	106,4
<i>Pinus tecunumanii</i>	150,9	8	540 (Cordero, 2003)	81,5
<i>Pinus chiapensis</i>	141,8	8	478 ((Chávez-Pascual et al., 2013)	67,8

*A precios de 2016, la madera puede comercializarse entre \$ 35.000 y \$ 40.000 por tonelada de madera en pie.

E.E. Paraguaicito

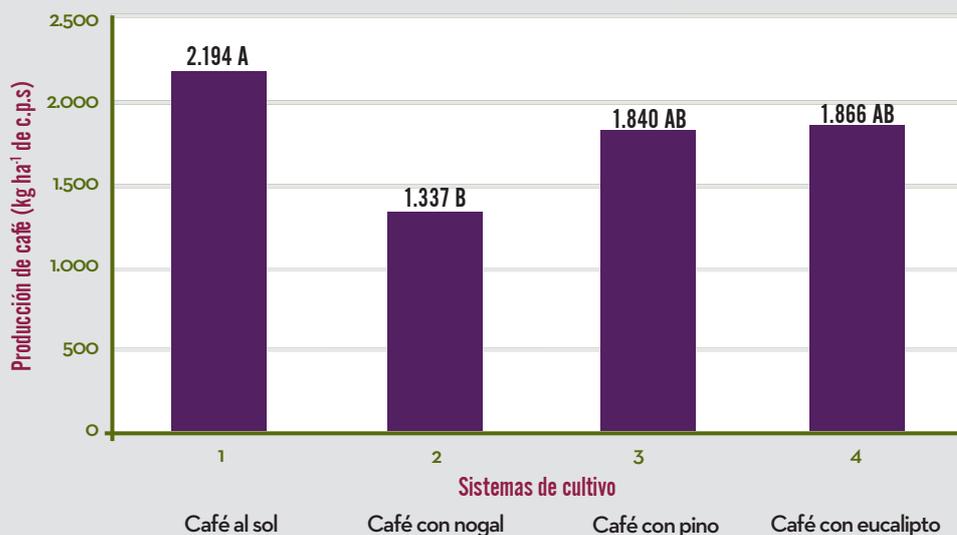


Figura 57.

Producción promedio de café ($kg ha^{-1}$ de c.p.s.) con intercalamiento de especies forestales. Estación Experimental Paraguaicito (Quindío).

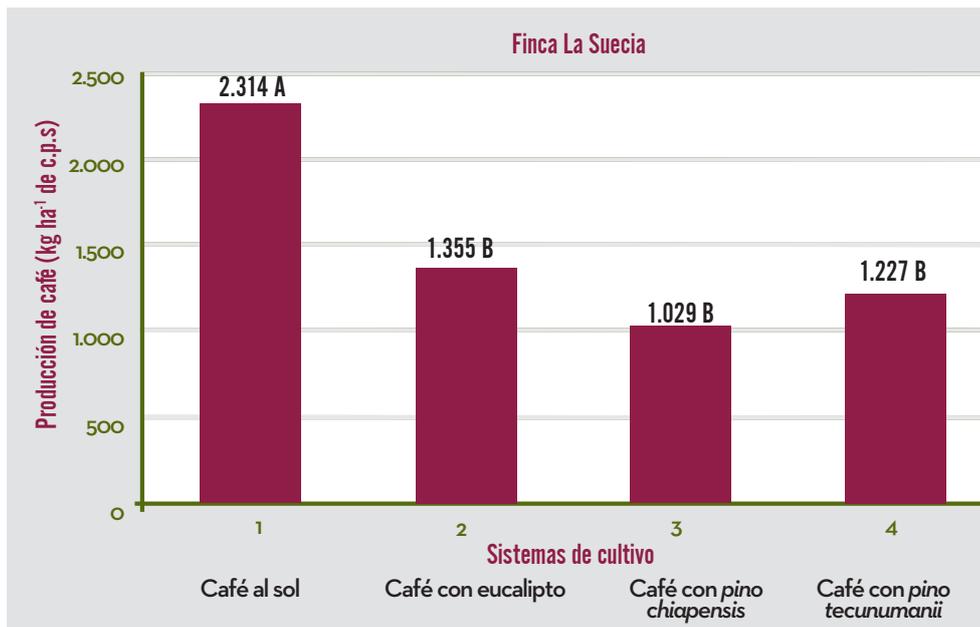


Figura 58. Producción promedio de café (kg ha⁻¹ de c.p.s.) con intercalamiento de especies forestales. Finca La Suecia, El Tambo - Cauca.

I. edulis, *Pseudosamanea saman* y *A. carbonaria*), establecidas en tres densidades de siembra (70, 123 y 278 árboles/ha), sobre la producción de café Variedad Castillo®. La respuesta de las plantas de café bajo las especies de sombra establecidas a 12,0 x 12,0 m, mostraron defoliación severa, baja tasa de crecimiento, pérdida de sitios >20% y muy baja producción, por lo cual no se tuvieron en cuenta sus registros para los análisis.

Investigaciones realizadas por Farfán y Sánchez (2016), mostraron que la mejor respuesta en producción del café Variedad Castillo®, en el municipio de El Socorro (Santander), fue con el sombrío de *I. edulis* establecido a 9,0 x 9,0 m y 10.000 plantas/ha de café. Las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar aumentan significativamente a medida que disminuye la cobertura de sombra, y es menor la pérdida de humedad del suelo en épocas secas (Lin, 2007); por lo tanto, solo se presentan resultados de la producción registrada con los sombríos establecidos con densidades de 123 y 278 árboles/ha (Tabla 16).

Se realizaron pruebas de comparación de Duncan (5,0%) entre las producciones bajo cada especie de sombra y para cada distancia de siembra del sombrío. Con el sombrío establecido a 6,0 x 6,0 m se registraron los mayores rendimientos con *I. densiflora*, *P. saman* y *A. carbonaria*; la producción media obtenida bajo estas tres especies de sombra fue de 22.382 kg ha⁻¹ de café pergamino seco. Con sombrío establecido con 123 árboles/ha, no se registraron diferencias estadísticas, con una producción promedio de 12.687 kg ha⁻¹ de café pergamino seco, es decir, como efecto de reducir la densidad de siembra del componente arbóreo en 155 plantas, se afectó la producción de café cerca del 40%.

De los resultados obtenidos para este sitio de estudio, bajo las condiciones ambientales presentadas durante la época de evaluaciones y del manejo agronómico de los sistemas de producción, puede concluirse que si se establecen sistemas agroforestales estratificados horizontal y verticalmente, con más de cuatro especies leguminosas, los mejores resultados se

Tabla 16.

Producción acumulada de café (2011-2015), en la finca Villa Sofía (Charalá, Santander).

Especies de sombrío	Distancia de siembra	Producción de café (kg ha ⁻¹)	Coefficiente de variación
<i>Erythrina fusca</i>	6,0 m x 6,0 m 278 árboles/ha	16.444 b	0,24
<i>Inga densiflora</i>		21.618 ab	0,12
<i>Inga edulis</i>		16.382 b	0,15
<i>Pseudosamanea saman</i>		23.840 a	0,15
<i>Albizia carbonaria</i>		21.688 ab	0,07
<i>Erythrina fusca</i>	9,0 m x 9,0 m 123 árboles/ha	11.222 a	0,47
<i>Inga densiflora</i>		14.131 a	0,30
<i>Inga edulis</i>		12.933 a	0,13
<i>Pseudosamanea saman</i>		11.858 a	0,30
<i>Albizia carbonaria</i>		13.289 a	0,54

Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

obtienen con una distribución espacial del componente arbóreo a 6,0 x 6,0 m. Si se instala el café bajo sombrío simple, es decir, una sola especie, los resultados sugieren el empleo de árboles de copa estrecha o columnar (Farfán, 2007), de abundante ramificación y follaje, que proporcione rápido y alto porcentaje de cobertura, como *I. densiflora* y *P. saman*.

Estudios realizados por Farfán y Baute (2009), en la Estación Experimental Pueblo Bello, en los que se determinó cuál sería la densidad de siembra óptima de *I. edulis* al emplearse como sombrío del café, establecido a 10.000, 5.000 y 2.500 plantas de café por hectárea, permitieron concluir que si la densidad del café es de 10.000 y 5.000 plantas/ha, el sombrío debe establecerse con 70 árboles/ha de *I. edulis*, para obtener las mayores producciones; mientras que con bajas densidades de siembra del café (2.500 plantas/ha), la producción es similar bajo cualquiera de las distancias de siembra del sombrío evaluadas. Si se incrementa la densidad de siembra de los árboles de sombra, entre 123 y 270 árboles/ha, la producción tiende a ser igual a densidades

de siembra del café de 2.500 y 5.000 plantas/ha, por el exceso de sombra (Figura 59). Las estimaciones se realizaron solo para la Estación Experimental Pueblo Bello, bajo las condiciones de clima imperantes durante el tiempo de las evaluaciones y con las características de suelo en las que se estableció el estudio.

En la Finca Las Tapias, ubicada en el municipio de El Socorro (Santander), se evaluó la densidad de siembra con la que se obtiene la producción máxima para café Variedad Castillo®; adicionalmente, se determinó la densidad de siembra del sombrío de *I. edulis*, con la que se obtendría la mayor producción.

El café se estableció a densidades de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas/ha, y el sombrío a densidades de 70, 123 y 278 árboles/ha; los resultados indicaron que para el período en que se realizó el estudio (2009 a 2014) donde prevalecieron condiciones de bajas precipitaciones y altas temperaturas, las mayores producciones se obtuvieron con densidades de siembra del café superiores a 5.000 plantas/ha y con los árboles establecidos a 9,0 x 9,0 m (123 árboles/ha).

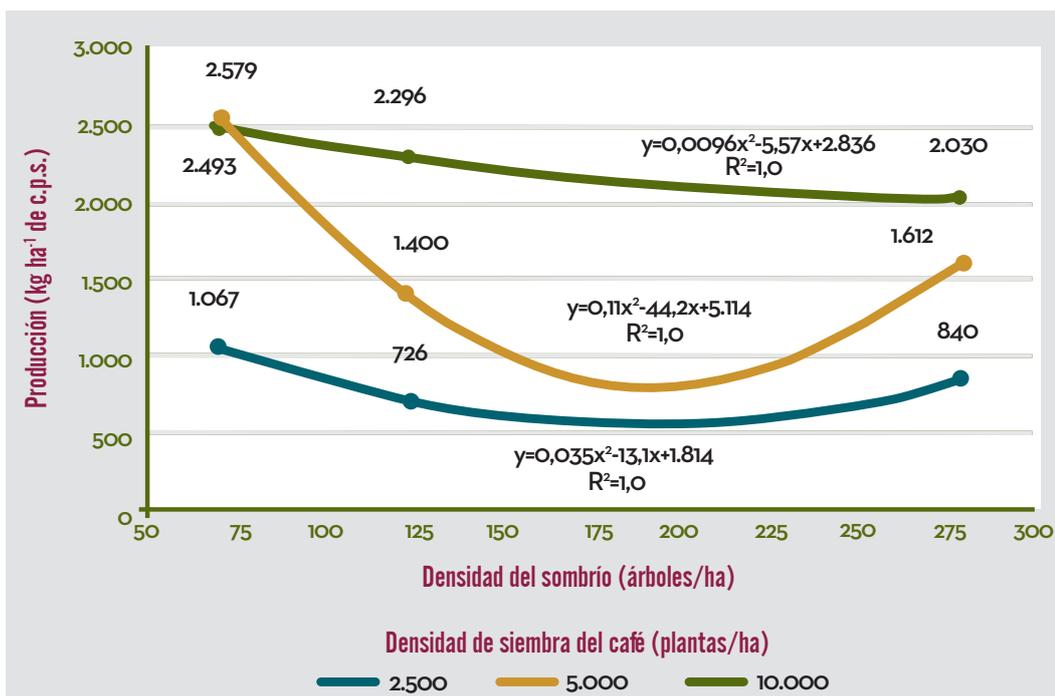


Figura 59. Respuesta en producción del café a tres densidades de siembra, al incremento en el número de árboles de sombrío por hectárea. Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).

Con bajas densidades de siembra del café (2.500 plantas/ha) la producción es similar bajo cualquiera de las distancias de siembra del sombrío evaluadas (Figura 60). Igual que en el caso anterior, las mediciones se realizaron solo para la localidad, bajo las condiciones de clima imperantes durante el tiempo de las evaluaciones y con las características de suelo en las que se estableció el estudio.

Mantenimiento de los árboles de sombra

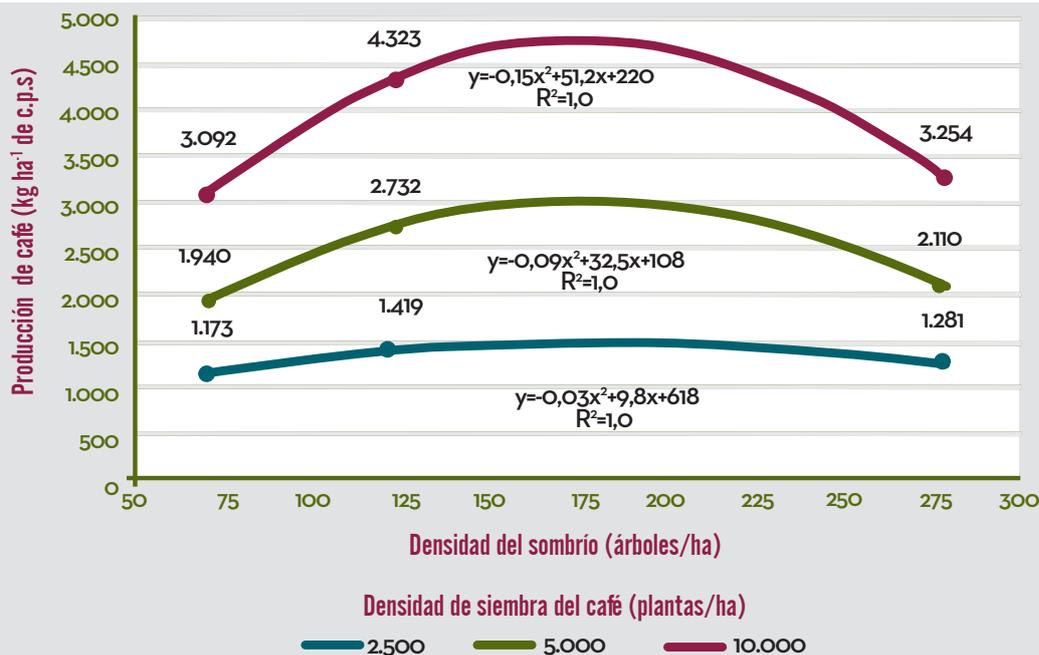
Se considera que el sombrío para un cafetal sin que disminuya su producción debe fluctuar entre 0% y 45%, dependiendo de la zona de cultivo, ya que sus componentes son la suma de un sombrío natural debido a la nubosidad de la región y al sombrío de los árboles; por lo tanto, los porcentajes de sombra (si se debe o quiere establecer sombra al café) deben ajustarse para cada localidad. El ajuste del nivel de sombrío se hace interviniendo cada especie de árbol en particular (Beer

et al., 2003). El manejo del árbol depende de la fisiología del cultivo asociado y sus necesidades microclimáticas, la fenología de la especie de sombra, el clima y suelo local, las características de crecimiento del árbol de sombra y su tolerancia a podas y a las percepciones de los agricultores sobre las diferentes especies de sombra y cultivos asociados.

Las condiciones de sombra óptimas pueden obtenerse con diferentes copas de árboles; por ejemplo, solo *I. edulis* o con un dosel estratificado de *E. poeppigiana* y *C. allidora*. Si el diseño del dosel es diferente, el manejo de las especies debe serlo también, para obtener el patrón de sombra deseado. Así, puede podarse *E. poeppigiana* de dos a tres veces e *I. edulis* una sola vez por año. Debe evitarse un mismo ritmo de podas para todas las especies ya que esto favorecerá a unas especies y afectará a otras. La selección de la especie (forma de su copa, densidad del follaje, fenología, etc.)

Figura 60.

Respuesta en producción del café a tres densidades de siembra, al incremento en el número de árboles de sombrío por hectárea. Finca Las Tapias, El Socorro (Santander).



y su manejo (espaciamiento inicial, arreglo de plantación, raleos), son vitales para mantener la sombra de cultivos perennes como café, dentro de niveles aceptables (Beer et al., 2003).

Determinación del momento para iniciar las podas de los árboles o la regulación del sombrío

Un buen manejo agronómico del cultivo asegura las condiciones apropiadas para el desarrollo del cafetal y, consecuentemente, influye en una mayor productividad. Las podas de los cafetos y la regulación de sombra de los cafetales constituyen labores culturales indispensables para mejorar la capacidad productiva de las plantaciones (Duicela et al., 2003). Estudios realizados por Farfán y Mestre (2004), concluyeron que los cafetales cultivados bajo excesivo sombrío no responden a la aplicación de

fertilizantes, y sugieren que la respuesta a la fertilización y, el incremento de la producción pueden favorecerse con un manejo de la densidad del sombrío en la plantación mediante podas de los árboles, que permitan la circulación de aire y una mayor penetración de la luz.

Con densidades altas de siembra de los árboles de sombrío 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 sombra excesivos (>50%) limitantes para la producción del café (Farfán, 2007). Son requisitos básicos en los sistemas de cultivo de café con sombrío: (i) determinar el porcentaje de sombrío óptimo o grado de sombra adecuado para cada localidad; (ii) determinar el momento en el que, después de establecidos los árboles, se presentan los niveles de sombra adecuados para el cultivo; (iii) iniciar el

plan de manejo de los árboles (regulación o podas) para mantener estos niveles dentro de los rangos establecidos. La determinación de la época para el inicio del plan de manejo de los árboles será el reflejo de las reducciones o incrementos de la producción al establecer el café en asocio con árboles.

Inicio de la regulación del sombrío. En la Figura 61 se presenta la edad óptima en años de los árboles de *I. edulis* en las Estaciones Experimentales Naranjal y Pueblo Bello, y en la Figura 62 se presenta la edad óptima de las especies leguminosas *Erythrina* sp., *Inga* sp., *L. leucocephala* y *A. carbonaria*, en la Estación Experimental Pueblo Bello, para dar inicio a su regulación o podas, y mantenerlos con porcentajes de sombra entre el 35,0% y 45,0%. Los resultados se obtuvieron con el café establecido con 4.444 plantas/ha y el sombrío a tres densidades de siembra.

El inicio de la regulación del sombrío se denomina libre crecimiento cuando, de acuerdo a la función analizada, esta edad está por encima de 12 a 15 años; no obstante, los árboles requieren de las podas de formación iniciales.

Inicio de la regulación del sombrío con especies forestales. En las Tablas 17 y 18 se presenta la edad óptima en años de especies forestales y una leguminosa, empleadas como sombrío en dos localidades, para dar inicio a su regulación o podas, para conseguir porcentajes de sombra entre el 35,0% y 45,0%. El café se estableció con 4.444 plantas/ha y el sombrío a distancias comerciales de 6,0 x 6,0 m.

La poda de formación se realiza sobre especies arbóreas desde los primeros años de vida hasta que alcanzan su

madurez, con el fin de obtener: una estructura fuerte, facilitar su crecimiento según su localización, obtener una estética determinada, o bien, dirigir su crecimiento según el fin deseado. La estructura del árbol puede ser mejorada mediante la eliminación de ramas, asegurando una buena estructura cuando el árbol envejezca. Para ello, es fundamental el reconocimiento de la especie, su modelo de crecimiento y sus fases de desarrollo; deben evitarse los cortes tempranos, debido a que se limita el crecimiento en grosor del tronco y los cortes tardíos ocasionan heridas de mayor tamaño.

A continuación, se presentan los pasos que deben cumplirse independiente del porte final deseado para el árbol (Llorens, 2011):

Paso 1. Eliminar ramas rotas, enfermas, moribundas o muertas. Parte o toda la rama.

Paso 2. Seleccionar una guía, la más vertical y vigorosa, y eliminar otras ramas que compitan con ella.

Paso 3. Seleccionar la rama permanente más baja.

Paso 4. Seleccionar las ramas que formarán el esqueleto definitivo y reducir o eliminar aquellas que sean competidoras.

Paso 5. Respetar las ramas temporales, por debajo de la permanente más baja.

Podas de mantenimiento de los árboles de sombra

En los primeros años de establecimiento de los árboles debe iniciarse la poda para formar un solo tronco de 3 a 6 m, y a partir

Figura 61.

Edad óptima de los árboles de *I. edulis* para dar inicio a su regulación o podas de mantenimiento. Estaciones Experimentales Naranjal (Caldas) y Pueblo Bello (Cesar).

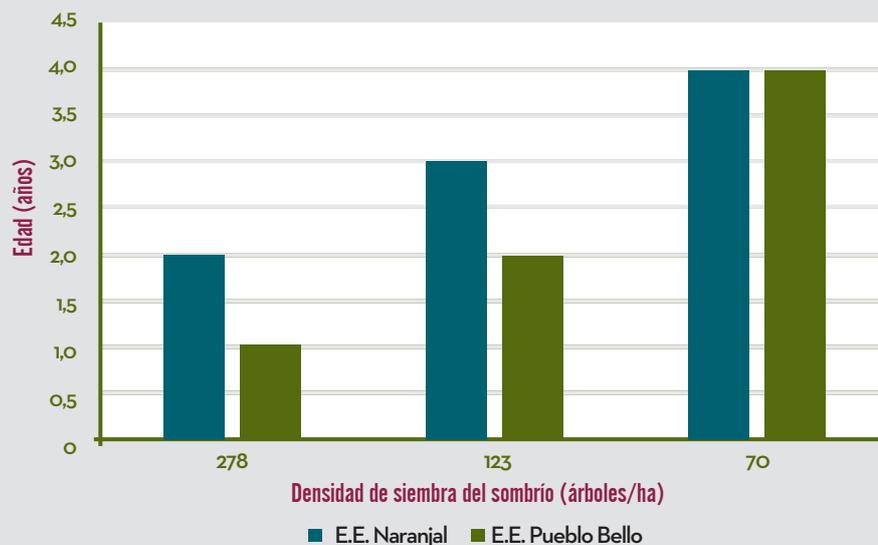


Figura 62.

Edad óptima de los árboles de leguminosas para dar inicio a su regulación a podas de mantenimiento. E. E. de Pueblo Bello-Cesar.

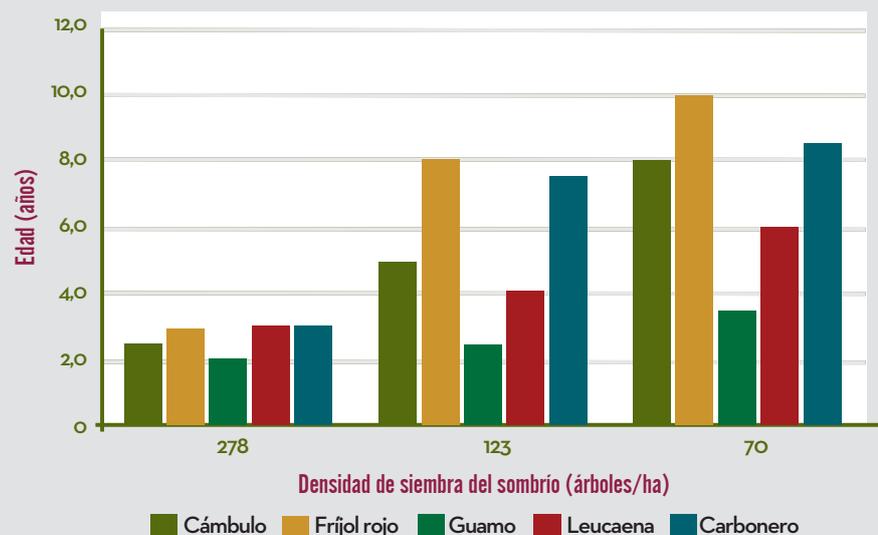


Tabla 17.

Edad óptima de tres especies forestales para dar inicio a su regulación o podas de mantenimiento. Estación Experimental Paraguaicito (Quindío).

Árboles de sombrío	Edad de los árboles (años)
<i>Cordia alliodora</i> (nogal cafetero)	4,0
<i>Pinus oocarpa</i> (pino)	4,5
<i>Eucalyptus grandis</i> (eucalipto)	11,0

Tabla 18.

Edad óptima de tres especies forestales y una leguminosa para dar inicio a su regulación o podas de mantenimiento. Finca La Suecia (Cauca).

Árboles de sombrío	Edad de los árboles (años)
<i>Eucalyptus grandis</i> (eucalipto)	5,0
<i>Pinus chiapensis</i> (pino)	5,0
<i>Pinus tecunumanii</i> (pino)	5,0
<i>Inga densiflora</i> (guamo macheto)	5,5

de allí, la copa necesaria. Posteriormente, debe efectuarse la poda de mantenimiento o aclareo, por lo menos una vez al año, para permitir la entrada de luz necesaria y garantizar una adecuada distribución en el cultivo, orientándose a descubrir el centro de copa (Figura 63). Deben escogerse las ramas que estén a una altura conveniente alrededor del árbol, eliminando aquellas que se encuentren sobre o debajo de ésta, o sea, evitar tener sombra sobre la sombra. El estrato del ramaje del árbol o el primer piso del árbol, debe estar mínimo al doble de la altura del árbol de café, por ejemplo, si el café mide 1,5 m, el primer piso del árbol debe estar a 3,0 m (Figura 64).

Época de regulación de la sombra

Los árboles en sistemas agroforestales tienden a ramificar más que en las plantaciones en bloque, debido a los mayores espaciamientos que dan menor competencia lateral, y por lo tanto necesitan podas más frecuentes e intensivas. La época para realizar las podas depende de las condiciones climáticas del sitio, por ejemplo, no podar en época seca en el caso de combinaciones con cultivos que necesitan protección del sol, y los períodos de desarrollo de los árboles (Beer et al., 2003). En términos generales, la regulación del sombrío o las podas deben realizarse al inicio de las épocas húmedas.

Prácticas recomendadas. Una poda prematura podría provocar mala formación, por lo tanto, se recomienda buscar asesorías técnicas antes de iniciar podas fuertes. Es importante que las podas se realicen a nivel con la corteza del tronco, pero sin dañarlo; si se dejan proyecciones de ramas una práctica común entre los agricultores, se convertirán en nudos muertos, los cuales reducirán la calidad de la madera y pueden ser puntos de infección de enfermedades o para la entrada de comején.

La necesidad de poda (intensidad, frecuencia) varía de especie a especie y depende de la naturaleza del cultivo asociado; algunas especies maderables como *C. alliodora*, tienen copas ralas y se “autopodan” (dejan caer sus ramas) y, por lo tanto, necesitan menos atención que otros, como los pinos.

En muchas ocasiones los agricultores cortan las ramas a lo largo del tallo del árbol; aunque esta práctica favorece los cultivos, puede retrasar el crecimiento del árbol. Muchos agricultores dicen que la poda sirve para “enderezar” el árbol; sin embargo, este sólo es el caso cuando se elimina un lado de una bifurcación, para favorecer el desarrollo de un solo eje y la poda de otras ramas laterales no tiene ningún efecto sobre la rectitud del fuste (Beer et al., 2003).

Antes de podar el árbol de sombrero, debe tenerse en cuenta que:

- ◆ Cada corte tiene el potencial de cambiar el crecimiento del árbol.
 - ◆ Debe tenerse un propósito antes de realizar un corte.
 - ◆ La técnica adecuada es esencial. Una poda deficiente puede causar daños que durarán toda la vida del árbol.
 - ◆ Debe saberse dónde y cómo realizar los cortes antes de realizar las podas.
- ◆ Cuando un árbol es herido, la corteza crece por encima de la herida, por lo que, la herida está contenida dentro del árbol para siempre.
 - ◆ Como regla general, los cortes pequeños causan menos daño al árbol que los grandes; motivo por el cual es importante realizar una poda adecuada (de formación) de los árboles jóvenes.
 - ◆ Esperar a podar un árbol cuando es adulto puede crear la necesidad de hacer cortes grandes que el árbol no cerrará fácilmente.

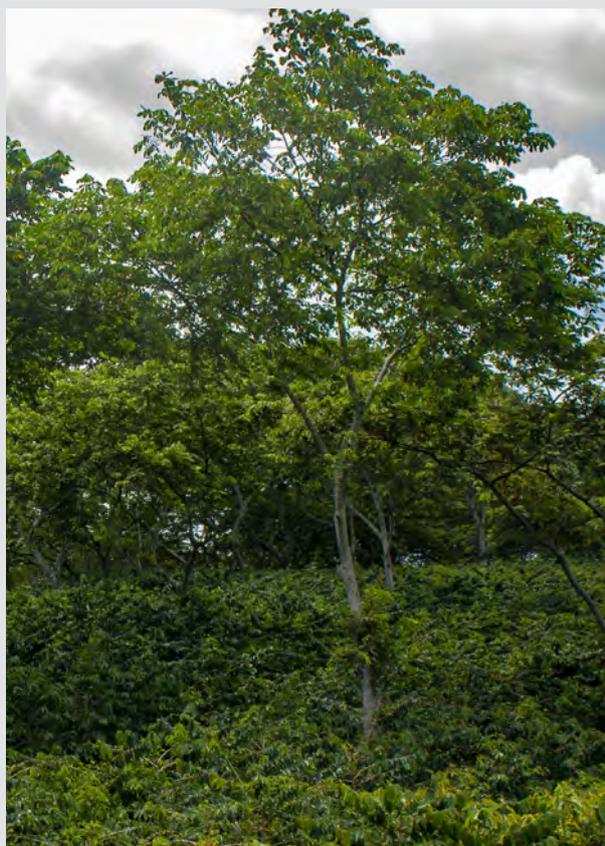


Figura 63.
Árbol de *I. edulis* adecuadamente podado y formado.

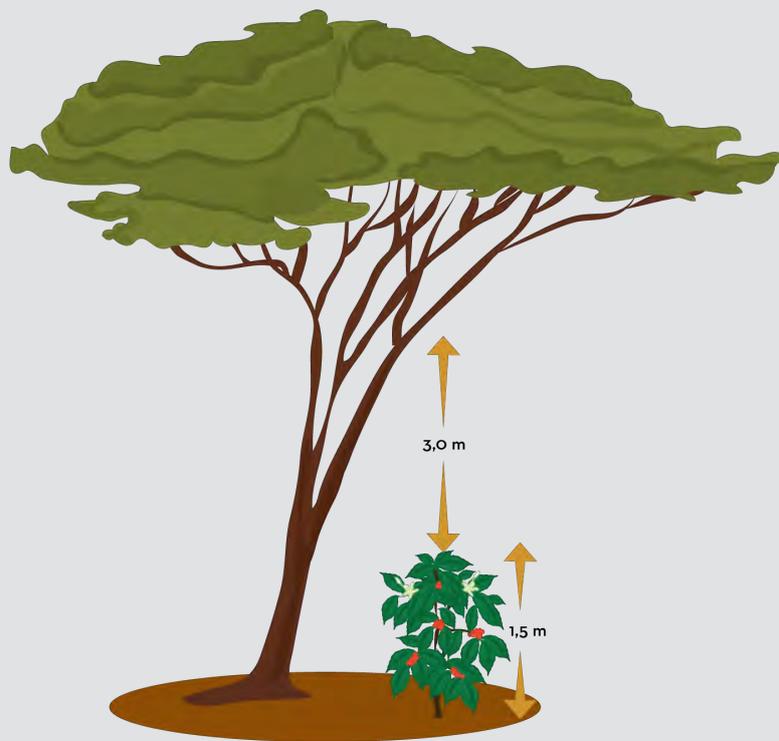


Figura 64.
Árbol bien formado, para mantener la sombra lejos del cultivo del café.

Raleos de los árboles de sombra

La regulación de la sombra por raleo consiste en eliminar un porcentaje de la población de árboles establecida originalmente. Es una práctica común cuando se establecen árboles leguminosos a una alta densidad para usarlos como sombra temporal y después como sombra permanente; en este caso el raleo puede hacerse eliminando una hilera por medio, en una sola dirección o en ambas. También puede practicarse el raleo eliminando árboles seleccionados previamente en las áreas más oscuras, o por alguna característica particular como el tamaño, forma o edad del árbol. La sombra debe mantenerse baja y abierta, con el fin de que su manejo sea sencillo y no se den condiciones excesivas de humedad favorables para el desarrollo de enfermedades (Musalen, 2001).

Los raleos mantienen las poblaciones arbóreas dentro de los límites aceptables para la producción de los cultivos asociados, y son una oportunidad para obtener algunos productos arbóreos. También permiten decidir sobre la ubicación de los árboles que quedan para limitar la sombra sobre los cultivos (por ejemplo, dejando más árboles en los linderos que en medio de las parcelas agrícolas). Además de la densidad y la ubicación, en el raleo se toma en cuenta la forma y sanidad de los árboles, eliminando los enfermos, torcidos o bifurcados (Beer et al., 2003).

Razones para ralear. El raleo se hace para (Wadsworth, 1997):

- ♦ Acelerar el crecimiento en diámetro y altura de los árboles, además de aumentar el porcentaje de árboles que alcanzan la madurez.

- ♦ Mejorar la calidad del árbol y obtener rendimientos intermedios.
- ♦ Aumentar la penetración de la luz para desarrollar copas más grandes.
- ♦ Aumentar la temperatura del suelo y acelerar la descomposición.
- ♦ Aumentar las corrientes internas de aire y reducir la humedad dentro del cultivo.
- ♦ Fomentar el desarrollo de raíces y mantener la cobertura herbácea para controlar la erosión.
- ♦ Reducir el porcentaje de sombra e incrementar la producción.

¿Cómo reducir daños al cultivo del café al ralear o aprovechar árboles maderables de sombra? (Beer et al., 2003).

- ♦ Cortando los árboles en años de malos precios del cultivo, debido a que las consecuencias económicas del daño son menores y es cuando hay más necesidad de ingresos alternativos.
- ♦ Seleccionando los sitios (por ejemplo, linderos) donde van a establecerse los maderables, pensando en las posibilidades de tumbar los árboles hacia caminos o espacios no plantados (esto además reduce los costos de extracción).
- ♦ Cortando árboles inmediatamente después de la cosecha principal del café.
- ♦ Cortando los árboles inmediatamente después de realizado el zoqueo de los árboles de café o después de su renovación.

- ♦ Seleccionando especies maderables con copas pequeñas y de poca ramificación, ya que la mayoría del daño al cultivo lo causan las copas de los árboles. Además, tumbando especies caducas, después de la caída anual de las hojas (cuando la copa es más liviana).
- ♦ Desramando los árboles con machete antes de cortarlos.
- ♦ Los árboles a cortar (especialmente los maderables) deben amarrarse de sus vecinos inmediatos, para reducir el daño a los cultivos asociados durante su caída.
- ♦ En terrenos inclinados (común en cafetales) tumbando hacia arriba, para que caiga con menos fuerza sobre el cultivo.
- ♦ Plantando o dejando árboles de regeneración natural en las calles y no en las hileras del cultivo, lo que permite dirigir la caída del tronco a lo largo de la calle. Aunque el tronco no daña muchas plantas, provoca daños severos que obligan a replantar.

Cobertura arbórea e instrumentos para su medición

La cobertura arbórea y la calidad de la luz

La cantidad y calidad de la luz dentro de un cultivo bajo sombrío es importante, ya que las plantas usan parte de la energía radiante que emite el sol, para todos los procesos fotosintéticos, los que finalmente se traducen en productividad. La calidad de la luz es la longitud de onda (en nanómetros, nm) dentro del espectro electromagnético, es decir, la luz azul es

de 450 nm y la luz roja es de 650 nm. Cada longitud de onda tiene un patrón diferente de radiación o energía (en J mol^{-1}) llamado fotones.

La energía de un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda: mientras más corta la longitud de onda, mayor es la energía y mientras más larga la longitud de onda, menor es la energía. Es decir, la energía de la luz azul de onda corta es de $2,66 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ y la luz roja de onda más larga es de $1,81 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ (Buechel, 2017). En cultivos como el café bajo sombrío, debe procurarse la máxima actividad fotosintética, con la mejor calidad posible de radiación, es decir, con longitudes de onda corta, de lo contrario la baja calidad de la luz (longitudes de onda larga) afectan directamente la transpiración, la absorción de agua, la floración, la germinación, el crecimiento y la producción de la planta.

En sistemas agroforestales con café pueden encontrarse diversos tipos de cobertura impuestas por las especies seleccionadas y su arquitectura. 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 (Farfán, 2007). En general, es muy amplia la gama de formas del dosel de los árboles.

Cobertura con sombrío simple. Se caracteriza por emplear una sola especie para el sombrío, generalmente *Inga* sp. (guamos), *Erythrina* sp. (cámbulo), *Albizia* sp. (carbonero), entre otros. Con esta estructura la cobertura es homogénea y cerrada, la cual en corto tiempo ejerce

altos porcentajes de sombra en todo el lote del cultivo (Figura 65); adicionalmente, la distancia vertical entre el dosel de los árboles y el del café es corta, lo cual afecta la calidad de la luz, y reduce la producción de café, si no se hace la regulación periódica.

Cuando se emplea sombrío simple, el control de roya es más intenso, si el sistema está con variedades susceptibles, especialmente en épocas de lluvia, se reduce el control de arvenses, la regulación del sombrío debe hacerse con mayor frecuencia y se reduce el porcentaje de fertilizante aplicado, al 75,0% de la dosis recomendada en el análisis de suelos.

Cobertura con sombrío estratificado de leguminosas. Se caracteriza la combinación de cuatro o más leguminosas, como las descritas anteriormente en combinación. Por su estratificación horizontal dan una menor cobertura al cultivo y por su estratificación vertical mantienen la “sombra alejada del cultivo”, factores que en su conjunto dan una mejor calidad y cantidad de radiación

Recomendación práctica

El propósito de manejar los árboles de sombra en el café es: (i) obtener mejor productividad; (ii) lograr una maduración uniforme; (iii) mayor aprovechamiento de los fertilizantes; (v) disminuir la incidencia de plagas y enfermedades; (vi) proporcionar luz cuando es necesaria.

o luz al café que se desarrolla bajo esta estructura arbórea (Figura 66). Los niveles máximos de sombra permitidos para el café, de acuerdo a la nubosidad de la región, pueden alcanzarse en mayor tiempo, que cuando se tiene sombrío simple.

Bajo esta estructura arbórea son menos favorables las condiciones para la presencia de la roya, si se tienen variedades susceptibles, son más frecuentes los controles de arvenses, la regulación del sombrío puede hacerse por períodos más prolongados y, si se mantienen los niveles de sombra, puede aplicarse hasta el 75% de la dosis de fertilizante recomendada en el análisis de suelos.

Cobertura con sombrío estratificado de maderables o forestales. Se caracteriza por el establecimiento del cultivo bajo sombra de cuatro o más especies forestales o maderables; el componente arbóreo frecuentemente es explotado con propósitos económicos. Entre las especies comunes en estos sistemas están *Juglans* sp. (cedro negro), *Cedrela* sp. (cedro rosado), *Tabebuia* sp. (guayacán), *Aniba* sp. (Laurel) y *Cordia* sp. (nogal), entre muchos otros. Por su estratificación horizontal dan una menor cobertura al cultivo, comparado con el sistema anterior, y por su estratificación vertical igualmente mantienen la “sombra alejada del cultivo”, factores que en su conjunto dan una mayor cantidad y mejor calidad de radiación o luz al café que se desarrolla bajo esta estructura arbórea (Figura 67).

Los cultivos bajo esta estructura arbórea alcanzan una mayor producción, son más frecuentes los controles de arvenses, prácticamente no son necesarios o frecuentes las regulaciones del sombrío, pero se requieren las podas

de mantenimiento de los árboles si éstos están establecidos con fines comerciales; debido a la cobertura, a la disponibilidad alta de radiación, etc., es posible que deba aplicarse riego en épocas secas; bajo esta estructura arbórea, es aconsejable la aplicación del 100% de la dosis de fertilizante recomendado por el análisis de suelos.

Medición de la cobertura arbórea

Brillo solar y nubosidad de la zona cafetera.

Durante el año, el brillo solar en la zona cafetera colombiana sigue una onda opuesta a la distribución de las lluvias. La nubosidad está determinada por la presencia de la Zona de Confluencia Intertropical y por los movimientos locales

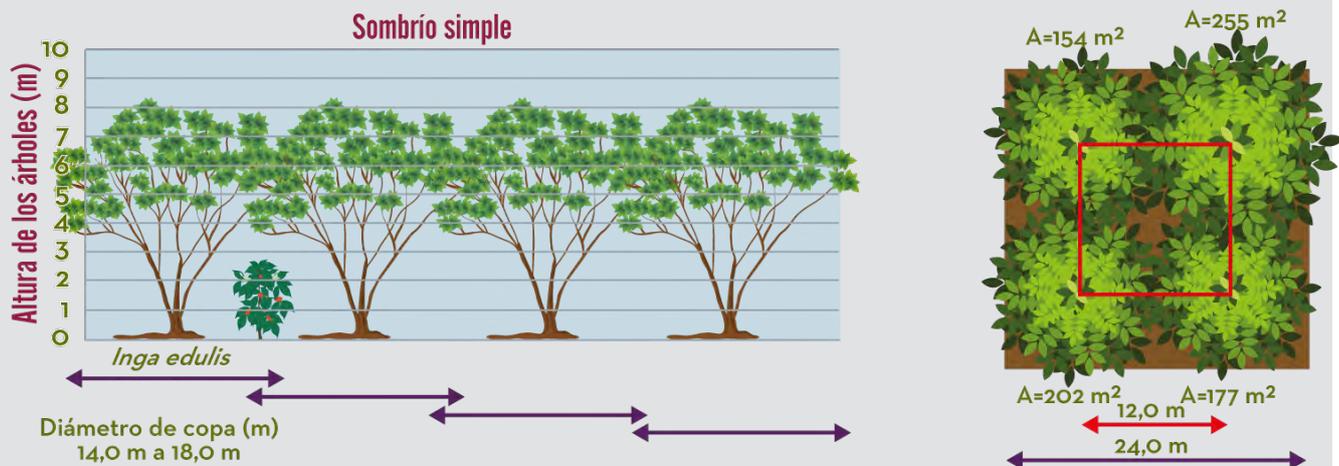


Figura 65. Cobertura con sombrero simple, con una especie leguminosa.

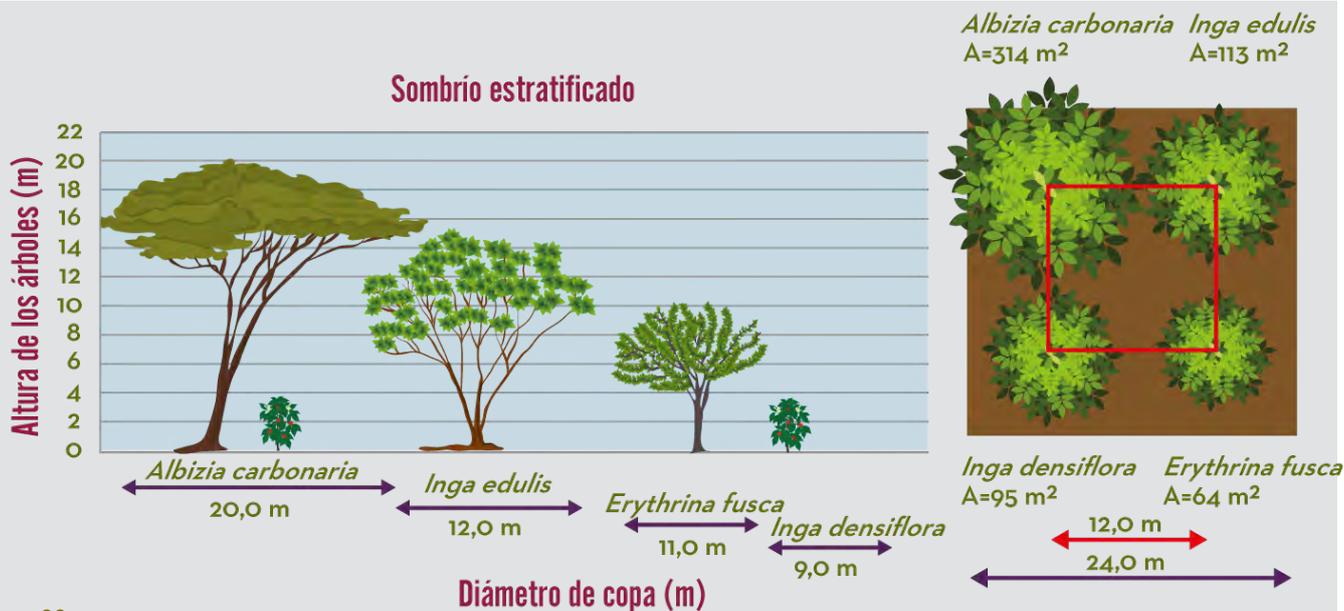


Figura 66. Cobertura con sombrero estratificado con especies leguminosas.

de las masas de aire, que se originan dentro de las montañas, denominadas circulaciones valle - montaña - valle.

En Colombia, para los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, la distribución del brillo solar presenta sus valores máximos en los meses de menor lluvia, enero-febrero y julio-agosto. En las regiones de los Llanos Orientales y la Costa Atlántica la distribución tiende a presentar el valor máximo en diciembre-enero y los valores mínimos en junio-julio. Los mayores valores de brillo solar se registran en la península de La Guajira, con cantidades anuales próximas a las 3.000 horas al año, y los valores más bajos se observan en el litoral Pacífico con 900 horas al año.

En la mayoría de las localidades de la zona Andina se presentan entre 1.600 y 1.800 horas de brillo solar al año. El promedio del brillo solar anual para la región está próximo a las 1.550 horas al año, que representa un 36% del brillo solar máximo astronómico, lo que indica una alta

presencia de nubes y, en consecuencia, altas proporciones de radiación difusa. Se observan valores extremos próximos a 2.150 horas (49% del brillo solar máximo) y 1.050 horas al año (24% del brillo solar astronómicamente posible) (Farfán y Jaramillo, 2009).

Ajustes en la proporción de sombrío según la nubosidad de la región. Si se considera que el sombrío para un cafetal, sin que disminuya su producción, debe tener una cobertura máxima de sombra del 45% y que los componentes del sombrío se deben a la suma de un sombrío natural, debido a la nubosidad de la región y a un sombrío de los árboles, en la Figura 68 se presenta para la zona cafetera de Colombia la función lineal para calcular el porcentaje de sombra (si se debe o quiere establecer sombra al café), ajustado para cada localidad de acuerdo al número de horas de brillo solar al año.

El máximo sombrío para el café (45%) se establecería para una región con un

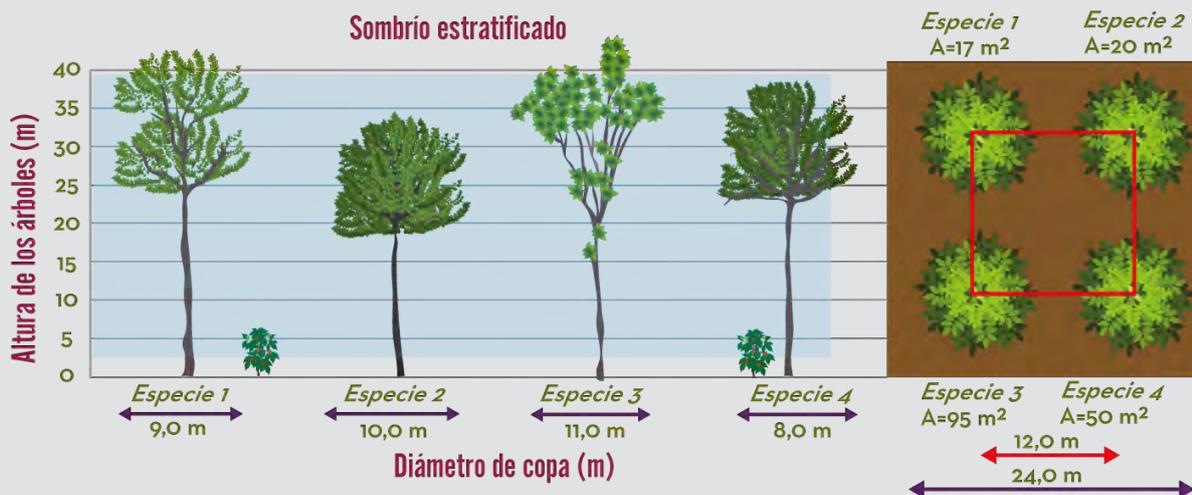


Figura 67. Cobertura con sombrío estratificado con especies maderables o forestales.

Recomendación práctica

En los tres tipos de cobertura discutidos es importante considerar la densidad de siembra de los árboles; el número de árboles por hectárea determina numerosos procesos de interferencia para el café. A medida que se incrementa el número de árboles por hectárea, el entorno de cada planta de café se altera, en términos de intensidad y calidad de la luz.

para porcentajes de sombrío que varían entre 39,6% y 19,6%, respectivamente. En la cordillera Central - vertiente Occidental, la variación del brillo solar está entre 2.199 horas (43,0% sombrío) y 1.369 horas (26,8% sombrío). Para la cordillera Central - vertiente Oriental el sombrío estimado varía entre 23,2% y 36,2% de sombrío para valores de 1.187 horas y 1.852 horas, respectivamente. En la cordillera Oriental - vertiente Occidental el brillo solar está entre 2.203 y 1.153 horas para porcentajes de sombrío entre 43,1% y 22,6% (Farfán y Jaramillo, 2009).

De acuerdo con las cantidades de brillo solar disponibles para cada región, no se debe generalizar o establecer un valor constante en el número de árboles de sombrío, para lograr un porcentaje igual de cobertura para el café en toda la zona cafetera colombiana; este porcentaje de cobertura debe estar sujeto a los diversos factores edáficos y climáticos, especialmente en cuanto al brillo solar,

brillo solar de 2.300 horas por año. En la cordillera Occidental - vertiente Oriental el brillo solar varía entre 2.026 y 1.002 horas,

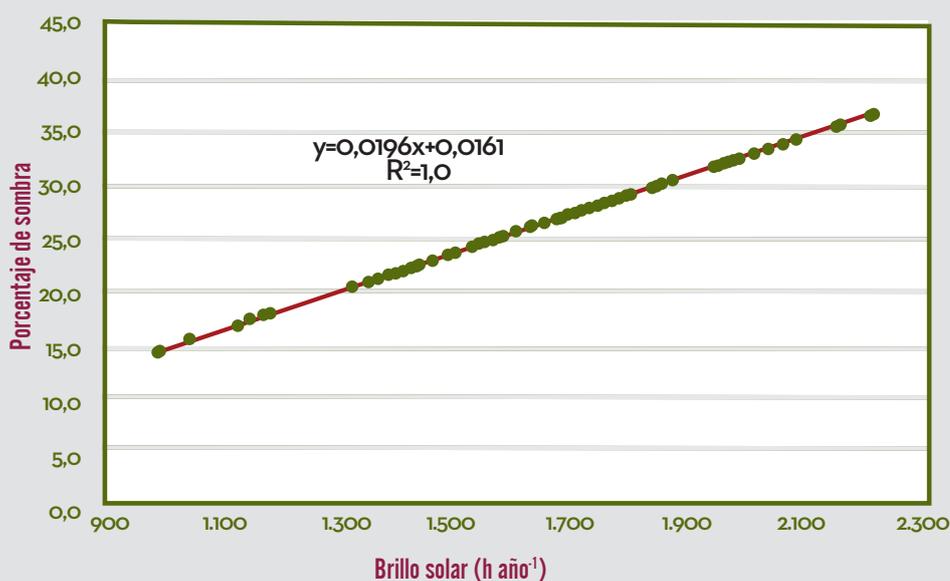


Figura 68. Porcentaje de sombra de acuerdo a la nubosidad de cada región.

debido a que la nubosidad de una localidad contribuye en esa sombra en forma natural (Farfán y Jaramillo, 2009).

Instrumentos para la medición de la cobertura arbórea. Son diversos los instrumentos o herramientas para la valoración del porcentaje de cobertura arbórea que recibe el café; entre éstos se mencionan (Farfán et al., 2016):

Para medir porcentaje de cobertura

Densiómetro esférico (DE). Instrumento manual de fácil uso; conformado por un espejo cóncavo con nivel esférico de burbuja, subdivido por una malla que consta de 24 cuadros. Con él puede estimarse la cobertura del dosel. Es utilizado para mediciones en especies forestales y está diseñado para trabajar directamente en el campo.

Densiómetro cúbico (DC). Instrumento de elaboración artesanal. Está conformado por una cara de acrílico, cuatro láminas de PVC, una cara con 100 cuadros de igual dimensión y un espejo. Con él puede estimarse el porcentaje (%) de cobertura del dosel.

Densiómetro de punto (DP). Instrumento de elaboración artesanal. Está conformado por dos tubos de PVC, dos caras de acrílico con su ubicación de centro representada por una "x", un codo de PVC y un espejo. Con él puede estimarse el porcentaje de cobertura del dosel. Instrumento de bajo costo y fácil manipulación, puede usarse directamente en el campo.

Plantilla visual de sombra (PVS). Guía visual de porcentaje de cobertura. Se emplea mediante la observación directa del dosel, comparándola con la guía o plantilla visual de sombra (PVS), también puede

obtenerse una fotografía de la cobertura del árbol y comparar con la guía (Figura 69). Es de fácil manipulación y puede usarse directamente en el campo.

HabitApp. Es una aplicación diseñada con el fin de ayudar en la evaluación, de manera simple, de la cobertura del follaje proporcionada por los árboles.

Para valorar cantidad y calidad de la luz

SunScan Canopy Analysis System (SCAS). Equipo de alta precisión, con el que se registra la radiación solar o luz dentro del cultivo. La información sobre la interceptación de la radiación debe ser transformada a porcentaje de cobertura dado por los árboles de sombra. Es de alto costo y solo debe emplearse con propósitos de investigación.

Gap Light Analyzer (GLA) Version 2.0. Es un programa para el procesamiento de imágenes, gratuito y desarrollado por Cary Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. Procesa imágenes captadas con cámaras digitales. Es necesario realizar la configuración para el sitio donde se tiene establecido el cultivo. La información sobre los porcentajes de cobertura la almacena directamente en hojas de cálculo.

Gap Light Analyzer Mobile App (GLAMA) Versión 3.4. Es una aplicación gratuita obtenida en la web y desarrollada por Lubomír Tichý, Masaryk University, República Checa. Es de aplicación y procedimientos similares a la aplicación GLA, pero este es un aplicativo para ser descargado directamente al teléfono móvil. Aunque es de rápida y práctica aplicación, por su similitud con GLA, los procedimientos de configuración de sitio y de fotografías son complejos.

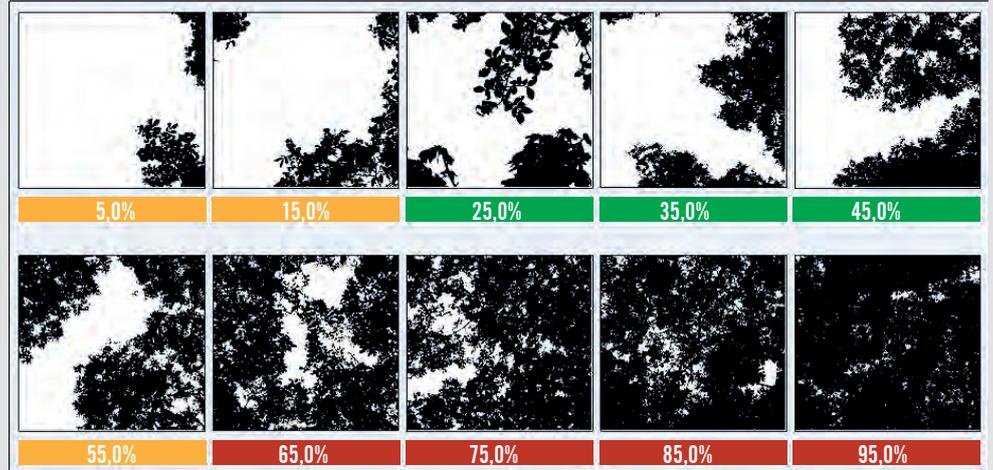


Figura 69.
Plantilla Visual de Sombra (PVS).

Nutrición del café en sistemas agroforestales

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, que además minimice el impacto ambiental (Arcila y Farfán, 2007).

También merece especial atención 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. El conocer los requerimientos nutricionales de la planta no es condición suficiente para obtener óptimas producciones, además es necesario tener en cuenta

los requerimientos según los sistemas de cultivo, las cantidades a aplicar, los métodos y las épocas de aplicación, las fuentes de los nutrimentos a utilizar y cómo afectan las condiciones ambientales la disponibilidad de los elementos (Arcila y Farfán, 2007).

Fertilización del café con materia orgánica en sistemas agroforestales

Como se mencionó anteriormente, los árboles son empleados como acondicionadores de los sitios donde, por condiciones adversas de clima no puede establecerse el café a libre exposición solar; por lo tanto, los resultados de las investigaciones realizadas en caficultura a libre exposición solar pueden ser aplicados a la caficultura en sistemas agroforestales. En este caso las recomendaciones dadas para la nutrición del café con materia orgánica y a libre exposición solar, pueden ser aplicadas a la caficultura bajo sombra, siempre que se mantengan los niveles de sombreadamiento adecuado para cada región.

Recomendación práctica

En un sistema agroforestal con café es importante determinar si se va a medir la cantidad y calidad de la luz para emplear herramientas de medición directa, o si se requiere el porcentaje de cobertura para utilizar equipos manuales.

Se realizó un estudio en las Estaciones Experimentales Naranjal, La Catalina, Paraguaicito, El Tambo y San Antonio, para determinar la respuesta en cantidad y calidad de la producción del café cultivado a libre exposición solar, a una densidad de 10.000 plantas/ha, y la fertilización con abonos en forma de lombriabono aplicado a diferentes niveles. Las dosis aplicadas, tanto de lombriabono como de fertilizante, se fraccionaron en dos aplicaciones por año. Las dosis aplicadas (0,5; 1,0; 2,0 y 3,0 kg) fueron de lombriabono seco.

Producción de café. En la Figura 70 se presenta la producción promedio de cinco cosechas (kg ha^{-1} de c.p.s.), en las cinco localidades comprendidas en el estudio. En La Catalina, con la aplicación de $3,0 \text{ kg año}^{-1}$ por planta de lombriabono, se obtuvieron producciones similares a las obtenidas con la fertilización química. En Paraguaicito y Naranjal las mayores producciones se registraron con la aplicación de lombricomposto entre $2,0$ y $3,0 \text{ kg año}^{-1}$ por planta. En San Antonio, las producciones fueron similares al aplicar entre $1,0$ y $3,0 \text{ kg año}^{-1}$ por planta de lombriabono y en El Tambo las producciones fueron similares al aplicar $2,0 \text{ kg año}^{-1}$ por planta, al ser comparadas con la fertilización química.

Producción de pulpa y lombriabono a base de pulpa de café. La cantidad de pulpa y lombriabono que se produce en la finca, puede determinarse a partir de la cantidad de café cereza producido; se cita un ejemplo de la cantidad de materia orgánica a base de pulpa de café, requerida para un cultivo establecido a libre exposición solar y con 10.000 plantas/ha.

Para la estimación de la cantidad de pulpa de café producida se tomó el promedio del café producido (kg ha^{-1} de c.p.s.) en la Estación Experimental Naranjal, para los sistemas de producción fertilizados con $3,0 \text{ kg año}^{-1}$ de lombriabono (Tabla 19).

De la Tabla 19 se deduce que el café pergamino seco obtenido durante cinco cosechas (21.478 kg) produce en total 42.956 kg de pulpa, de la cual, transformada mediante la lombriz roja californiana, pueden obtenerse 27.929 kg de lombriabono. Esto indica que con el lombriabono producido durante cinco años, podrían fertilizarse 10.000 plantas en un año, aplicando $2,8 \text{ kg}$ de lombriabono/planta.

En la Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar) se analizó la posibilidad

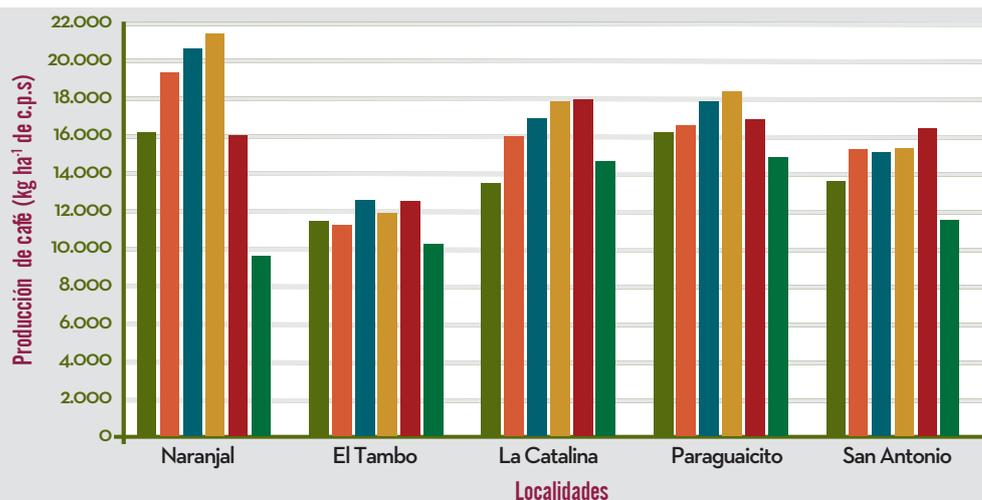


Figura 70. Producción acumulada de café (cinco cosechas), por localidad y por tratamiento.

Tabla 19. Producción de pulpa y lombricomposto a base de pulpa de café en sistemas de producción al sol, en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas).

	N° de Cosechas					Acumulado
	1	2	3	4	5	
	2006	2007	2008	2009	2010	
Café pergamino seco (kg ha ⁻¹)	1.321	6.013	2.381	6.940	4.823	21.478
Café cereza (kg ha ⁻¹)	6.605	30.065	11.905	34.700	24.115	107.390
Pulpa fresca (kg)	2.642	12.026	4.762	13.880	9.646	42.956
Lombricomposto (kg)	1.718	7.819	3.096	9.025	6.271	27.929

de establecer un plan de fertilización del café en un sistema agroforestal, basado en fuentes orgánicas como la pulpa de café descompuesta, complementada con fuentes de potasio. Se evaluaron cinco alternativas de fertilización: (1) lombricomposto solo; (2) fertilización química; (3) café sin fertilización; (4) lombricomposto complementado con sulfato de potasio y (5) lombricomposto suplementado con Sulpomag. El café se estableció a tres densidades de siembra: 3.900, 6.000 y 7.800 plantas/ha, en un sistema agroforestal donde el componente arbóreo fue guamo santafereño establecido con 70 árboles/ha (Figura 71).

Los resultados de cinco cosechas indican que al establecer el café en un sistema agroforestal y con bajas densidades de siembra (3.900 plantas/ha), la producción de café es igual al aplicar cualquiera de las fuentes de fertilizante evaluadas, con una producción promedio de 911 kg ha⁻¹ de c.p.s. (Figura 71).

Si se establece el café a densidades de siembra de 6.000 plantas/ha, las producciones obtenidas al fertilizar el café con lombricomposto solo o suplementado con las fuentes de potasio, son similares a las obtenidas cuando el café se fertiliza químicamente según los resultados de los

análisis de suelos (Figura 71). En altas densidades de siembra del café (7.800 plantas/ha) en sistemas agroforestales, la mayor producción se registró al fertilizar el café con el lombricompuesto con base en pulpa y suplementado con Sulpomag.

Del estudio puede inferirse que:

- ♦ Es posible fertilizar el café con subproductos orgánicos como la pulpa, en mezcla con fuentes minerales como Sulpomag; siempre que el café en sistemas agroforestales sea establecido en altas densidades de siembra.
- ♦ En bajas densidades de siembra, el café puede fertilizarse con lombricomposto solo, si se dispone de la cantidad suficiente o con fertilizante inorgánico apoyado en los resultados de los análisis de suelos.
- ♦ Es fundamental mantener los niveles de sombra máximos permitidos para el café, de acuerdo a la localidad, pues

con altos niveles de sombra el café no responde a la fertilización.

En la Estación Experimental Naranjal se evaluó la respuesta en producción del café en un sistema agroforestal, a la densidad de siembra. el componente arbóreo fue *E. fusca* (cámbulo), *I. edulis* (guamo santafereno), *I. densiflora* (guamo macheto) y *A. carbonaria* (carbonero), establecido a 12,0x 12,0 m (70 árboles/ha). Como componente agrícola se evaluaron las variedades de café Castillo® y Tabi; el plan de fertilización de los sistemas agroforestales se basó en la aplicación de 3,0 kg de pulpa transformada mediante la lombriz roja californiana, dosis que fue fraccionada en dos aplicaciones de 1,5 kg en el primer semestre y 1,5 kg en el segundo. Las densidades de siembra evaluadas se presentan en la Tabla 20.

La producción acumulada de cinco cosechas (kg ha^{-1} de c.p.s.) se presenta en la Figura 72. En la variedad Tabi, de porte alto y resistente a la roya del cafeto, con 5.400 plantas/ha, se obtuvo una producción acumulada de 7.103 kg

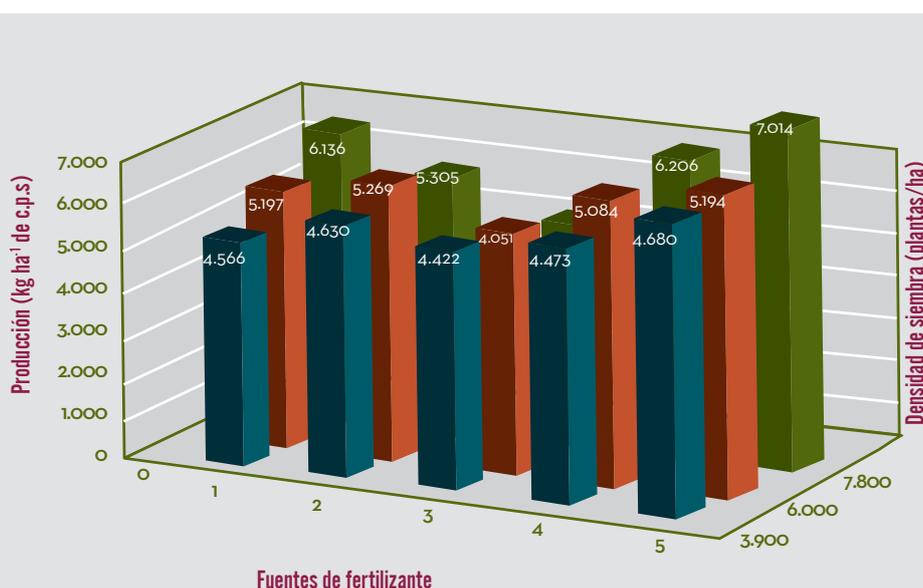


Figura 71. Producción promedio de café (Cinco cosechas), en la Estación Experimental Pueblo Bello, Cesar.

Fuente de fertilizante

1. Lombricomposto solo
2. Fertilización química
3. Sin fertilización
4. Lombricomposto+sulfato de potasio
5. Lombricomposto+Sulpomag



ha⁻¹ de c.p.s. y con 3.600 y 7.200 plantas/ha, la producción fue cercana a los 5.500 kg. Con Variedad Castillo®, de porte medio e igualmente resistente a la roya, se registraron producciones de 11.444 kg ha⁻¹ de c.p.s. con 9.000 plantas; con densidades de siembra entre 3.600 y 7.200 plantas/ha la producción promedio fue de 9.416 kg de café.

De los resultados anteriores puede inferirse que es posible obtener altas producciones, en altas densidades de siembra del café realizando la fertilización basada en materiales orgánicos, siempre que se

apliquen todas las prácticas agronómicas recomendadas por Cenicafé, en cuanto a manejo de plagas y enfermedades, manejo de arvenses, regulación periódica del sombrío, fertilización en dosis y frecuencias recomendadas, etc.

Fertilización inorgánica en sistemas agroforestales

En la Granja Blonay (Chinácota, Norte de Santander), bajo la coordinación de la Estación Experimental San Antonio-Santander, se evaluó el efecto en la

Tabla 20. Densidades de siembra evaluadas en dos variedades de café. Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas).

Variedades de café	Densidad	Distancias de siembra (m)
Castillo®	3.600	1,65 x 1,65
	5.400	1,35 x 1,35
	7.200	1,18 x 1,18
	9.000	1,05 x 1,05
Tabi	1.800	2,35 x 2,35
	3.600	1,65 x 1,65
	5.400	1,35 x 1,35
	7.200	1,18 x 1,18

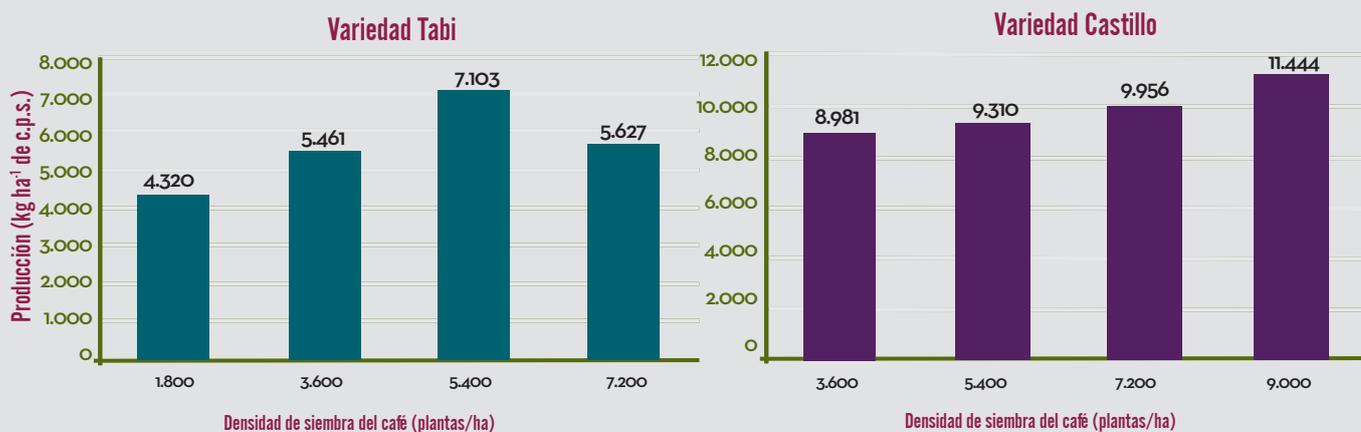


Figura 72.

Producción acumulada de cinco cosechas (kg ha⁻¹ de c.p.s.), para dos variedades de café. Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas). Según las densidades indicadas en la Tabla 20.

producción de café, de densidades de siembra y dosis de fertilización en sistemas agroforestales con café (Cenicafé, 2017 a, b), empleando La Variedad Castillo® Pueblo Bello.

Para sombrero permanente se utilizó un componente arbóreo diverso con especies maderables, ya establecido en el sitio de estudio con arreglo espacial no definido (sombrero disperso). Los tratamientos, 20 en total, estuvieron conformados por la combinación de cinco niveles de fertilización (12,5%, 25%, 50%, 75%, 100%) según resultados de los análisis de suelos y cuatro densidades de siembra del café (3.600; 5.400; 7.200 y 9.000 plantas/ha), correspondientes a las distancias de siembra de 1,65 x 1,65 m; 1,35 x 1,35 m; 1,18 x 1,18 m y 1,05 x 1,05 m, respectivamente).

Los resultados de la producción acumulada de seis cosechas (kg ha⁻¹ de c.p.s.), se presentan en la Figura 73, de los que puede inferirse:

- Hay respuesta en producción del café al incremento de la densidad de siembra y al nivel de fertilizante aplicado.
- Al aplicar dosis crecientes de fertilizante inorgánico, a las diferentes densidades de siembra del café, las mayores producciones se obtienen con la aplicación del 100% de las dosis de fertilizante recomendadas en los análisis de suelos y con densidades de siembra de 9.000 plantas/ha.
- En densidades de siembra inferiores a 4.000, se alcanza en promedio 4.764 kg de café pergamino seco durante seis cosechas, al aplicar entre el 12,5% y el 75% del fertilizante.
- Con aumentos de la densidad de siembra de 5.400 plantas/ha a 9.000 plantas/ha, al

realizar los análisis de suelos, aplicar la dosis recomendada en estos análisis y en la época apropiada, puede incrementarse la producción de café en un 33,0%.

- Es posible incrementar la producción si se aumenta la densidad de siembra, manteniendo los mismos niveles de fertilización, como estrategias para mejorar la rentabilidad.
- Si se conservan bajas densidades de siembra, inferiores a 4.000 plantas/ha, y bajo sombrero, no es recomendable aplicar la dosis completa de fertilizante del análisis de suelos.

En la Figura 74, se presentan las funciones de producción del café acumuladas de seis cosechas (kg ha⁻¹ de c.p.s.), como respuesta a la densidad de siembra y al incremento de los niveles de fertilizante aplicado; se corroboran los resultados obtenidos en cuanto a que las máximas producciones se logran con la aplicación del 100% del fertilizante recomendado en el análisis de suelos.

El 100% del fertilizante puede ser aplicado si el sistema agroforestal tiene como componente arbóreo un sombrero estratificado de maderables o forestales (Figura 74).

Consideraciones generales

En la Figura 75, se presentan en resumen las prácticas agronómicas básicas al establecer y administrar un sistema agroforestal con café, con el propósito de recuperar, incrementar y mantener la producción y la rentabilidad del sistema, con criterios de sostenibilidad y sin afectar la calidad del grano.

Figura 73.

Producción acumulada de cuatro cosechas, 2013 a 2016 al aplicar dosis crecientes del fertilizante inorgánico. Granja Blonay, Norte de Santander.

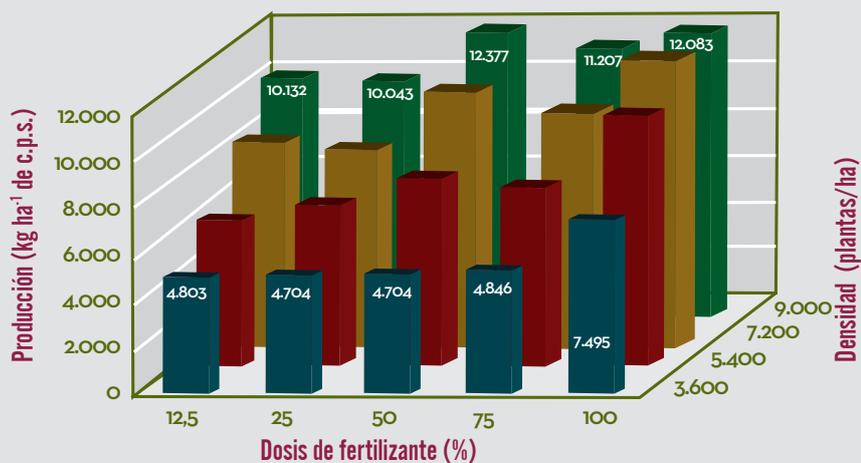
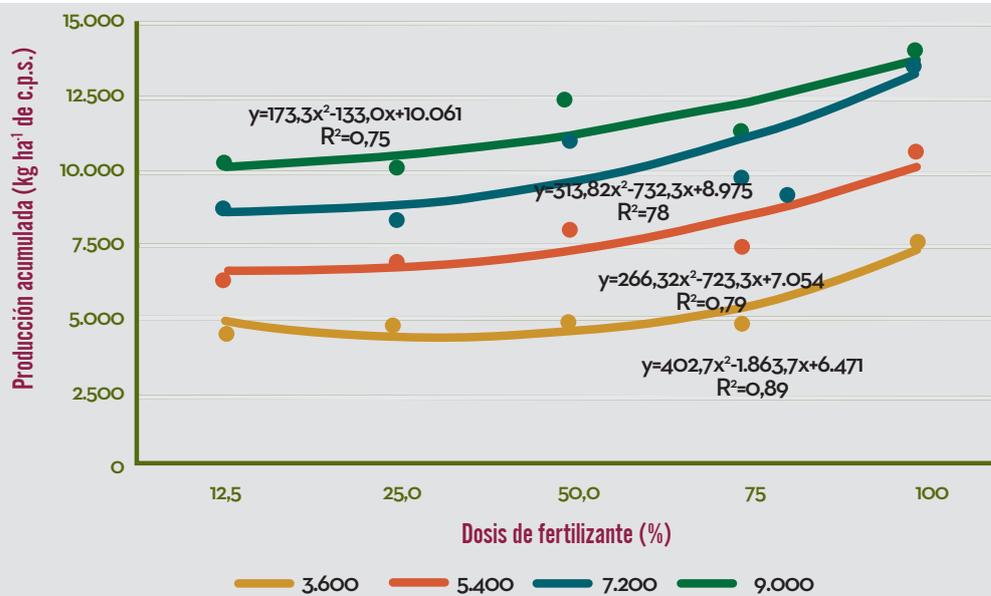


Figura 74.

Producción acumulada de cuatro cosechas (2013 a 2016) y cuatro densidades de siembra, en respuesta a niveles de fertilizante aplicado. Granja Blonay (Norte de Santander).



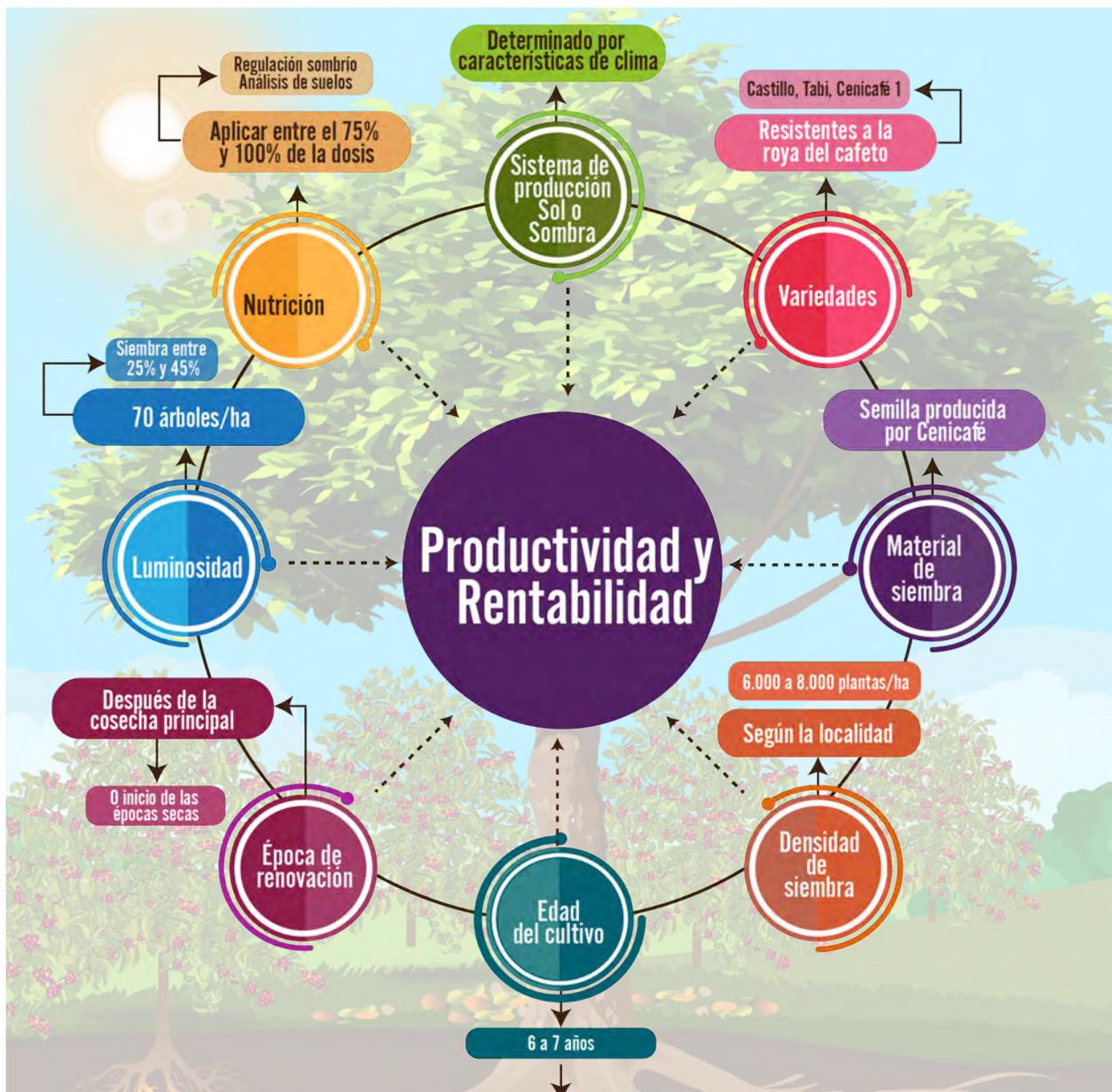


Figura 75. Prácticas agronómicas básicas para establecer y administrar un sistema agroforestal con café.



Las arvenses y su interferencia en los sistemas de producción de café

Luis Fernando Salazar Gutiérrez*

Édgar Hincapié Gómez**

* Investigador Científico I, Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.
<https://orcid.org/0000-0003-2302-4825>

** Ph.D. Investigador de Suelos y Aguas. Programa de Agronomía. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cenicafé. ehincapie@cenicana.org
<https://orcid.org/0000-0002-1722-791X>

Salazar-Gutiérrez, L., & Hincapié, E. (2020). Las arvenses y su interferencia en los sistemas de producción de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 124-148). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_4



Se considera “maleza” o hierba dañina a aquella planta que interfiere con el cultivo y afecta en forma negativa el sistema productivo.

La palabra “maleza” puede influir negativamente en la percepción que las personas tienen sobre alguna planta y de esta manera conducir a su control desmesurado. Por lo anterior, se ha motivado el uso del término “arvenses”, que significa “planta que crece en los sembrados”.



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 preservación o mejoramiento de la calidad del suelo, el agua y la biodiversidad.

El manejo de las arvenses se ha considerado como el mayor obstáculo al desarrollo sostenible de la agricultura debido a la aplicación de herbicidas en forma indiscriminada, lo cual causa problemas asociados con la erosión de los suelos, la calidad del agua y las condiciones de vida, tanto rural como urbana (Wyse, 1994).

De aproximadamente 250.000 especies de plantas, menos de 250 se registran como arvenses competitivas para los cultivos, de ahí, cerca del 71% de las arvenses de mayor interferencia están distribuidas en ocho familias de plantas y más del 50% pertenecen a sólo dos familias: Asteraceae y Poaceae. En la Tabla 21 se muestran 18 de las arvenses de mayor interferencia en los principales cultivos (Holm et al., 1977).

En Colombia, Gómez y Rivera (1987) registraron 170 especies de arvenses

Tabla 21.

Las arvenses de mayor interferencia del mundo (Holm et al., 1977).

Especie	Nombre común	Familia
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito*	Poaceae
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Pasto Bermuda o Argentina*	Poaceae
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	Liendrepuerco*	Poaceae
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Arrocillo*	Poaceae
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pategallina*	Poaceae
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers	Pasto Johnson, Sorgo de Alepo*	Poaceae
<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv.	Pasto cogon o Alang alang	Poaceae
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Jacinto de agua	Pontederiaceae
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdologa*	Portulacaceae
<i>Chenopodium album</i> L.	Cenizo	Chenopodiaceae
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Guarda rocío*	Poaceae
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Bejuco	Convolvulaceae
<i>Avena fatua</i> L. y especies afines	Falsa avena	Poaceae
<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> Bergius	Gramas*	Poaceae
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W.D. Clayton	Caminadora*	Poaceae

*Arvenses frecuentes en cultivos de café en Colombia.

en cultivos de café, el mayor número perteneciente a las familias Poaceae (17,6%), Asteraceae (16,4%), Euphorbiaceae (4,7%), Amaranthaceae (4,1%) y Rubiaceae (4,1%).

Interferencia de arvenses

Las arvenses a excepción de las plantas parásitas, generalmente no tienen un efecto directo sobre el estado fisiológico del cultivo como sí podrían tenerlo las plagas y enfermedades; sin embargo, ambos, cultivo y arvense, tienen un efecto directo sobre los recursos disponibles en su ambiente inmediato y una respuesta única a la cantidad de recursos disponibles dentro de ese ambiente (Lindquist, 2001). Por lo tanto, las arvenses causan disminución de los rendimientos en forma indirecta, debido a su influencia sobre los

recursos requeridos para el crecimiento del cultivo.

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 segunda, es un proceso fisiológico y bioquímico por medio del cual una planta libera al medio ambiente uno o varios compuestos bioquímicos que inhiben el crecimiento de otro organismo del mismo hábitat o de uno cercano (Molish, 1937 citado por Rice, 1984). En la Tabla 22 se observan algunas especies de arvenses reportadas como alelopáticas en cafetales de Colombia (Gómez y Rivera, 1987). En sentido práctico, cuando una arvense alcanza más de un 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 entre ellas, no son muy obvias para el observador casual y, por lo tanto, 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 96% (Tabla 23). En general, el manejo de arvenses en los sistemas productivos de café es el rubro más importante en los costos de producción (Tabla 24), después de los atribuidos a la cosecha. Sin embargo,

el Manejo Integrado de Arvenses (MIA), recomendado por Cenicafé y aplicado en Colombia, se ubica entre las prácticas más económicas comparadas con otros sistemas de manejo de arvenses en cafetales de otros países (Tabla 24).

Cada cultivo y especie de arvense tiene sus propias características de adaptación, capacidad competitiva y reacciones con respecto a otras especies, por lo tanto, diferentes hábitos de crecimiento de las arvenses dan como resultado diferentes habilidades competitivas (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 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).

Generalmente, el control de arvenses se ha basado en el tratamiento anticipado o actual de las arvenses más que sobre la

Tabla 22.

Arvenses alelopáticas asociadas a cultivos de café en Colombia.

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Helecho marranero	Dennstaedtiaceae
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito	Cyperaceae
<i>Melinis minutiflora</i> Beauv.	Pasto gordura	Poaceae
<i>Panicum zizanioides</i> H.B.K.	Nudillo, pitillo	Poaceae
<i>Amaranthus dubius</i> Mart. ex Thell.	Bledo	Amaranthaceae
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Altamisa ajeno	Asteraceae
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Lehecilla	Euphorbiaceae
<i>Euphorbia hirta</i> L.	Tripa de pollo	Euphorbiaceae
<i>Hyptis atrorubens</i> Poit	Hierba de sapo	Labiatae
<i>Portulaca oleraceae</i> L.	Vedolaga	Portulacaceae
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Venadillo	Asteraceae

Tabla 23.

Pérdidas en el rendimiento del cultivo del café causado por interferencia de arvenses.

Fuente	Reducción en rendimiento (%)	Observación
Oerke et al. (1994)	35	General para cultivos tecnificados
Njoroge (1994a)	50	Kenia
Eshetu (2001)	65	Etiopía
Blanco et al. (1978)	60	Brasil (sin control)
Salazar e Hincapié (2009)	66	Chinchiná, Colombia (sin control en las calles)
Lemes et al. (2010)	85 al 96	Minas Gerais - Brasil (sin control de arvenses) <i>C. arabica</i> c.v Rubi.

Tabla 24.

El manejo de arvenses en los costos de producción del cultivo del café.

Fuente	Costos de producción (%)	Observación
Oerke et al. (1994)	30 - 40	A nivel mundial
Secretaría de Estado de Agricultura Pecuaria E Abastecimento (2004)	15 - 20	Brasil
Gómez et al. (1985)	17 - 22	Colombia, manejo tradicional
Duque (2001)	13	Colombia (Manejo Integrado)

observación de la dinámica de población arvense-cultivo, y el impacto potencial sobre el rendimiento del cultivo y el ambiente. Los programas más exitosos de manejo de arvenses se basan en el entendimiento adecuado de la biología y ecología de las arvenses (Zimdahl, 1993); 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

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 cultivo de café 16 veces, distribuidas así: ocho desyerbas en el primer año y cuatro por año, durante dos años (Tabla 25).

Salazar (1975) al evaluar el control manual mecánico de arvenses en forma generalizada, encontró 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 etapa de producción.

Tabla 25.

Efecto del número de desyerbas sobre la producción de café en tres años (Mestre, 1979).

Número de desyerbas en tres años	Producción de c.p.s. (@ ha ⁻¹)	Incremento de la producción
8	470	
12	663	41,00%
16	967	105,74%
24	1029	118,93%

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 76 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 cómo la densidad de arvenses, la época de emergencia de estas 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.

Lao et al. (1992) encontraron que el factor de cobertura de las arvenses muestra una alta relación con la disminución del rendimiento, mientras que los factores materia seca, número de plantas/m², tiempo de competencia presentan coeficientes de correlación más bajos. Kropff y Lotz (1992), mediante 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 más sencilla de medir, comparada 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 pequeñas cuadrículas (100) de 25 cm² cada una, de esta forma, si 80 cuadrículas se encuentran cubiertas por arvenses, el porcentaje de cobertura será del 80% (Figura 77), si se trata de un experimento con parcelas de área muy baja, se recomienda disponer los cuadrados en el campo aleatoriamente

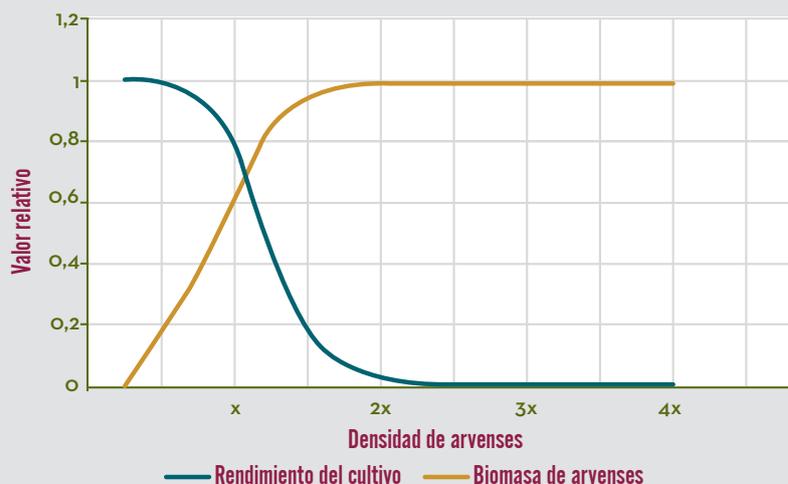


Figura 76.

Competencia interespecífica entre el cultivo y las arvenses, donde x representa la densidad de arvenses.

y dejarlos en forma permanente, durante el tiempo de evaluación del experimento (Adaptado de Tinney et al., 1937 y Fuentes, 1986).

Otra medición 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 abundancia de una especie 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 se expresa como el número de veces que aparece la arvense en cada fracción de cuadrante dividido por el total de cuadrantes y multiplicado por 100 (Adaptado de Tinney et al. 1937 y Fuentes, 1986). Estas metodologías son relativamente sencillas y aplicables en investigación científica y participativa.

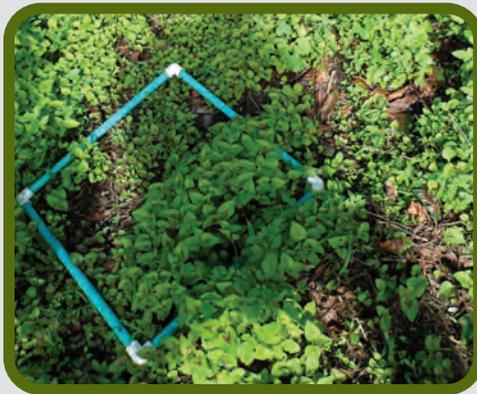
Fertilidad del suelo

En suelos de fertilidad baja, la competencia por las arvenses es más crítica, además la aplicación de fertilizantes no alcanza los beneficios máximos cuando no se realiza el manejo de arvenses oportuno. En

cultivos de café en Kenia la interferencia de la arvense *Desmodium* sp. sobre la producción de café fue mayor en cafetales sin aplicación de nitrógeno, comparado con cultivos en los cuales se hizo la aplicación de 240 kg ha-año⁻¹ de N (Njoroge y Mwakha, 1983).

Disponibilidad hídrica

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 (Bradshaw y Rice, 1998). 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. Friessleben et al. (1991) en Cuba, demostraron que el manejo de las arvenses durante el período seco fue más importante en reducir los efectos de la competencia, que durante el período lluvioso. En Colombia se recomienda cortar las coberturas entre 3 a 5 cm del suelo, especialmente las arvenses de interferencia alta, al comienzo de las



a.



b.

Figura 77.

a) Evaluación del nivel de cobertura de arvenses en el campo;
b) Cuadrado de áreas de 0,25 m² utilizado para la medición de nivel de cobertura y frecuencia de las arvenses.

épocas secas con el fin de contrarrestar la competencia por agua, lo cual coincide con lo reportado por Jaramillo (2005).

Características del cultivo

La interferencia de las arvenses en las fases vegetativa y de producción puede causar disminución drástica de la producción. En el cultivo de café estas épocas corresponden a las etapas de almácigo, la etapa vegetativa y la etapa de producción.

Como en todos los cultivos perennes, en la etapa de almácigo debe evitarse la interferencia de todo tipo de arvenses, puesto que es una de las épocas más sensibles.

De este modo, 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, por esto 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 en sistemas agroforestales bajo sombra. Después de dos años de establecido el cultivo la incidencia de las arvenses disminuye por el vigor de las plantas de café.

Capacidad de interferencia de las arvenses

Diferentes investigaciones realizadas en Cenicafé permitieron concluir que en los cultivos de café crece un grupo de arvenses de interferencia muy baja denominadas **nobles**, cuya presencia entre las calles no afecta el desarrollo del cultivo. Por lo 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.

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 frecuentemente asociadas a los cultivos de café en Colombia, diferenciándolas descriptivamente según su grado de interferencia con el cultivo, hábitat y utilidad. De este modo, Gómez y Rivera (1987) identificaron 170 especies de arvenses localizadas en 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.

En el año 2013, en 64 muestreos, en lotes cafeteros de las regiones cafeteras Norte, Centro y Sur de Colombia se reconocieron 176 especies de arvenses, de las cuales 29 se clasificaron como arvenses de baja interferencia (nobles de protección del suelo contra la erosión). La comunidad de arvenses varió entre zonas, sin embargo, fue posible encontrar especies del tipo cosmopolitas como *Ageratum conizoides*, *Eleusine indica*, *Commelina diffusa* y *Drymaria cordata* (Cenicafé, 2013).

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.
- ♦ Diversidad en sus medios de propagación tanto en forma sexual como 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 (agua, luz, nutrientes, oxígeno y CO₂).
- ♦ Alelopatía.
- ♦ Sistema radical fasciculado, superficial y denso, altamente competitivo con el sistema radical del cultivo.
- ♦ Difícil control por medios manuales, mecánicos o químicos.
- ♦ Estructura leñosa o semileñosa.
- ♦ Hábito trepador y plantas parásitas.
- ♦ Hospedantes de plagas o enfermedades que tienen impacto económico sobre el cultivo.
- ♦ Resistencia a herbicidas.

Las familias de arvenses de mayor interferencia en los cultivos de café en Colombia son: Poaceae, Cyperaceae y Asteraceae (Figura 78). Sobresalen las plantas alelopáticas, las arvenses de hábito de crecimiento trepador como batatillas y enredaderas, las de estructura leñosa o semileñosa de raíz pivotante profunda como las escobaduras y verbenas, y otras notorias por la dificultad para su manejo como helechos (Tabla 26).

Familia Poaceae. 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) (Figura 78a).

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 conocen 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) (Figura 76b).

Familia Asteraceae. Posiblemente es la familia más extensa dentro de la flora apícola colombiana, aunque la mayoría son consideradas como “malezas”. En esta familia se concentran especies de uso medicinal, ornamental, forrajeras y alimenticias. En su mayoría son plantas de interferencia media o baja en los cultivos de café; 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, por sus efectos alelopáticos o por ser resistentes a herbicidas (Vargas, 2002) (Figura 76c).



a.



b.



c.

Figura 78.

a) Familia Poaceae, *Chloris radiata*; b) Familia Cyperaceae, *Cyperus* sp.; c) Familia Asteraceae, *Erechites valerianifolius*.

Tabla 26.

Arvenses de interferencia alta frecuentes en los cultivos de café en Colombia.

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Pasto Argentina, bermuda	Poaceae
<i>Paspalum paniculatum</i> L.	Gramalote	Poaceae
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. <i>D. horizontalis</i> Willd.	Guardarocío o alambriillo	Poaceae
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pategallina	Poaceae
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Pasto india, pasto guinea	Poaceae
<i>Panicum laxum</i> Sw.	Pasto mijillo, paja morada	Poaceae
<i>Cyperus odoratus</i> L.	Cortadera	Cyperaceae
<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (Al.)Gl.	Totumo, oreja de burro	Asteraceae
<i>Emilia sonchifolia</i> L. (D.C.)	Hierba socialista, pincelito, borlita, emilia	Asteraceae
<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>Melonthria 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
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Venadillo, juanparao	Asteraceae
<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & Jarvis	Bejuco chirriador, uva brava	Vitaceae
<i>Gurania makoyana</i> (Lem.) Cogn.	Bejuco	Cucurbitaceae

Arvenses potencialmente agresivas en cultivos de café en Colombia

En Colombia existen áreas cafeteras donde algunas arvenses pueden ser de alta interferencia (Tabla 27), 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) o por variación climática; en consecuencia durante el período de La Niña 2010-2011, en varios municipios de la zona cafetera de los departamentos del Tolima, Cauca, Valle y Caldas, se reportó la aparición de arvenses de difícil control

como el caso de *Anredera cordifolia* (Tenore) Steens o falsa espinaca, debido a que se dieron las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de esta planta como son la alta nubosidad, alta humedad relativa y saturación por humedad del suelo (Salazar, 2013).

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 28), debido a estas características estas especies son de fácil manejo, que puede hacerse en forma manual o mecánica.

Tabla 27.

Arvenses de interferencia potencialmente alta en cafetales de Colombia.

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	Arrocillo, liendre puerco	Poaceae
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Pasto Johnson, falso sorgo, arrocillo,	Poaceae
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf.	Pasto braquiaria	Poaceae
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	Pasto estrella	Poaceae
<i>Rottboellia exaltata</i> L. f.	Caminadora, pela bolsillo	Poaceae
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito	Cyperaceae
<i>Siegesbeckia jorullensis</i> Kunth	Botón de oro	Asteraceae
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Altamisa o ajenjo	Asteraceae
<i>Amaranthus dubius</i> Mart.	Bledo, amaranto	Amarantaceae
<i>Borreria alata</i> (Aubl) DC.	Borreria, botoncillo	Rubiaceae
<i>Anredera cordifolia</i> (Tenore) Steens	Espinaca, enredadera papa	Basellaceae
<i>Tumbergia alata</i> Bojer ex Sims	Ojo de poeta	Acanthaceae
<i>Chloris radiata</i> (L.) Sw.	Cola de zorro	Poaceae

Tabla 28.

Arvenses de interferencia media a baja, frecuentes en cultivos de café*.

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern.	Alpiste, mostaza	Cruciferae
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Yuyo, guasca	Asteraceae
<i>Galinsoga caracasana</i> (D.C.) Sch Bip.	Yuyo, guasca	Asteraceae
<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern.	Yuyo veloso, guasca	Asteraceae
<i>Impatiens balsamina</i> L.	Besitos, caracuchos	Balsaminaceae
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Hierba de chivo, manrubio	Asteraceae
<i>Bidens pilosa</i> L.	Amor seco, cadillo, masiquía	Asteraceae
<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng	Hierbabuenilla, moradita, sanalotodo	Lythraceae
<i>Cuphea micrantha</i> Kunth	Hierbabuenilla, yerbabuenilla	Lythraceae
<i>Heliopsis buphthalmoides</i> (Jacq) Dun.	Botón de oro, gamboa	Asteraceae
<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>Erechtites valerianifolius</i> (Link ex Spreng.) DC.	Hierba de cabro, valeriana	Asteraceae
<i>Canna coccinea</i> Mill.	Achira, chirilla	Cannaceae
<i>Synedrella nodiflora</i> (L) Gaertn.	Venturosa, espinillo	Asteraceae

*Adaptado y modificado de Rivera (1997); Gómez y Rivera (1995).

Este grupo de arvenses, aunque no son tan competitivas, deben manejarse oportunamente debido a que pueden llegar a competir por luz, nutrientes y espacio. Un solo individuo o especie de arvense perteneciente a este grupo puede tener alguna característica de una arvense agresiva, pero en conjunto su población en los cultivos no permite que se exprese la interferencia alta.

Arvenses de interferencia muy baja o arvenses nobles

Primavesi (1984) propone el término “la invasora seleccionada o escogida” para referirse a aquellas arvenses que deben permitirse en asocio con los cultivos, para proteger los suelos contra la erosión. Así mismo, recomienda que se deben adaptar a las condiciones ambientales de su medio para disminuir 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. Su establecimiento es la práctica preventiva de la erosión de mayor eficiencia y factibilidad económica y puede obtenerse a través del Manejo Integrado de Arvenses. En la Tabla 29 se reportan algunas de las arvenses consideradas nobles y frecuentes en los cultivos de café en Colombia.

De 64 muestreos en lotes cultivados con café de las regiones cafeteras Norte, Centro y Sur de Colombia las arvenses nobles de protección del suelo contra la erosión que alcanzaron mayor grado de dominancia

por cobertura fueron *Oplismenus burmannii* y *Polygonum nepalense*, con valores de 58% y 61%, respectivamente; las que alcanzaron mayor dominancia por densidad poblacional fueron *Oxalis latifolia* y *Dichondra repens* con 65% y 68%, respectivamente (Cenicafé, 2013).

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 estas que pueden tolerarse en los cultivos sin que disminuyan significativamente los rendimientos. Dew (1972) fue pionero 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 de pérdidas del cultivo debidas a las arvenses, a partir de estudios de densidad. Definió el índice de competencia como se presenta en la Ecuación <4>.

$$b' = b/a$$

<4>

Donde:

b': índice de competencia.

b: coeficiente de regresión de la densidad de arvenses sobre el rendimiento.

a: rendimiento del cultivo libre de arvenses.

Tabla 29.

Arvenses de interferencia muy baja o nobles en sistemas productivos de café en Colombia*.

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Acalypha alopecuroides</i> Jacq.	Cola de gato	Euphorbiaceae
<i>Arachis pintoii</i> Krapov. & W.C. Greg.	Maní forrajero	Fabaceae
<i>Commelina elegans</i> L.	Siempre viva	Commelinaceae
<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Siempre viva, suelda con suelda, mangona, canutillo, trapoeraba, hierba de pollo, quesadillas, cohitre, campín gomoso, coyuntura	Commelinaceae
<i>Desmodium incanum</i> DC.	Amor seco, pega-pega	Fabaceae
<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>Eryngium foetidum</i> L.	Culantrón, culantro, cilantro cimarrón	Apiaceae
<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 leucocephala</i> Cham & Schltl., L.	Sombrero de agua	Apiaceae
<i>Hydrocotyle umbellata</i> L.	Orejitas, champaña, sombrero de agua	Apiaceae
<i>Hyptis atrorubens</i> Point.	Yerba de sapo, peludita, arropadita, botoncillo	Labiatae
<i>Indigofera suffruticosa</i>	Añil, cascabelito	Fabaceae
<i>Jaegeria hirta</i> (Lag.) Less.	Botón de oro	Asteraceae
<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv.	Gramma de conejo, pelillo	Poaceae
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Platanillos, acedera, acederilla, chulco	Oxalidaceae
<i>Oxalis latifolia</i> Kunth	Acedera, falso trébol	Oxalidaceae
<i>Oxalis acetosella</i> L.	Acedera, platanillo, vinagrillo	Oxalidaceae
<i>Panicum trichoides</i> Sw.	Ilusión, paja churcada	Poaceae
<i>Panicum pulchellum</i> Raddi	Guaduilla	Poaceae
<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 nepalense</i> Meisn	Botoncillo, corazón herido, la bella, liberal	Polygonaceae
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga, verdolaga amarilla	Portulacaceae
<i>Richardia scabra</i> L.	Ipecacuana, cabeza de negro, poaia branca	Rubiaceae
<i>Ruellia blechum</i> L. o <i>Blechum pyramidatum</i> (Lam.) Urb.	Camarón, camaroncillo, hierba de papagallo, mazorquilla	Acanthaceae
<i>Sisyrinchium bogotense</i> H.B.K.	Espadilla, fito, cebollín	Iridiaceae
<i>Spilanthes ocyimifolia</i> (Lam.) A. H. Moore	Botoncillo, botón de oro, yuyo quemado	Asteraceae
<i>Tradescantia zebrina</i> hort. ex Bosse	Panameña, zebra, zebrina	Commelinaceae
<i>Tradescantia multiflora</i> Sw.	Siempre viva, suelda, suelda con suelda, canutillo	Commelinaceae
<i>Zornia gemella</i> Vogel	Alverjilla, barba de burro, mariguana del Brasil, encarrugada, trencilla, zarza bacoa	Fabaceae

*Modificado y adaptado de Gómez (1990a).

Zimdahl (1980) y Aldrich (1987) reportan cómo la interferencia (relación de la disminución del rendimiento y la densidad

de arvenses) puede representarse por medio de una curva sigmoideal (Figura 79a), 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 79b y 79c).

El modelo es explicado biológicamente por Cousens (1985) al reportar cómo el aumento de la densidad de arvenses reduce el espacio existente entre ellas y, por lo tanto, incrementa la competencia entre las mismas, por lo cual el efecto competitivo de cada arvense decrece con cada aumento de la densidad de 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, ya que durante esta etapa existen más ventajas para las arvenses que para el cultivo. Durante el levante del cultivo la competencia puede reflejarse más claramente en el estado de desarrollo de las plantas, atraso en el crecimiento e incidencia de clorosis y ramas secas.

En un experimento realizado en la Estación Experimental Naranjal, en café variedad Colombia de seis meses de edad, con diferentes arvenses, se observó el efecto de estas sobre la aparición de clorosis y ramas secas (Figura 80). Al evaluar diferentes niveles de cobertura de dos arvenses de la familia Asteraceae (*Emilia sonchifolia* y *Bidens pilosa*), se encontró que estas causaron los mayores síntomas de clorosis, mientras que una arvense de

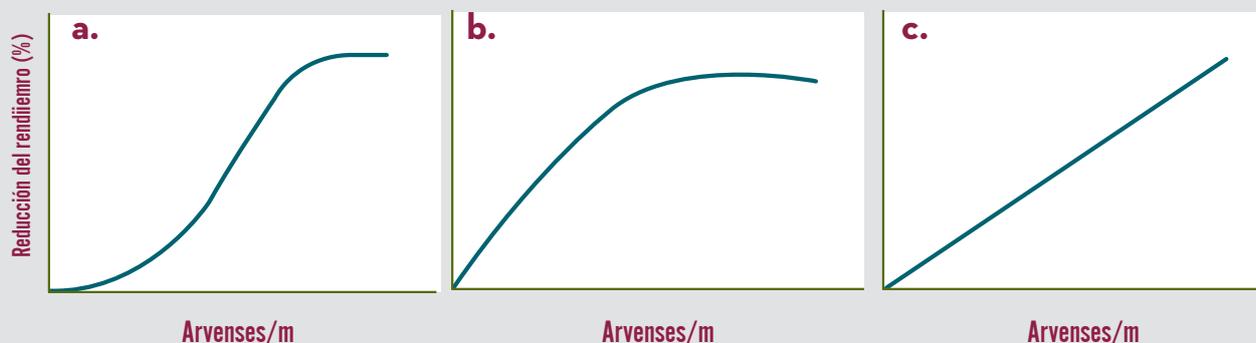


Figura 79.

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.

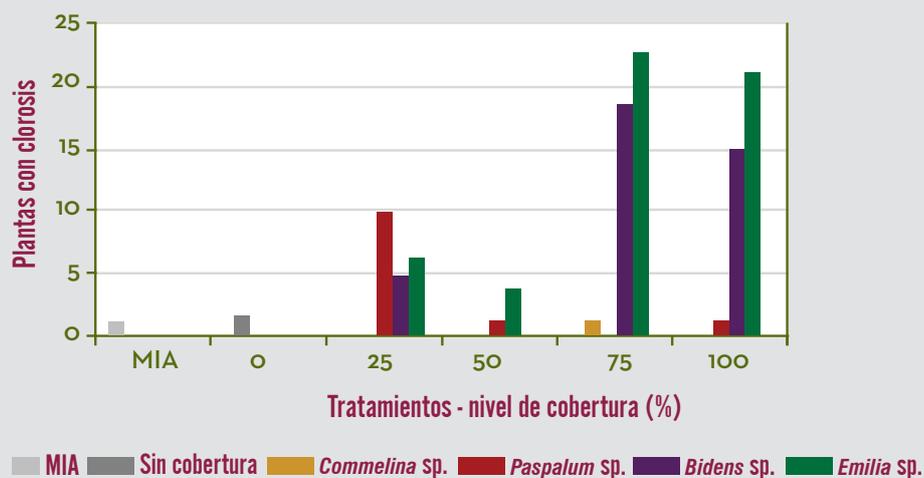


Figura 80. Efecto de diferentes tratamientos de cobertura sobre la incidencia de síntomas de clorosis en cafetos en etapa de levante.

la familia Poaceae (*Paspalum paniculatum*) no causó este síntoma en niveles altos de cobertura, debido posiblemente a la alta interferencia por luz. Los tratamientos donde se realizó el manejo integrado de arvenses, suelo desnudo (nivel de cobertura 0) y la arvense *Commelina* sp. causaron niveles muy bajos de clorosis en las plantas de café (Salazar e Hincapié, 2009).

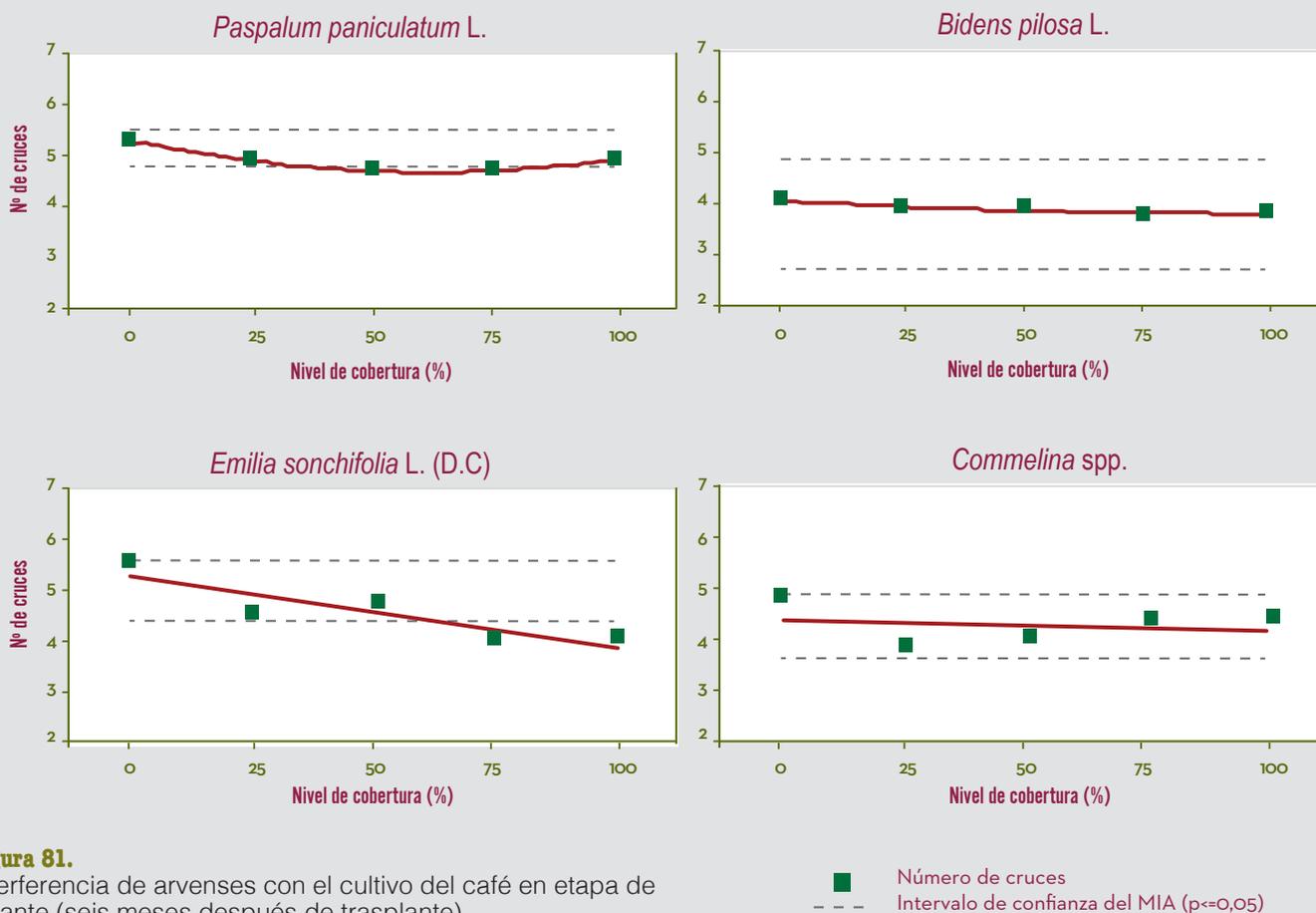
En la etapa de levante, niveles altos de la arvense *Emilia sonchifolia* interfirieron con el cultivo causando disminución del número de ramas primarias (cruces). El manejo integrado de arvenses no afectó esta variable y no presentó diferencias con el tratamiento donde se eliminó completamente la cobertura (Figura 81).

Durante los primeros 20 meses de edad del cultivo el manejo integrado de arvenses no causó interferencia sobre el índice de área foliar del cultivo (IAF), siendo igual al alcanzado en el tratamiento sin cobertura.

La interferencia de las arvenses presentó un comportamiento lineal similar al propuesto por Cousens (1985), las arvenses que más interfirieron con el cultivo fueron *Emilia sonchifolia* y *Paspalum paniculatum* a partir del 25% del nivel de cobertura. Las arvenses *Commelina* sp. y *Bidens pilosa* no se diferenciaron del MIA (Figura 82) (Salazar e Hincapié, 2009).

Umbrales para el manejo de arvenses

Un umbral se define 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 y 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 requieren de control, debido a que algunos niveles de estos, en un momento dado, pueden llegar a ser tolerados por el cultivo (Higley y Pedigo, 1997).

Umbral de daño. Es el término usado para definir la población de arvenses en la cual se detecta una respuesta negativa en el rendimiento del cultivo.

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.

Umbral de acción. Es el punto en el cual se debe iniciar alguna acción de control y usualmente incluye consideraciones económicas y factores menos tangibles como la estética del cultivo y las presiones sociológicas (Coble y Mortensen, 1992).

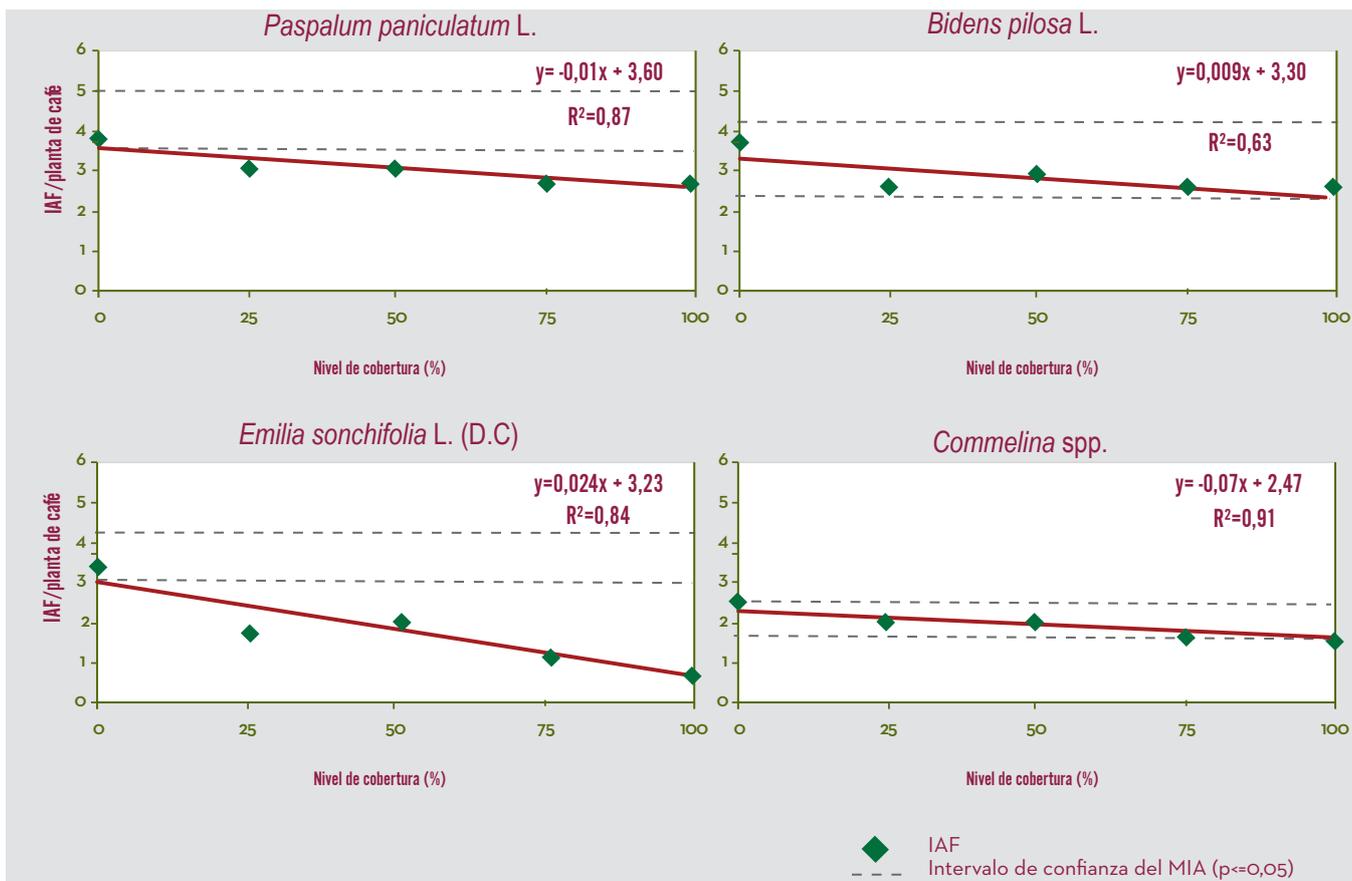


Figura 82. Efecto de la interferencia de arvenses sobre el Índice de Área Foliar (IAF) del cultivo del café, 20 meses después de trasplante.

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.

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. Puede obtenerse mediante la Ecuación <5> (Mortensen y Coble, 1997).

$$\tau E = \frac{Ch + Ca}{YPLH_E}$$

<5>

Donde:

tE: 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 (tE). De manera inversa, incrementos en el rendimiento del cultivo, su valor, la eficacia del tratamiento o las pérdidas de cultivo por unidad de densidad de la 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 la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas) se realizó un experimento con el objetivo de conocer el grado de interferencia de cuatro arvenses: *Paspalum paniculatum*, *Commelina* spp., *Bidens pilosa* y *Emilia sonchifolia* con el cultivo de café (Salazar e Hincapié, 2009), en la cual se evaluaron cuatro niveles de porcentaje de cobertura de cada una (25%, 50%, 75% y 100%), y dos épocas de interferencia de 0 a 4 años y de 2 a 4 años. Se encontró que las arvenses interfirieron de manera permanente desde el trasplante hasta los cuatro años de edad del cultivo y se observaron reducciones en

los rendimientos del cultivo del café hasta del 66%; sin embargo, las reducciones fueron mayores en cultivos con *E. sonchifolia*, seguida por *P. paniculatum*, *Commelina* spp. y *B. pilosa*. De los dos a los cuatro años de establecido el cultivo la interferencia fue significativa, pero con menor reducción de los rendimientos que de cero a dos años (Figuras 83 a 86).

Al realizar un ejercicio, en el cual se parte de un umbral económico supuesto de 85 @ ha⁻¹ de c.p.s, con un valor en pesos semejante al del manejo de arvenses durante 4,5 años; se tiene que el café toleraría durante cuatro 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 dos años, el cultivo toleraría niveles de 40%, 30%, 40% y 100% de las mismas arvenses, respectivamente (Figura 83).

Las cuatro arvenses tuvieron efecto en la producción. Las pruebas de curvilinearidad demostraron una tendencia lineal de las arvenses *Commelina*, *E. sonchifolia* y *P. paniculatum* y una tendencia cuadrática de la especie *B. pilosa* (Figura 84). La tendencia cuadrática en los estudios de interferencia entre comunidades de plantas se explica por la interferencia intraespecífica que se presenta entre algunas poblaciones (Cousens, 1985). Una densidad de población alta puede, en casos específicos, disminuir la capacidad de interferencia de la población. El comportamiento lineal es más frecuente y demostrado por diferentes autores, el valor del parámetro de la pendiente ofrece una idea del grado de interferencia de una especie respecto a otras, dichos valores fueron 5,7, 4,5, 3,9 y 2,1 para *E. sonchifolia*, *P. paniculatum*, *Commelina* spp., y

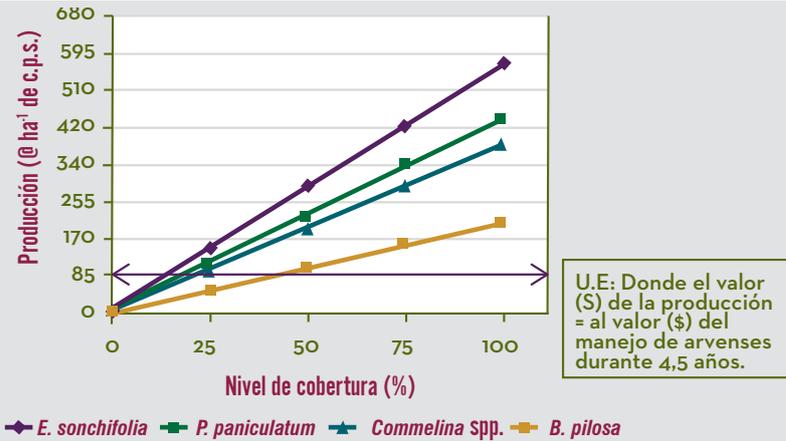


Figura 83.

Reducción estimada del rendimiento del cultivo del café por el efecto de la interferencia de arvenses desde la siembra hasta los cuatro años de edad del cultivo (promedio acumulado de cuatro cosechas).

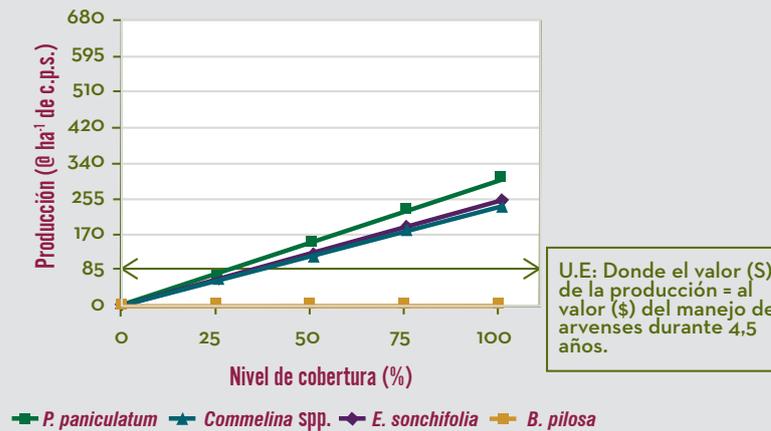


Figura 84.

Reducción estimada del rendimiento del cultivo del café por el efecto de la interferencia de arvenses desde los dos hasta los cuatro años de edad del cultivo (promedio acumulado de cuatro cosechas).

B. pilosa, respectivamente. La arvense *E. sonchifolia* al 100% redujo la producción de café hasta el 60% en el acumulado de cuatro cosechas.

Para ayudar al lector en el reconocimiento de algunas de las arvenses más frecuentes en el cultivo de café en Colombia, por su grado de interferencia, se presentan las Figuras 87 a 91.

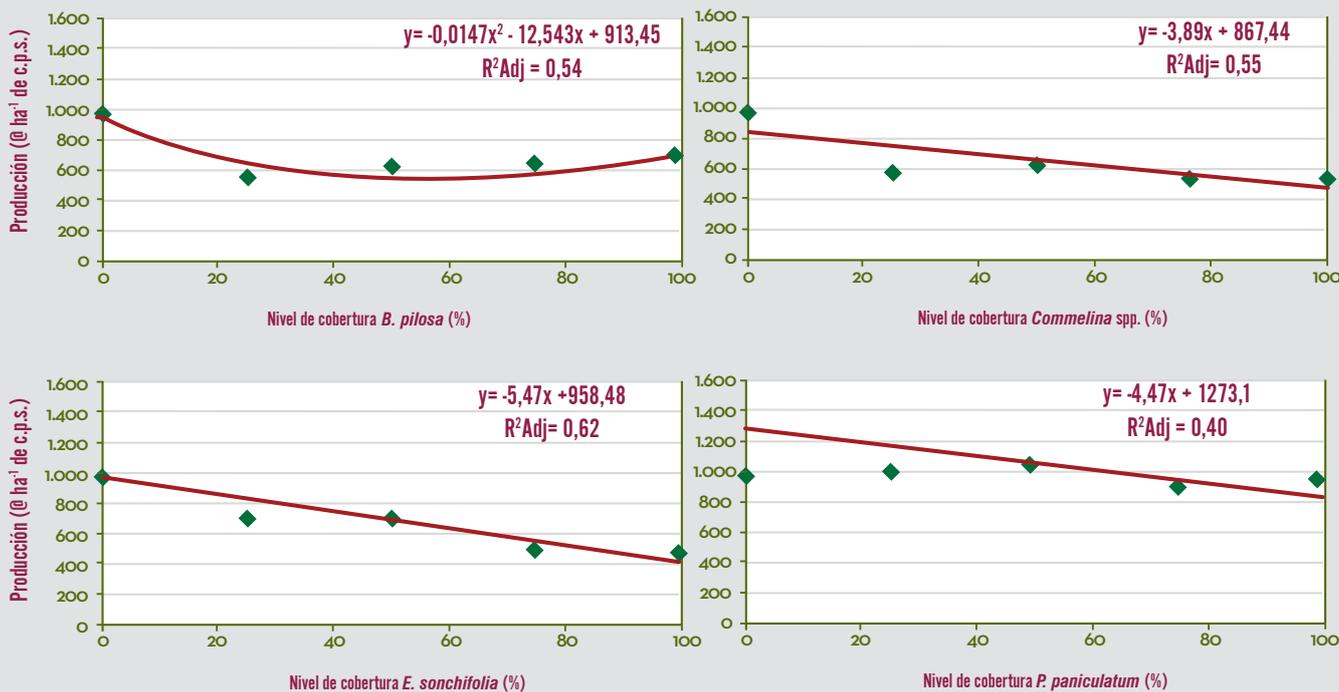


Figura 85. Efecto de la interferencia desde cero hasta cuatro años de edad del cultivo, de cuatro arvenses en diferentes niveles de cobertura, sobre la producción acumulada de café.

$R^2 \text{Adj}$ = Coeficiente de determinación ajustado

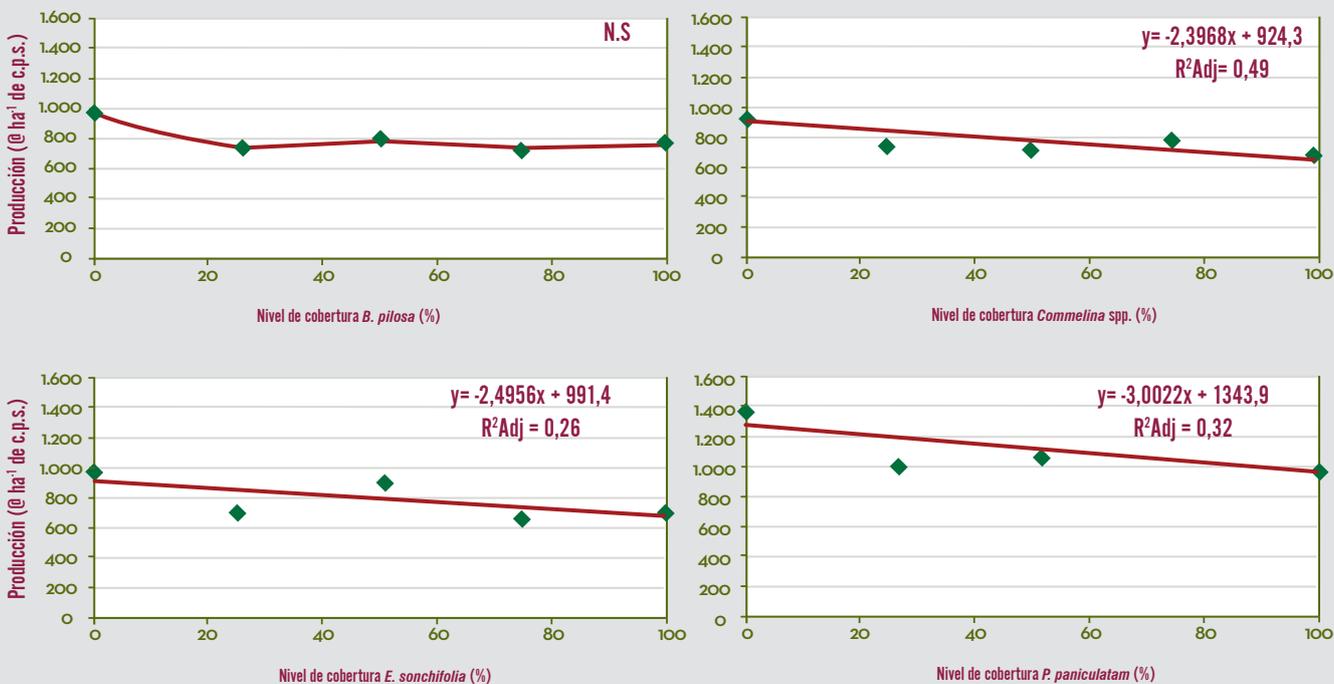


Figura 86. Efecto de la interferencia desde los dos hasta los cuatro años de edad del cultivo, de cuatro arvenses en diferentes niveles de cobertura, sobre la producción acumulada de café.

$R^2 \text{Adj}$ = Coeficiente de determinación ajustado



a.

Cynodon dactylon



b.

Paspalum paniculatum



c.

Eleusine indica



d.

Panicum maximum



e.

Digitaria horizontalis



f.

Panicum laxum



g.

Cyperus odoratus



h.

Sida acuta



i.

Pteridium aquilinum



j.

Ipomoea trifida



k.

Ipomoea purpurea



l.

*Pseudoelephantopus
spicatus*



m.

Emilia sonchifolia



n.

Talinum paniculatum



ñ.

Conyza bonariensis



o.

Momordica charantia



p.

Cissus verticillata



q.

Ipomoea hederifolia



r.

Gurania makoyana



s.

*Melothria
guadalupensis*

Figura 87.
Algunas arvenses de
interferencia alta con
el cultivo del café.



a.

Cuphea racemosa



b.

Cyatula achyranoides



c.

Euphorbia heterophylla



d.

Ageratum conyzoides



e.

Erechthites valerianifolius



f.

Canna coccinea

Figura 88.

Algunas arvenses de interferencia media con el cultivo de café.



a.

Galisonga ciliata



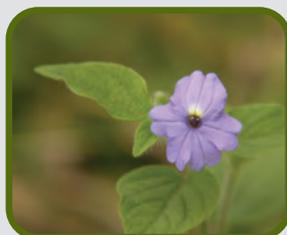
b.

Impatiens balsamina



c.

Impatiens balsamina



d.

Browalia americana



e.

Brassica alba



f.

Synedrella nodiflora

Figura 89.

Algunas arvenses de interferencia baja con el cultivo de café.



Figura 90.

Algunas arvenses de interferencia muy baja con el cultivo de café (Arvenses nobles).



a.
Anredera cordifolia



b.
Echinochloa crus-galli



c.
Thunbergia alata



d.
Rottboellia exaltata

Figura 91.
Algunas arvenses
potencialmente
agresivas en el
cultivo de café.





Manejo de arvenses en los sistemas de producción de café

Luis Fernando Salazar Gutiérrez *

Édgar Hincapié Gómez **

Hernán Darío Menza Franco ***

Fabio Alexis Torres Angarita ****

- * Investigador Científico I. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2302-4825>
- ** Ph.D. Investigador de Suelos y Aguas. Programa de Agronomía. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicaña. <https://orcid.org/0000-0002-1722-791X>
- *** Asistente de Investigación, Disciplina de Experimentación. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1166-2395>
- **** Asistente de Investigación, Disciplina de Fitotecnia, (hasta junio de 2019). Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-6722-7248>

Salazar-Gutiérrez, L., Hincapié, E., Menza, H. D., & Torres, F. A. (2020). Manejo de arvenses en los sistemas de producción de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 150-196). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_5



El objetivo fundamental del manejo de arvenses en los sistemas productivos es disminuir la interferencia de estas y al mismo tiempo proporcionar 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 medioambiente y el hombre, tales como: la erosión y calidad de los suelos, el aire y las aguas, el efecto en la biodiversidad, 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 en la salud y la vida del hombre.

Métodos para el manejo de arvenses

Prevención de la infestación

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 las arvenses en áreas donde normalmente no se presentan; la prevención puede realizarse de forma regional 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. Esta medida toma mayor importancia para prevenir la dispersión de arvenses resistentes a los herbicidas, por ejemplo, *Conyza bonariensis* (venadillo) y *Eleusine indica* (pategallina) en cultivos de café.

Prácticas de cultivo

Incluye todas aquellas prácticas que, al ser implementadas en forma eficiente, contribuyen al desarrollo vigoroso de la plantación, de tal manera que pueda competir 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 cultivo.
- ♦ 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.
- ♦ Fertilización según el análisis de suelo.
- ♦ Altas densidades de siembra acorde con la variedad y las condiciones agroecológicas.
- ♦ Cubrimiento de las calles del cultivo con coberturas nobles.

Manejo manual de arvenses

Es el método más recomendado en la etapa de almácigos del cultivo del café, donde deben realizarse controles muy frecuentes, para evitar la interferencia en esta etapa y así evitar el crecimiento rápido de las arvenses y, por ende, su competencia.

Este método es también recomendable para el manejo de arvenses en la zona de raíces o plato de las plantas de café,

en la etapa de levante (menor a un año). En las calles del cultivo este método es viable en lotes y fincas pequeñas que dependen de mano de obra familiar. Es también recomendado en los sistemas de producción de café orgánico. Cuando existen arvenses de difícil control por otros métodos, como el caso de la especie *C. bonariensis*, el control manual es una alternativa viable, incluso para manejo en grandes extensiones. También se emplea en el control de arvenses enredaderas y parásitas.

Manejo mecánico de arvenses

Se realiza mediante herramientas de corte (manuales o motorizadas) y 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 para evitar la erosión; este método de control debe hacerse cortando las arvenses a una altura de 3 a 5 cm del suelo. Se debe evitar el manejo mecánico en la zona de raíces del cultivo de café, debido al daño que se puede causar al tallo y a las raíces, lo cual favorece la infección por enfermedades al café.

Manejo químico de arvenses

Este método se basa en la utilización de herbicidas químicos para el manejo de las arvenses. 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). Es una herramienta utilizada para el manejo de arvenses, pero no es la única ni 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); sin embargo, desde hace más de 30 años no se producen ingredientes activos (Duke, 2012).

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 designación arbitraria. Se usa para nombrar 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 y 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 y cuando se hace referencia a la dosis del ingrediente activo debe usarse el nombre técnico.

Clasificación de los herbicidas

Según la época de aplicación los herbicidas pueden ser:

Herbicidas preemergentes. Se aplican después de la siembra del cultivo pero antes que germinen las arvenses, por ejemplo: el diuron y el oxyfluorfen son herbicidas que desnudan el suelo y tienen un alto poder residual. Estos productos forman una barrera química sobre el suelo que impide la germinación de las arvenses.

Se recomienda usar los herbicidas preemergentes como oxyfluorfen, 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 el café, cítricos y cacao, pueden ser susceptibles a la fitotoxicidad por la aplicación de herbicidas preemergentes como el diuron (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 amina.

Herbicidas de contacto. Son aquellos cuyo efecto sobre la arvense ocurre casi inmediatamente. El producto llega a las primeras células de las hojas o a los puntos meristemáticos, sean del tallo o de la raíz, y actúan solamente en este sitio. Un ejemplo de estos herbicidas son, el paraquat y el diquat que a la vez son desecantes de plantas, y el glufosinato de amonio que, a pesar de tener cierta acción sistémica, tiene una actividad tan rápida que actúa como un herbicida de contacto.

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 apoplasto. Tienen la ventaja que en bajos volúmenes de aplicación y en dosis adecuadas favorecen 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-butil selectivo a arvenses de hoja angosta (gramíneas), 2,4 D amina, selectivo a arvenses de hoja ancha y el glifosato, el glufosinato de amonio y el paraquat, entre otros.

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 la efectividad en el control, por consiguiente, la época y la 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 de aspersion debidamente calibrados, utilización de la boquilla y presión adecuada de acuerdo al producto que se aplique, utilizar filtros preboquillas y reguladores de presión.
- ◆ La calidad del agua usada para la preparación de la mezcla a aplicar. 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 y no deben utilizarse aguas que contengan sedimentos de suelo, pues la materia orgánica y las arcillas son coloides que adsorben los productos, afectando así la acción del herbicida.
- ◆ La cantidad de agua que se usa en la mezcla es un aspecto que debe tenerse en cuenta ya que, el uso de cantidades inadecuadas puede afectar la uniformidad en la aplicación o disminuir la retención de la solución por las hojas. La cantidad de agua la determina la etapa del cultivo en la cual debe hacerse la aplicación. Para aplicaciones de herbicidas preemergentes son suficientes de 150 a 250 L de agua por hectárea; en aplicaciones de herbicidas postemergentes se recomienda una mayor cantidad de agua, de 200 a 300 L ha⁻¹, para lograr un cubrimiento uniforme del follaje. Los herbicidas sistémicos deben aplicarse con menos cantidad de agua (200 L ha⁻¹) y los de contacto en mayor cantidad (300 L ha⁻¹). 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 lo tanto, deben tenerse en cuenta para aplicar el producto en el momento más indicado. Debe considerarse la

humedad del suelo, al momento de hacer la aplicación; si se aplican herbicidas pre-emergentes es necesario que el suelo esté a capacidad de campo. El rocío contribuye a la redistribución del herbicida sobre la superficie de la planta haciendo más eficiente su penetración 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 tres o cuatro horas siguientes a la aplicación se presentan lluvias, esto debido a la alta solubilidad del producto.

- ♦ Con referencia al viento es preferible no efectuar aplicaciones cuando la velocidad del viento sea mayor a 10 km h⁻¹; también, es necesario determinar la dirección del viento para evitar que un herbicida cause toxicidad a cultivos vecinos.
- ♦ La temperatura elevada influye en las aplicaciones de herbicidas en varios aspectos:
 - Aumenta 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 translocación del herbicida (proceso de absorción foliar).

- Inactiva los herbicidas por volatilización.
- Se 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 amina. Por el contrario, las bajas temperaturas reducen la tasa de crecimiento de las arvenses, lo que hace más lenta la acción del herbicida, por lo 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 translocación 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 porque 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).

Complejo de arvenses

Es importante tener en cuenta el complejo de arvenses existente al seleccionar el herbicida, ya que ningún herbicida selectivo 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 92).

Por ejemplo, el momento más oportuno para el control de *C. bonariensis* es cuando la planta tiene una altura entre 10 a 15 cm (Salazar y Menza, 2018).

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 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 de 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 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 a nivel mundial. En algunos predios productivos de la zona cafetera colombiana 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 herbicida por más de 30 años, las aplicaciones en forma generalizada, la calibración poco técnica de equipos y la utilización del método químico como única alternativa de control.

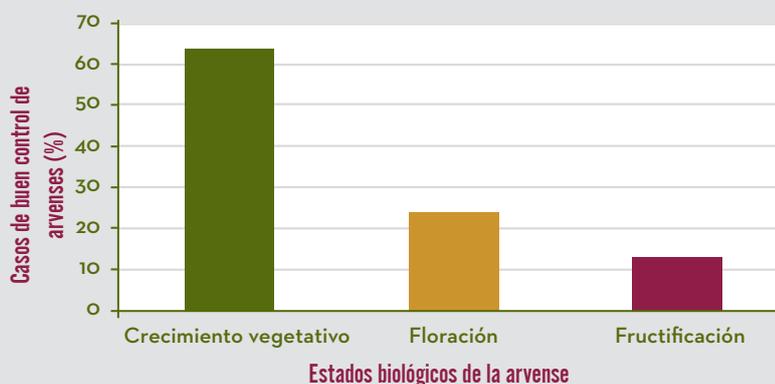


Figura 92.

Estado biológico para el control eficaz de arvenses (Hoyos, 1990).

¿Sabía que?

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 dicotiledóneas y 70 monocotiledóneas), en 59 países (Heap, 2005b). En el año 2018, registró 490 biotipos de arvenses resistentes, 254 especies diferentes, en 70 países (Heap, 2018). Desde 1996 hasta el 2018, se han reportado en el mundo 41 especies de arvenses y entre ellas están *Conyza bonariensis* y *Eleusine indica*, presentes en cafetales en Colombia, las cuales son resistentes al glifosato.

En investigaciones realizadas en Cenicafé, Menza (2006) y Menza y Salazar (2006) encontraron que las especies *Eleusine indica* y *C. bonariensis* han adquirido resistencia al glifosato, al comparar el control de un biotipo 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 (más de cuatro veces por año, durante más de diez años) en Chinchiná y Palestina, en el departamento de Caldas (Biotipos Fincas A, B y C) (Figuras 93 y 94).

Prevención y manejo de la resistencia.

Dentro de las recomendaciones para prevenir la resistencia pueden citarse:

- ♦ 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).
- ♦ Mezcla y 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, Menza y Salazar, 2007):

- ♦ Evitar el uso del herbicida al que se ha confirmado la resistencia, salvo que se utilice en mezcla con otros herbicidas 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.
- ♦ Implementar un programa de manejo integrado de arvenses para evitar

Figura 93.

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.

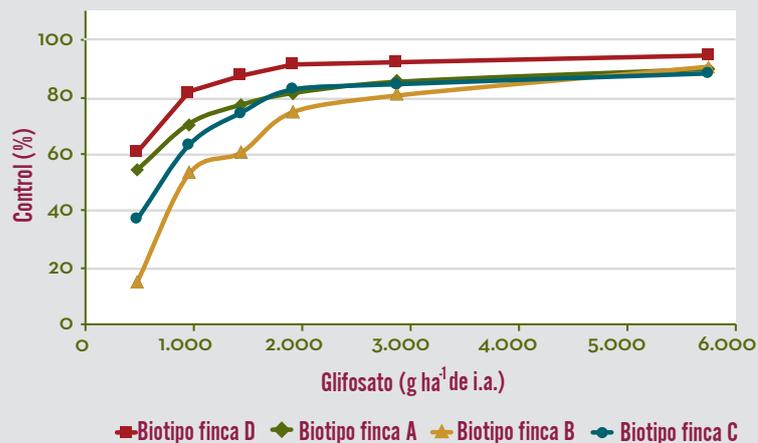
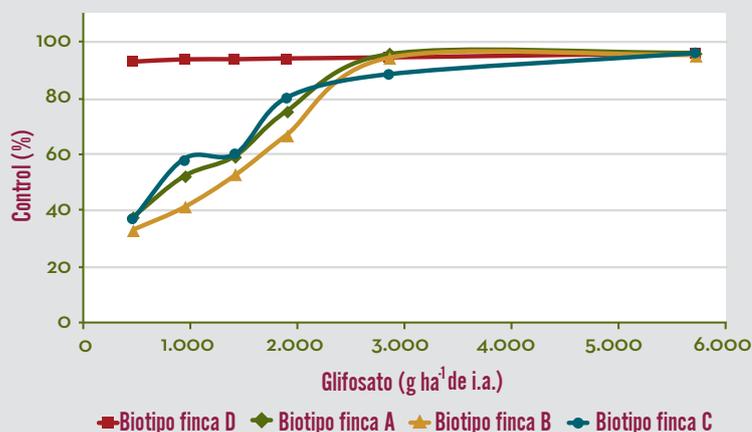


Figura 94.

Control en biotipos de *C. bonariensis* con dosis crecientes de glifosato, 21 días después de realizada la aplicación. Plantas bajo condiciones controladas en casa de mallas.



que otras especies sigan adquiriendo resistencia a los herbicidas.

Daños a cultivos por fitotoxicidad

Cuando el manejo químico de las arvenses no se hace en forma técnica 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 se presenta fitotoxicidad por herbicidas (Figura 95) es muy poco o casi nada lo que puede hacerse para corregirlo, por lo tanto, es importante tomar las precauciones necesarias para reducir los riesgos de daño.

Los daños al cultivo de café debido a los herbicidas generalmente se deben a varios factores, los cuales deben ser tenidos en cuenta antes de la aplicación (Galvis y Salazar, 2009). Como por ejemplo:

- ♦ Hacer aplicación de herbicidas sobre arvenses en estado avanzado de desarrollo, las cuales sobrepasen la altura del cultivo.
- ♦ Aplicación de herbicidas bajo condiciones adversas de clima (vientos).
- ♦ Aplicaciones de herbicida en forma generalizada y reiterada.
- ♦ Equipos de aplicación mal calibrados y en mal estado.
- ♦ Sobredosificación del producto.
- ♦ Mezcla inadecuada de herbicidas y coadyuvantes.
- ♦ Deficiencia o ausencia de mantenimiento de los equipos de aplicación.
- ♦ Operarios mal capacitados o sin conocimiento de la labor.

La fitotoxicidad en café por derivas de glifosato, causa defoliación, retraso del crecimiento y síntomas de deficiencia nutricional (Galvis y Salazar, 2009).

Eficacia y persistencia del manejo de arvenses en cafetales con diferentes herbicidas

Entre los años 1960 y 1980 la exploración de nuevas moléculas para el control de

arvenses en café era frecuente (Gómez et al. 1987). Desde la llegada de glifosato en los años 1970 a 1980 disminuyó la búsqueda de otras moléculas para el control de arvenses en el cultivo del café. Actualmente, con la evolución de la resistencia de las arvenses a los herbicidas (Heap, 2018) se observa que las herramientas son escasas. Desde la década de 1980 los herbicidas más empleados en la zona cafetera han sido: glifosato (84,7%), paraquat (13,1%) y oxyfluorfen (10,9%) (Herrera, 1983). Entre tanto, Tabares (1989) encontró que en el 74% del área con cafetales tecnificados ya aplicaban herbicidas al finalizar la década de 1980, lo que plantea una adopción generalizada de estos por los caficultores de áreas medianas y grandes en la región cafetera central de Colombia.

Las investigaciones de Cenicafé han demostrado que el glifosato es el herbicida más eficiente para el manejo de arvenses en cultivos de café debido a su alta persistencia y su eficacia hasta del 90% (Tabla 30); sin embargo, su uso generalizado e irracional puede ocasionar erosión, contaminación del ambiente, fitotoxicidad a los cultivos, toxicidad al hombre y la resistencia de arvenses al mismo.

Herbicidas actualmente recomendados en el cultivo del café en Colombia

Postemergentes de amplio espectro

Acción sistémica: Glifosato: Sal isopropilamina 480 g L⁻¹ en dosis de 2,0 a 3,0 L ha⁻¹.

Acción de contacto: Glufosinato de amonio 150 g L⁻¹, en dosis 1,5 L ha⁻¹. Paraquat: Dosis de 1,0 a 1,5 L ha⁻¹.

Figura 95. Síntomas de fitotoxicidad por glifosato en café. a) Después de 15 días de la aplicación; b) Después de 90 días de la aplicación (Galvis y Salazar, 2009).



a.



b.

Tabla 30.

Eficacia y persistencia del control de arvenses en el cultivo de café 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 urea	80	82	89	76
paraquat 200 + diurón 800	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

Postemergentes selectivos

Hoja ancha: 2,4-D Amina 480 g L⁻¹ en dosis de 2,5 L ha⁻¹. Casos puntuales en café para arvenses resistentes o tolerantes a glifosato como *C. bonariensis* y arvenses enredaderas.

Gramicidas: Fluazifop – p – butil: 1,0 a 1,5 L ha⁻¹.

Preemergentes

Para uso únicamente en la zona de raíces o platos del cultivo del café

Oxyfluorfen: 240 g L⁻¹, en dosis de 3,0 a 4,0 L ha⁻¹.

Diurón: 800 g kg⁻¹ de i.a, en dosis de 2,0 kg ha⁻¹.

Pendimetalina: 400 g L⁻¹, en dosis de 2,0 L ha⁻¹.

Control químico de arvenses resistentes a glifosato o de difícil manejo en cafetales

Las arvenses *E. indica* (pategallina) y *C. 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 frecuencia mayor de *Emilia sonchifolia* (emilia) en las fincas donde realizan aplicaciones de este herbicida en forma continua y generalizada (Menza, 2006; Menza y Salazar, 2006).

En una investigación realizada en Cenicafé, se evaluaron tres herbicidas con mecanismos de acción diferentes al del glifosato, así como un coadyuvante para mejorar la eficiencia de los herbicidas; el glifosato se evaluó como tratamiento testigo o punto de referencia. Los herbicidas fluazifop -p- butil y glufosinato de amonio fueron las alternativas químicas (diferentes al glifosato) más eficientes para el control de *E. indica* (Tabla 31). El herbicida 2, 4-D amina, el herbicida glufosinato de amonio y la mezcla glifosato + 2, 4-D amina, fueron las alternativas químicas más eficientes para el control de *C. bonariensis* (Tabla 32). El glifosato es el herbicida con el cual se obtuvo un eficiente control (> 90%) de *E. sonchifolia*. La mezcla de glifosato con el 2, 4-D amina, puede ser otra alternativa para el control de *E. sonchifolia* en condiciones de la Región Cafetera Central (Tabla 32).

Existen otras alternativas con mecanismos de acción diferentes al glifosato para el control eficiente de las arvenses

estudiadas, 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.

Panicum laxum conocido como paja morada por los caficultores de la zona cafetera Central, es una arvense considerada de interferencia alta en el cultivo del café en Colombia. Los mismos agricultores han reportado la dificultad para su manejo con glifosato. Con fluazifop -p- butil a los 15 días después de la aplicación se alcanzó el valor promedio más alto de control (89%), lo cual coincidió con la mejor calificación por parte del agricultor como buen control (B) (Tabla 33). El paraquat fue el herbicida de contacto más eficaz a través del tiempo, al lograr un control de la arvense hasta del 74%, recibió una calificación buena (B) por parte del agricultor ocho días después de la aplicación (Salazar e Hincapié, 2013).

En el cultivo del café en condiciones de la zona cafetera central, en la Estación Experimental La Catalina, el control de arvenses con glufosinato de amonio 150 g L⁻¹ no presentó diferencias estadísticas respecto al control alcanzado con glifosato hasta los 28 días después de su aplicación. El tratamiento más persistente en el tiempo fue el glifosato, debido a su acción sistémica y de amplio espectro.

Tabla 31.

Control de *E. indica* con los diferentes tratamientos de herbicidas (Menza, 2006; Menza y Salazar, 2006).

Tratamientos herbicidas	Control (%)*	C.V.
glifosato	54,8 c	38,2
fluazifop -p- butil	75,2 ab	13,9
glufosinato de amonio	62,5 bc	9,7
glifosato + coadyuvante	61,0 bc	51,8
fluazifop -p- butil + coadyuvante	88,0 a	2,8
glufosinato de amonio + coadyuvante	77,8 ab	12,8

*Letras distintas indican diferencias entre promedios según la prueba Duncan al 5%.

Tabla 32.

Control de *Conyza bonariensis* y *Emilia sonchifolia* con los diferentes tratamientos de herbicidas (Menza, 2006; Menza y Salazar, 2006).

Tratamientos herbicidas	<i>Conyza bonariensis</i>		<i>Emilia sonchifolia</i>	
	Control (%)*	C.V.	Control (%)*	C.V.
glifosato	6,8 b	65,6	91,5 a	2,7
2, 4-D amina	96,7 a	4,8	30,2 c	80,3
glufosinato de amonio	79,6 a	38,0	40,1 c	87,1
glifosato + 2, 4-D amina	96,8 a	2,1	70,9 ab	5,8
glifosato + coadyuvante	11,5 b	60,5	84,2 ab	13,3
2, 4-D amina + coadyuvante	94,3 a	3,7	56,3 bc	36,9
glufosinato de amonio + coadyuvante	87,2 a	22,5	31,8 c	54,9
glifosato + 2, 4-D amina + coadyuvante	95,1 a	2,2	66,8 ab	35,5

*Letras distintas indican diferencias entre promedios según la prueba Duncan al 5%. C.V.: coeficiente de variación

Tabla 33.

Calificación del control de paja morada *Panicum laxum* por el agricultor.

	8 dda	15 dda	21 dda
glifosato (selector)	M	M	M
fluazifop -p- butil	R	B	B
diquat	R	M	M
glufosinato de amonio	B	M	M
paraquat	B	R	R
glifosato (aspersión)	M	M	M

E: Excelente, B: Bueno, R: Regular, M: Malo (criterio del agricultor). dda: días después de la aplicación.

Este tratamiento alcanzó valores de control entre el 91% y el 94%, a los 35 días después de su aplicación, y superó a los demás tratamientos, en este período de evaluación (Tabla 34).

Manejo Integrado de Arvenses (MIA)

La filosofía del Manejo Integrado de Arvenses (MIA) es favorecer el predominio de arvenses de baja interferencia y de fácil manejo, y reducir las poblaciones de arvenses de alta interferencia; lo anterior para contribuir al establecimiento de coberturas y, por ende, a la conservación del suelo y el ambiente, sin afectar la productividad del cultivo y 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, el mecánico, el químico y el biológico.

Gómez (1990b) midió la erosión como el efecto de la desyerba de cafetales con azadón, machete y herbicidas bajo la modalidad de MIA. A partir del tercer año el cultivo se cerró y después de esta época se requirieron solamente parcheos esporádicos para controlar algunas arvenses. También se observaron pérdidas de suelo por erosión por debajo del nivel de tolerancia (1,0 t ha-año⁻¹).

A partir de estas investigaciones sobre el MIA se obtuvieron las siguientes consideraciones:

Tabla 34.

Intervalos promedio de control de arvenses (%) en el cultivo del café con diferentes tratamientos (López et al., 2012).

Tratamiento	Dosis/ha	Período después de la aplicación (días)			
		15	21	28	35
Cobertura muerta (%)					
glufosinato de amonio 150 g L ⁻¹	1,5	81 – 88 A	85 – 91 B	86 – 93 A	78 – 85 B
glufosinato de amonio 150 g L ⁻¹	2,0	83 – 89 A	85 – 90 B	83 – 93 A	79 – 86 B
glifosato	2,0	88 – 92 A	86 – 90 B	89 – 92 A	91 – 94 A
glufosinato de amonio 150 g L ⁻¹ y glifosato alternados en el tiempo	2,0	78 – 92 A	92 – 97 A	91 – 96 A	76 – 88 B

Intervalos de confianza promedio obtenidos a partir de 12 repeticiones por tratamiento, seis lecturas por repetición y tres aplicaciones en el tiempo. Valores con letras iguales no presentan diferencias estadísticas.

Para el desarrollo normal del cafeto, los dos primeros años son críticos desde el punto de vista del 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 el 95% y el 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 al nivel mundial

Mortensen y Coble (1997) hacen un repaso general sobre las estrategias más importantes para el manejo de arvenses y analizan en ellas su factibilidad ambiental y económica, así:

Erradicación. Es la eliminación total de arvenses en el campo, convirtiéndose en una práctica costosa y benéfica sólo

a corto plazo (en términos prácticos puede decirse que esta medida es casi imposible).

Profilaxis. Es una estrategia segura que incluye la aplicación de herbicidas preemergentes al suelo; este manejo puede causar detrimento de la calidad ambiental y desproteger los suelos, además que ocurre desperdicio de herbicidas y dinero. En café esta práctica puede ser útil en las etapas de almácigo y crecimiento vegetativo, en esta última, solamente en la zona de raíces del árbol (plato).

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 MIA 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 del cultivo. Esta labor debe realizarse manualmente en siembras nuevas y zocas de café hasta el primer año del cultivo; posteriormente puede hacerse mediante la aplicación de glifosato con el empleo del selector de arvenses. También puede realizarse en siembras nuevas y zocas de café con herbicidas preemergentes como el oxyfluorfen, lo cual brinda alta efectividad y persistencia en el control de arvenses de manera rentable.

Control manual. Esta práctica se realiza cuando en los cultivos se encuentren arvenses agresivas de difícil control por otros métodos, entre ellas: *C. bonariensis* (venadillo), *Echinochloa* sp. (arrocillo), *Talinum paniculatum* (verdolaga grande) y *Colocasia esculenta* (bore), arvenses enredaderas y parásitas, entre otras.

Control mecánico de arvenses. El control mecánico de las arvenses entre los surcos se realiza al tener en cuenta que, en los cultivos de café en etapa de levante, las arvenses no sobrepasen los 15 cm de altura y los 20 cm en cultivos en producción. Este control se realiza por medio de machete o guadañadora, al cortar las arvenses a una altura de 3 a 5 cm del suelo, sin dejar el suelo libre de coberturas.

Parcheos selectivos. Esta labor se realiza sobre las arvenses de interferencia alta y media, una vez estas alcanzan una altura aproximada de 15 cm; para ello se utiliza el equipo selector de arvenses, al aplicar el herbicida glifosato (concentración comercial de 480 g L⁻¹ de i.a.) a una concentración de la mezcla herbicida: agua del 10%.

La integración de los anteriores sistemas de manejo promueve el establecimiento de las coberturas nobles a través del tiempo; cuando 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 alto grado de selectividad sobre las arvenses permite al agricultor realizar tratamientos remediales a sitios que excedan de manera económica los niveles de daño, por tal razón, la aplicación exitosa del MIA 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 desarrolló el selector de arvenses (Rivera, 1994), un equipo sencillo y liviano, diseñado para la aplicación de herbicidas sistémicos postemergentes, en forma selectiva, sobre las arvenses de alta interferencia.

En la Figura 96 se describen las partes del selector para el manejo de arvenses (Rivera, 2000).

El equipo consiste de una te construida en tubería PVC o polipropileno, de ¾" de diámetro interno, una altura de 1,30 m y ancho de 30 cm (Rivera, 2000).

Volumen inicial de aplicación de herbicidas con el selector de arvenses

Pruebas realizadas al variar el tamaño del equipo selector de arvenses determinaron

que la velocidad de salida de la mezcla del herbicida es independiente del tipo de selector utilizado, debido a que esta depende directamente del volumen inicial de la aplicación, de la altura y del peso de la columna de la solución herbicida. En la Figura 97, 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 97 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 del 74% de arvenses de hoja ancha con la aplicación de glifosato a una concentración del 9% (480 g L⁻¹ de i.a), y 87% de control de arvenses de hoja angosta a una concentración del 8% (Figura 98), alcanzando para ambos casos una persistencia de control de 41 días (Figura 99).

Efecto de la lluvia sobre la aplicación

Evaluaciones realizadas mediante la utilización de simulador de lluvias permitieron determinar que una lluvia de 60 mm h⁻¹ solo afecta el control si esta ocurre 30 minutos después de la aplicación del herbicida (Figura 100). Se encontró que una lluvia simulada de 60 mm h⁻¹, ocurrida 30 minutos después de la aplicación del herbicida, difiere estadísticamente del tratamiento testigo (sin lluvia). El mismo aguacero ocurrido después de una hora no afecta significativamente la eficacia del control.

Efecto del MIA sobre la producción del café

En un experimento realizado en Chinchiná (Caldas) en siembras nuevas de café variedad Colombia, establecidas a 2 x 1 m, dos plantas por sitio (Salazar e Hincapié, 2009), 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 35). Bajo las mismas condiciones experimentales en la Variedad Castillo® se encontró el mismo comportamiento en la producción (Tabla 36). 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)

Los costos siempre serán una inquietud y limitante para que el caficultor emprenda la adopción del MIA, al igual que las demás prácticas de conservación de suelos y aguas que se implementen, debe demostrarse la rentabilidad y efectividad en el tiempo.

Con el fin de evaluar las ventajas económicas del MIA, se compararon cinco sistemas de manejo de arvenses frecuentemente empleados por los caficultores (Tabla 37) con el manejo integrado de arvenses recomendado por Cenicafé; para ello, se seleccionaron cinco fincas cafeteras ubicadas en la zona cafetera central colombiana y en cada una de ellas se ubicaron dos parcelas, con un área que varió entre 0,25 y 0,50 ha cada una. En una parcela se llevó a cabo el manejo integrado de arvenses (MIA) y en la otra se realizó el manejo de arvenses que normalmente hace el agricultor (MT), consistente en manejo químico o mecánico

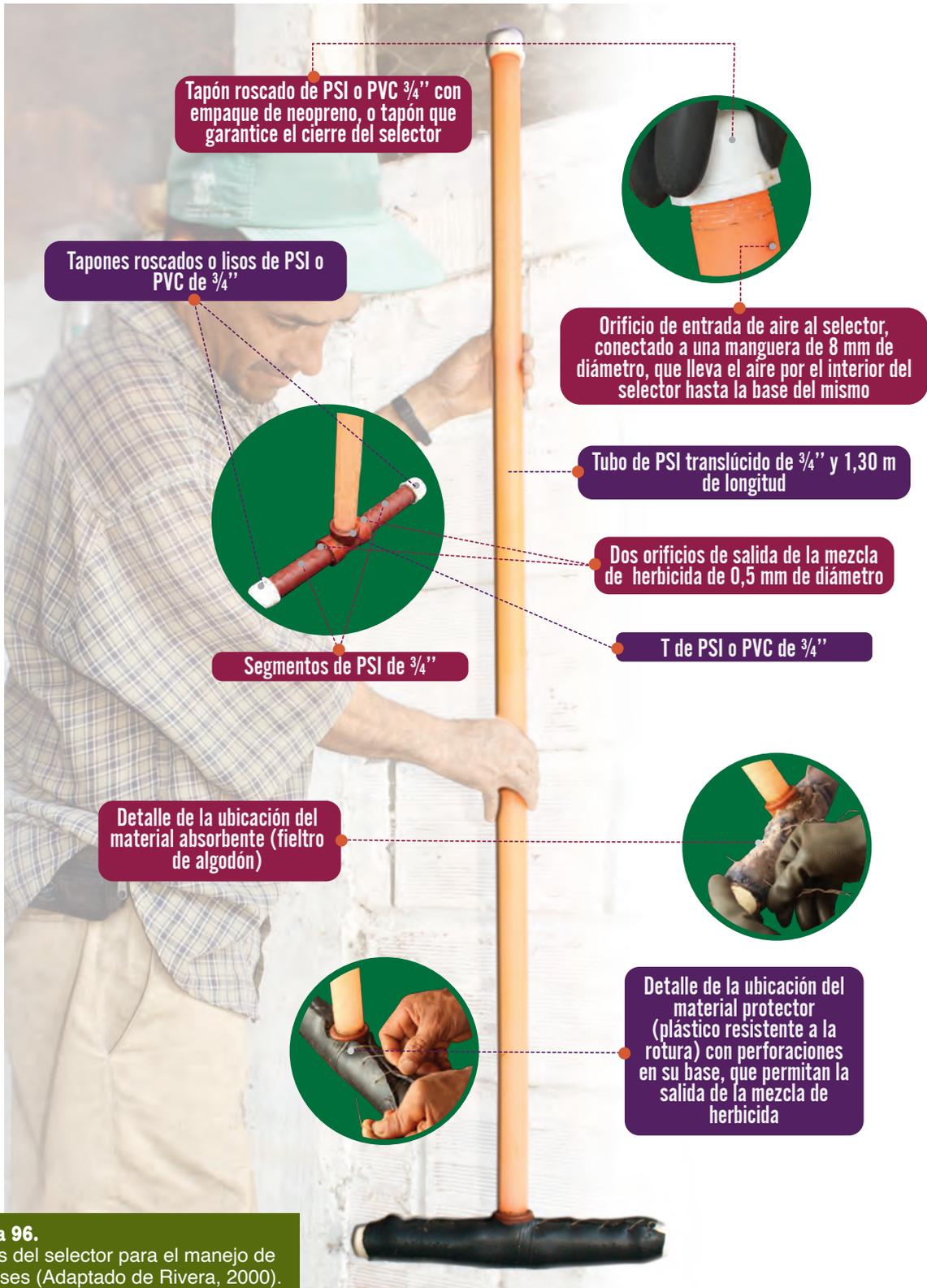


Figura 96.

Partes del selector para el manejo de arvenses (Adaptado de Rivera, 2000).

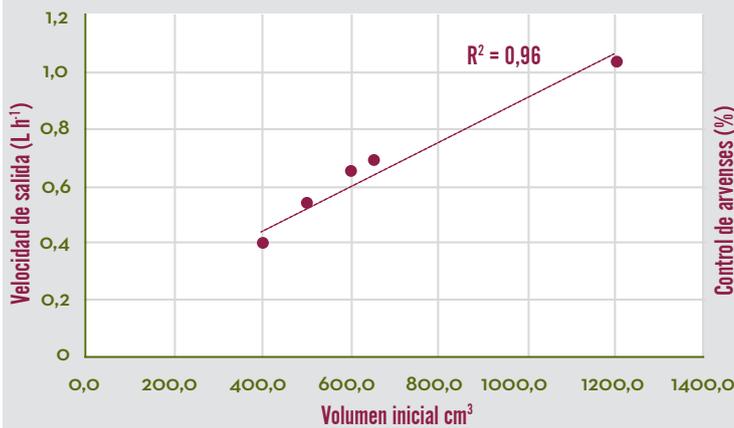


Figura 97.

Efecto del volumen inicial de aplicación sobre la velocidad de salida de la mezcla herbicida (glifosato 480 g L⁻¹ de i.a. al 10%).

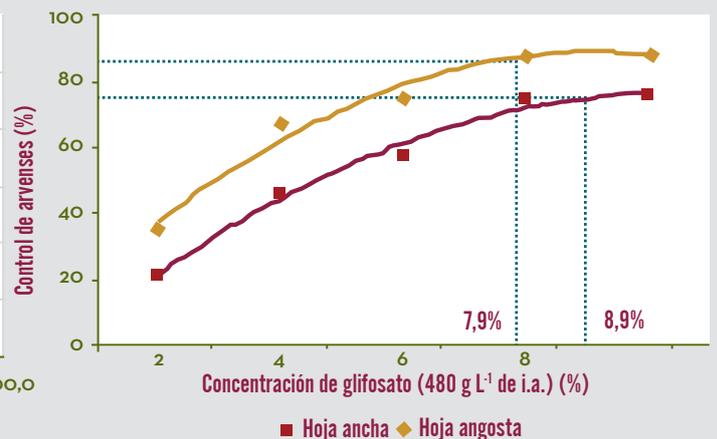


Figura 98.

Efecto de diferentes concentraciones de glifosato aplicadas con el selector de arvenses sobre la eficacia del control.

dejando el suelo sin coberturas (Hincapié y Salazar, 2007).

El estudio se realizó durante dos años, y como variable 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 estos disminuyeron en un 19,5% y en el segundo en un 47,0%. En la Tabla 38 se observan jornales e insumos requeridos para cada método de manejo de arvenses en los diferentes sitios estudiados. Se observa como la mano de obra e insumos requeridos durante los primeros dos años del cultivo fueron menores para el manejo integrado de arvenses. Con el MIA se logró reducir el uso de herbicida en 29% durante el primer año y hasta el 63% en el segundo año y también se logró la reducción en el uso del agua hasta el 95%, al compararlo con el manejo tradicional de arvenses. En cuanto a la mano de obra las reducciones con el MIA son del 24% y 42% durante el primer y segundo año del cultivo, respectivamente.



Figura 99.

Efecto de diferentes concentraciones de glifosato aplicadas con el selector de arvenses sobre la persistencia del control.

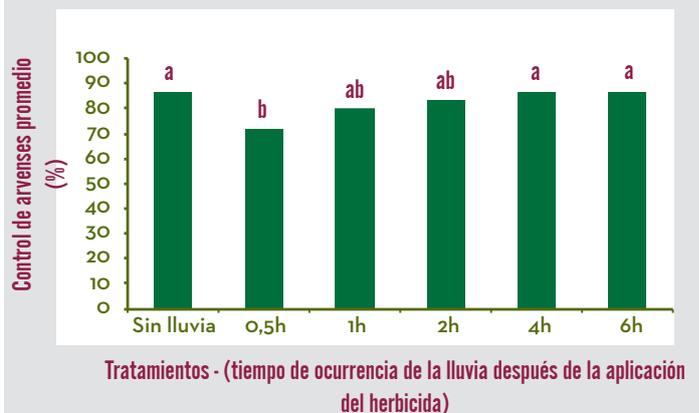


Figura 100.

Efecto de una lluvia simulada de 60 mm h⁻¹ sobre el control de arvenses con selector (Tratamientos acompañados con letras iguales no difieren estadísticamente).

Tabla 35.

Efecto del manejo integrado de arvenses (MIA) y el manejo del suelo libre de arvenses sobre la producción de café en la Estación Experimental Naranjal (Salazar e Hincapié, 2009).

Tratamientos	Producción de café pergamino seco (@ ha ⁻¹)				
	1ª Cosecha	2ª Cosecha	3ª Cosecha	4ª Cosecha	Acumulado
MIA	94,30 a*	454,80 a	452,90 a	154,10 a	1156,1 a
Manejo libre de arvenses	59,60 a	506,80 a	485,70 b	185,70 a	1237,8 a

*Valores seguidos de la misma letra son iguales estadísticamente.

Tabla 36.

Producción obtenida con diferentes tipos de cobertura en condiciones de la zona cafetera Central (Naranjal) (Salazar et al., 2012).

Tratamiento	Producción de café cereza (kg/parcela) 2007 - 2009
MIA	119,7 A*
Testigo libre de coberturas	123,0 A

*Valores seguidos de la misma letra son iguales estadísticamente.

Tabla 37.

Manejo tradicional de arvenses que realizó el caficultor en cada una de las fincas estudiadas (Hincapié y Salazar, 2007).

Localidad	Labores del manejo de arvenses hecho por agricultor
A	Un ploteo manual inicial, luego control químico general con glifosato, aplicado con equipo de aspersión y boquilla marcadora.
B	Ploteo manual, control mecánico con machete dejando totalmente desnudo el suelo y control químico general con glifosato aplicado con selector de arvenses.
C	Control mecánico con guadaña dejando totalmente desnudo el suelo y ploteo manual
D	Control mecánico con machete y químico general con glifosato aplicado con equipo de aspersión.
E	Control químico general con glifosato aplicado con equipo de aspersión.

En un año las labores del MIA fueron más frecuentes (7 a 11 veces) frente al manejo tradicional (cuatro a seis veces), lo que no se tradujo en mayores costos del MIA frente al manejo tradicional, ya que son más económicas y fáciles de realizar las desyerbas cuando son oportunas, además se reduce la ventaja competitiva de las arvenses frente al cultivo. Las desyerbas con machete o guadañadora que dejan el

suelo sin coberturas, son los componentes más costosos dentro del MIA, en tanto el control con machete rápido, sin desnudar el suelo es un componente importante para el establecimiento de arvenses de fácil manejo y baja interferencia, el cual debe ser complementado con el control químico por parcheos o focos (Hincapié y Salazar, 2007).

Tabla 38.

Jornales e insumos requeridos en cada tratamiento durante dos años.

Tratamiento	Año	Finca	Mano de obra	Insumos	
			Jornales/ha	Herbicida L ha ⁻¹	Agua L ha ⁻¹
MIA	1	A	41,47	11,29	113
		B	38,32	9,59	96
		C	30,50	9,02	90
		D	36,60	11,55	115
		E	25,80	9,33	93
	2	A	13,85	2,81	28
		B	25,68	3,17	32
		C	16,80	4,70	47
		D	19,08	4,00	40
		E	17,28	4,30	43
MT	1	A	38,44	18,36	2.367
		B	51,56	7,68	155
		C	54,27	-	-
		D	39,87	9,74	1.530
		E	45,00	18,50	2.695
	2	A	26,71	15,66	2.080
		B	40,71	5,44	70
		C	37,14	4,3	714
		D	39,70	-	-
		E	49,10	15,00	2.478

MIA: Manejo integrado de arvenses, MT: Manejo del agricultor.

*Las fincas corresponden a las localidades descritas en la Tabla 37.

En cuanto a la cobertura del suelo ejercida por las arvenses, en 66 muestreos en lotes cultivados con café en las regiones cafeteras Norte, Centro y Sur de Colombia (Cenicafé, 2013), se encontró un valor de 47% (+/-20%) de cobertura promedio del suelo por las arvenses. Los mayores valores de cobertura del suelo por las arvenses se registraron en sitios donde el manejo y control de estas se hizo de manera integrada, con valores promedio del 59%. La mayor diversidad de arvenses se alcanzó en cultivos donde se aplicó el MIA.

Otras opciones de manejo de coberturas

El maní forrajero (*Arachis pinto*) y las coberturas nobles, ambos establecidos en platos y calles, no afectaron el desarrollo y la producción del café, en condiciones de Chinchiná (Caldas), cuando se incluyeron dentro un programa de manejo integrado de arvenses, mientras que *Desmodium* spp. afectó negativamente el desarrollo de la planta y la producción, especialmente cuando se estableció en los platos (Tabla 39) (Salazar et al., 2012). Una vez

Tabla 39.

Efecto del manejo de coberturas en la producción de café cereza promedio obtenida en cultivo de café Variedad Castillo® a libre exposición solar (Salazar et al., 2012).

Tipo de manejo de cobertura	Respuesta estadística en la producción
Plato con coberturas nobles vs. plato sin coberturas	=
Plato con coberturas nobles vs. plato con mulch	=
Plato sin coberturas vs. plato con mulch	=
Calle y plato sin coberturas vs. calle y plato con coberturas vivas	=
Calle y plato sin coberturas vs. plato con coberturas vivas	=
Calle y plato sin coberturas vs. MIA	=
Calle y plato sin coberturas vs. maní forrajero	=
Calle y plato sin coberturas vs. desmodium	**

MIA: Manejo Integrado de Arvenses. Plato: se refiere al área de suelo debajo del dosel del árbol. Mulch: Cobertura muerta producto del corte de las arvenses. **: Diferencia estadística altamente significativa $Pr < 0,01$ según prueba de contrastes ortogonales. = Sin diferencia estadística $Pr > 0,05$.

establecido el maní forrajero en el cultivo deben hacerse cortes cada 90 días y hacer control por parcheos sobre las arvenses agresivas.

Eficiencia de herbicidas pre-emergentes en la etapa de levante del cultivo de café

En la etapa de levante del cultivo, el control de arvenses en la zona de raíces (plateo) es una práctica que demanda mano de obra de manera repetitiva, con el fin de garantizar el adecuado crecimiento de las plantas; esta actividad se realiza durante los primeros 12 o 18 meses de haber sido sembrada la planta de café en el campo. Es aquí donde la utilización de ingredientes activos pre-emergentes puede mantener el plato de la planta libre de arvenses durante un período de tiempo

mayor al que transcurre con los controles manuales.

Por lo anterior, en las Estaciones Experimentales La Catalina en el municipio de Pereira (Risaralda) y Paraguaicito en el municipio de Buenavista (Quindío) se evaluaron cinco tratamientos para el control químico de arvenses en pre-emergencia, conformados por cinco ingredientes activos, el control manual (plateo) y un testigo sin algún tipo de control (Tabla 40). Por tratamiento se tuvieron ocho repeticiones, bajo el diseño de bloques completos al azar y mediante la prueba de Dunnett al 5% se compararon los tratamientos con el testigo.

Los tratamientos conformados por los herbicidas se aplicaron en cada localidad una vez por semestre, durante un año. El área de aplicación y evaluación de los tratamientos estuvo constituida por la zona de raíces (plato) de la planta de café (Figura 101). Antes de iniciar la aplicación

de los tratamientos se verificó que el área de raíces (platos) permaneciera sin la presencia de arvenses. Adicionalmente, se tuvo la precaución de que el suelo estuviera a capacidad de campo para favorecer la distribución y fijación de los herbicidas pre-emergentes en el área de aplicación. Para medir el control que ofrecieron los ingredientes activos en el campo se determinó que estos perdían efecto o residualidad cuando las arvenses emergidas en el área del plato alcanzaban un porcentaje de cobertura del 20% al 25%, después de aplicar los productos.

Debido a las condiciones climáticas y de características del suelo, se encontraron diferencias del comportamiento de los tratamientos en ambas localidades. En condiciones de la Estación Paraguacito para la aplicación realizada en el primer semestre del año, la mayoría de los herbicidas habían perdido su efecto en el campo a los 90 dda (días después de la aplicación), al comportarse similar al testigo con un 35% de cobertura de arvenses (Figura 102a). Para la aplicación realizada en el segundo semestre del año, a los 60 dda todos los ingredientes activos estudiados presentaron del 20% al 30% de cobertura de arvenses, demostrándose que en este período había culminado la residualidad del herbicida para el control de arvenses (Figura 102b).



Figura 101. Operario realizando la aplicación de los herbicidas preemergentes en la zona de raíces de la planta de café.

En la Estación La Catalina durante el primer semestre del año, los ingredientes activos oxyfluorfen, diurón y acetoclor ofrecieron un control de las arvenses en promedio del 20% de cobertura, a los 120 días después de su aplicación. Para esta misma época el testigo había alcanzado el 100% de cobertura de arvenses en

Tabla 40.

Descripción de los tratamientos.

No.	Tratamiento	Nombre técnico	Ingrediente activo (g L ⁻¹ o g.kg ⁻¹)	Dosis comercial por hectárea
1	Pre-emergente	oxyfluorfen	240	3,0 L ha ⁻¹
2	Pre-emergente	diurón	800	2,0 kg ha ⁻¹
3	Pre-emergente	pendimetalina	400	2,0 L ha ⁻¹
4	Pre-emergente	acetoclor*	600	2,5 L ha ⁻¹
5	Pre-emergente	s-metolaclor*	960	1,0 L ha ⁻¹
6	Control manual	-----	-----	-----
7	Testigo absoluto (sin control)	-----	-----	-----

*Herbicidas sin registro ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) para café, a abril de 2018.

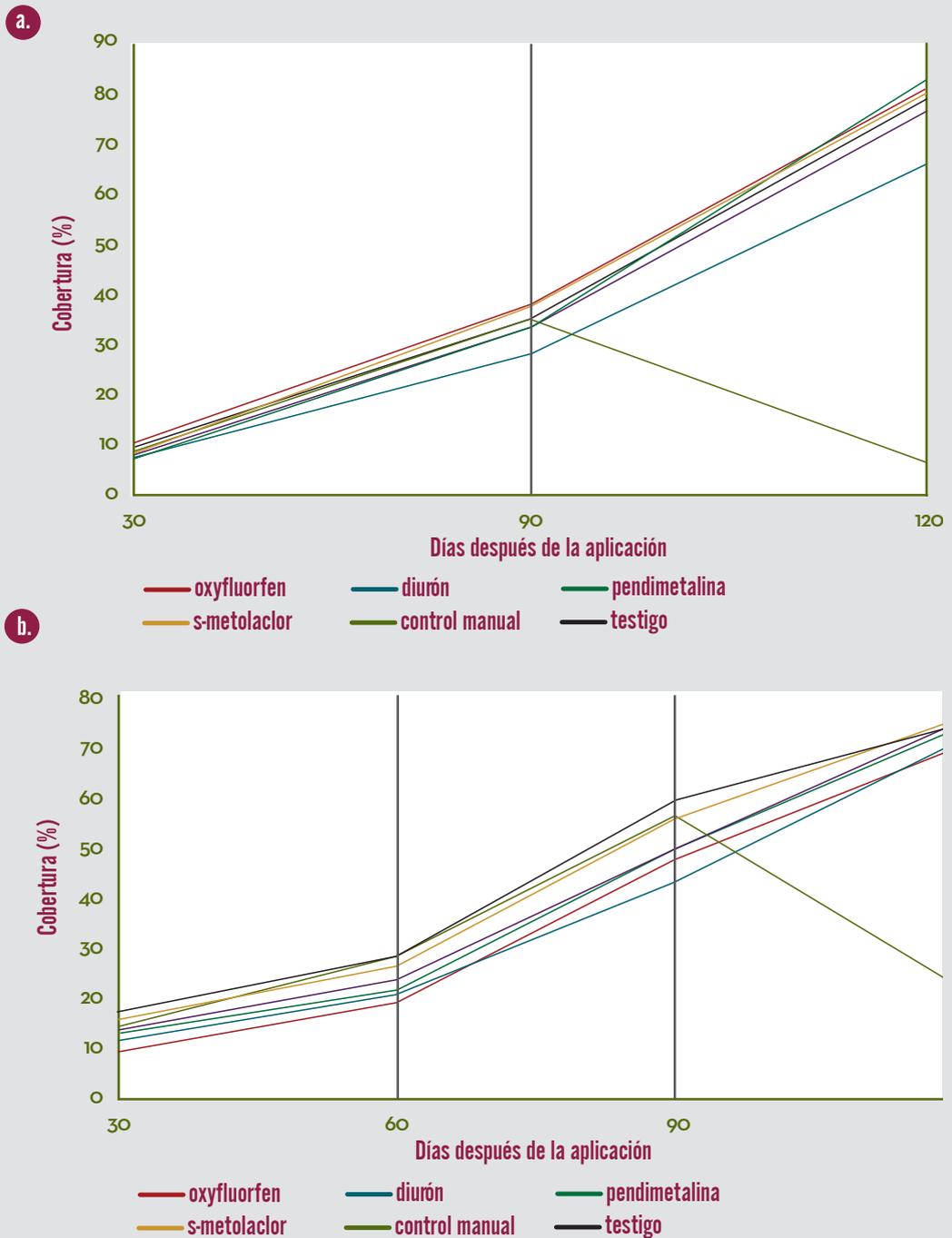


Figura 102.

Porcentajes de cobertura de arvenses en la zona de raíces (plato) del cultivo del café en respuesta a tratamientos de control en la Estación Experimental Paraguacito. a) Aplicación en el primer semestre del año. b) Aplicación en el segundo semestre del año.

el plato (Figura 103a). En la aplicación realizada durante el segundo semestre los herbicidas oxyfluorfen, diurón, acetoclor y pendimentalina mostraron una cobertura del 20% durante 140 días. S-metolaclor tuvo una persistencia menor que los demás herbicidas, pero demostró un control del 15% de cobertura de arvenses a los 120 días, mientras que el testigo obtuvo un 60% de cobertura a los 140 días (Figura 103b).

Manejo de arvenses en almácigos de café

Las arvenses interfieren con el cultivo del café en todas sus etapas de desarrollo, siendo la etapa del almácigo una de las más críticas, debido a que las arvenses pueden retrasar y afectar negativamente el crecimiento de la planta.

El manejo de arvenses en los almácigos de café puede realizarse al integrar principalmente los controles manual, cultural y químico. Las labores más recomendables son la desyerba manual y el manejo cultural, el cual consiste principalmente en la regulación de la luz para el almácigo, que se logra al reducirla al 50% mediante el empleo de sombrío transitorio de especies arbustivas como leucaena, matorratón, higuierilla, crotalaria y guandul, entre otros, o al emplear elementos artificiales como polisombra, latas de guadua o residuos vegetales.

En el manejo cultural de arvenses juega un papel importante el manejo del sustrato previo al llenado de las bolsas, con el fin de controlar las semillas de las arvenses antes de iniciar su proceso de germinación, para ello es posible emplear la técnica de solarización del suelo que consiste en exponer el sustrato de suelo debajo de una cubierta plástica transparente, con espesor entre 40 a 100 micras y exponerlo

Recomendación práctica

Los herbicidas pre-emergentes al ser utilizados en el MIA ofrecen buena persistencia del control de arvenses en la zona de raíces del cultivo del café, los cuales según las condiciones de clima y suelo pueden oscilar entre 60 dda y 140 dda, con niveles de cobertura de arvenses tolerables entre el 20% y el 25%, lo cual contribuye a la rentabilidad del cultivo.

* dda= días después de la aplicación



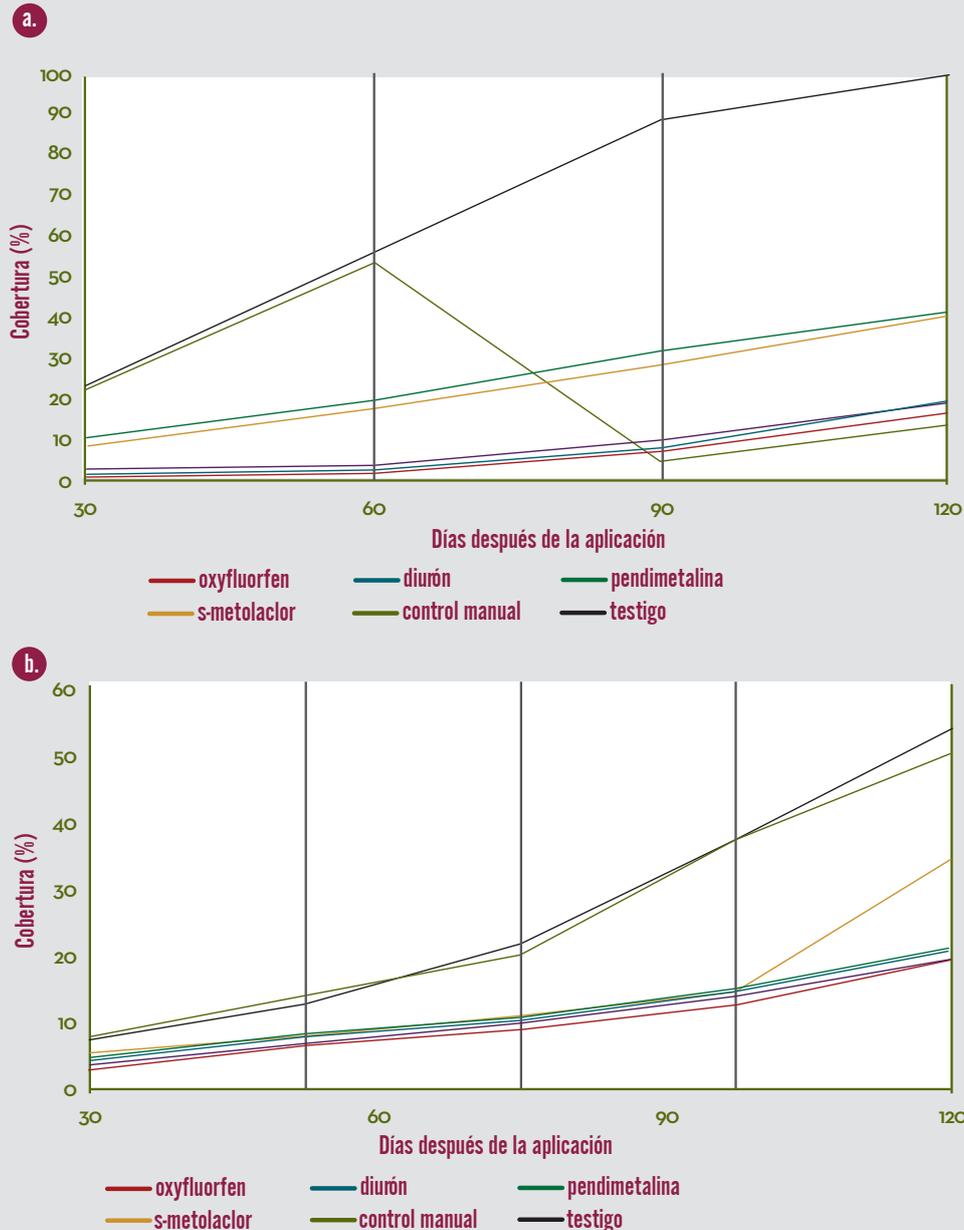


Figura 103.

Porcentajes de cobertura de arvenses en la zona de raíces (plato) del cultivo del café en respuesta a tratamientos de control en la Estación Experimental La Catalina. a) Aplicación en el primer semestre del año. b) Aplicación en el segundo semestre del año.

directamente a la acción del sol, durante cuatro a ocho semanas. Otra práctica para el control cultural de arvenses es el uso de cobertura muerta como cisco obtenido de la trilla de café o cascarilla de arroz sobre el suelo en el almácigo ya

establecido, esta cobertura se utiliza como barrera física y retarda la germinación de las arvenses.

Para el control químico de arvenses en el almácigo, una vez llenadas las bolsas con

el sustrato y antes de sembrar la planta de café, se recomienda por única vez aplicar el herbicida oxyflourfen, 240 g de ingrediente activo por litro de formulación en dosis de 1,0 a 2,0 L ha⁻¹. La aplicación debe hacerse sobre el suelo sin arvenses y a capacidad de campo. Este herbicida actúa antes o en el momento de la germinación y sobre plántulas recién emergidas de las arvenses (2 a 4 cm de altura), controla gramíneas, cyperaceas y arvenses de hoja ancha y su persistencia de control alcanza hasta los 90 días. Su absorción por las raíces no es significativa por lo cual no hay problemas al trasplantar la planta de café a la bolsa después de su aplicación. Las investigaciones realizadas por Cenicafé indican que el oxyfluorfen es más eficaz que otros herbicidas pre-emergentes en el control de arvenses en almácigos, sin causar fitotoxicidad al café; sin embargo, debe evitarse el contacto del producto con los meristemos (Gómez et al., 1987). Este producto demanda de una estricta

calibración del equipo de aplicación para no causar sobre-dosificación y con ello pérdidas por fitotoxicidad.

Criterios para el manejo de arvenses en el establecimiento de sistemas agroforestales con café

En los sistemas agroforestales con café, debido al sombrero y el mulch generado por los árboles, existe menor incidencia de arvenses en especial de gramíneas, lo que permite una considerable reducción en las labores de desyerba. En la Figura 104a se observa la implementación del MIA en un sistema agroforestal del departamento de



a.



b.

Figura 104.

(a) Manejo integrado de arvenses en un sistema agroforestal con café. Los Santos – Santander. (b). Manejo integrado de arvenses en un sistema de café con sombrero transitorio de tefrosia en El Tambo – Cauca.

Santander, Colombia y en la Figura 104b en un Sistema Agroforestal en El Tambo-Cauca.

Durante el establecimiento tanto de los árboles como del cultivo debe evitarse que las arvenses compitan con ambos; debe hacerse el manejo de arvenses tanto al café como a las especies arbóreas. Por ello es necesario partir de un control de arvenses de alta interferencia, en especial, arvenses de hoja ancha de hábito trepador, plantas leñosas o semileñosas de raíz pivotante profunda, ya sea por medios manuales mecánicos o herbicidas químicos; el control manual-mecánico puede hacerse con machete o guadañadora, entre 3 a 5 cm del suelo, permitiendo que el suelo permanezca cubierto; si se hace con herbicidas este debe realizarse en forma selectiva por el método de parcheo, sobre los focos de las arvenses agresivas en especial gramíneas, helechos o arvenses de hoja ancha de hábito leñoso, semileñoso o trepador, permitiendo el establecimiento de arvenses nobles.

Los herbicidas utilizados pueden ser glifosato, paraquat, glufosinato de amonio o de tipo graminicida como fluazifop-p butil; en ningún caso se recomienda la aplicación de herbicidas pre-emergentes en forma generalizada, por los efectos que pueden tener sobre la erosión del suelo y debe tenerse mayor precaución en la aplicación de herbicidas como 2,4 -D, por la fitotoxicidad que pueden generar en el café y los árboles. Los herbicidas deben aplicarse con equipos de aspersion o selectores de arvenses previamente calibrados, en el primer caso con una presión de aplicación entre 15 a 25 psi, con pantalla protectora antideriva y con un volumen de aplicación entre 200 a 300 L ha⁻¹ de agua.

Debe realizarse un plateo inicial (desyerba en la zona de raíces) del tamaño de la proyección del dosel de los árboles sobre el suelo. En café éste no debe ser inferior a los 30 cm de diámetro; el plateo puede realizarse manualmente evitando el uso de herramientas que disturben de alguna manera el sistema radicular del cultivo y los árboles, y en sistemas agroforestales con café más tecnificados, inmediatamente después del plateo manual, pueden aplicarse herbicidas pre-emergentes como el oxyfluorfen en las dosis recomendadas comercialmente para café, teniendo en cuenta las condiciones técnicas, principalmente de buena disponibilidad de humedad en el suelo.

Posterior al primer control de arvenses en calles y platos, los controles dependerán de la presión ejercida por las arvenses, la cual está determinada directamente por las condiciones de temperatura, radiación y humedad; en este sentido, deberán realizarse cortes con machete y/o guadañadora o parcheos sobre las arvenses agresivas con herbicidas. Durante el primer año se realizan entre seis y ocho parcheos y en casos con alta presión de arvenses, estos deben intercalarse con dos a tres cortes con machete o guadañadora que en ningún caso, tiendan a desnudar completamente el suelo. En el segundo año las labores y los costos disminuyen cerca del 50%, dado el establecimiento de coberturas nobles y de los árboles. Al tercer año, las labores de manejo de arvenses se centran en los focos de mayor entrada de luz y al control de arvenses de hábito trepador y plantas parásitas, labores que deben hacerse en forma oportuna, evitando que alcancen un alto grado de desarrollo. El manejo de plantas parásitas debe realizarse conjuntamente con la labor de mantenimiento de los árboles y podas del

café (deschupone). Después del tercer año, una vez haya disminuido la presión de gramíneas y se haya incrementado la presencia de arvenses de baja interferencia, deben realizarse podas de las arvenses con machete o guadañadora a 5,0 cm del suelo, cada 90 a 120 días.

Cuando el sistema se establece con cultivos transitorios intercalados o sombrío transitorio de especies leguminosas, debe hacerse el mismo manejo propuesto para el establecimiento del sistema agroforestal y las labores subsecuentes disminuyen dada la ocupación del espacio ofrecida por estas especies. Se requiere del repique de material vegetal en el suelo, una vez haya terminado su ciclo. En sistemas agroforestales de café se recomienda el establecimiento de coberturas leguminosas como maní forrajero.

Manejo integrado de arvenses en sistemas de producción de café con cultivos intercalados

Investigaciones realizadas por Moreno y Rivera (2003) han demostrado que es

posible intercalar dos ciclos de producción de cultivos de maíz y fríjol con MIA sin que se afecte la producción del cultivo de café. En este sentido, Quiroz e Hincapié (2007) llevaron a cabo un experimento en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas) en 24 predios de escorrentía, donde evaluaron ocho tratamientos con tres repeticiones, consistentes en cultivos transitorios de maíz (*Zea mays*), fríjol (*Phaseolus vulgaris*) y yuca (*Manihot sculenta*) intercalados entre las zocas de café, con y sin manejo integrado de arvenses (MIA). Las menores pérdidas de suelo se presentaron en el tratamiento café intercalado con maíz y MIA con un valor de 1,16 t ha⁻¹, mientras que las mayores se presentaron en el tratamiento de café intercalado con fríjol y suelo desnudo, con un valor que superó las 4 t ha⁻¹ (Tabla 41).

En los tratamientos de yuca intercalada con café, las pérdidas fueron similares a los demás tratamientos, pero estas se incrementaron después de la cosecha, superando a los demás tratamientos; en general, las pérdidas de suelo fueron menores en los tratamientos con MIA. Los resultados permitieron determinar que es posible reducir la erosión del suelo a niveles tolerables con el establecimiento de cultivos intercalados con el café, implementando el manejo integrado de arvenses.

Para mejorar o mantener la productividad del cultivo del café es importante el correcto manejo de las poblaciones de arvenses de interferencia alta, al combinar de manera oportuna los diferentes métodos de control (manual, mecánico, químico, cultural y biológico). El manejo no debe basarse en solo un método de control, ya que pueden generarse problemas con especies de difícil manejo o inducir resistencia a herbicidas.

Las desyerbas tardías incrementan las poblaciones de las arvenses de interferencia alta, 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 vegetativo y mediante el uso del selector de arvenses, dentro de un plan de manejo integrado, al controlar el rebrote de los arvenses días después de un corte con machete o guadañadora. 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.

Una forma de ser más rentable en la actividad cafetera es con la adopción del MIA, que apunta a mejorar la rentabilidad en cuatro formas:

1. Reducción de los costos de las desyerbas, Cenicafé ha demostrado en fincas cafeteras que este puede disminuir los costos entre el 20% para el primer año y 45% en el segundo año de establecimiento del café, lo anterior debido a la reducción en la mano de obra e insumos necesarios para su realización.

2. Mantenimiento o mejoramiento de la productividad debido a controles más oportunos de arvenses.

3. Menor riesgo de aparición de arvenses resistentes a los herbicidas, que al escapar del control siguen compitiendo con el cultivo y además con su aparición se pierde la inversión y el esfuerzo hecho para su control.

4. Prevención de la erosión del suelo. Estudios de Cenicafé han demostrado que cuando el suelo llega a un estado de erosión avanzado los rendimientos pueden disminuir hasta el 51%, aun con la aplicación de fertilizantes.

Por lo anterior, es importante tener en cuenta la finalidad del MIA, que consiste en mantener el suelo con coberturas para conservarlo al igual que al agua, sin que se afecte la productividad y los costos de producción, lo cual se logra al disminuir la proporción de las poblaciones de arvenses agresivas y favorecer aquellas de más fácil manejo y mediana y baja interferencia con el cultivo o coberturas nobles.

Tabla 41.

Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de café con cultivos intercalados (Datos obtenidos durante diez meses de evaluación) (Quiroz e Hincapié, 2007).

Manejo de arvenses	Sistema de cultivo	Pérdidas de suelo ($t\ ha^{-1}$)	
		Media	C.V. %
Sin MIA	Café//maíz	3,35 b	17,84
	Café//frijol	4,82 a	31,50
	Café//yuca	3,28 b	6,56
	Café	3,51 ab	24,39
Con MIA	Café//maíz	1,57 c	17,08
	Café//frijol	3,46 ab	41,03
	Café//yuca	2,81 ab	36,72
	Café	2,29 b	13,03

Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas según prueba DMS al 5% (Diferencia mínima significativa = 1,4092).

Literatura citada

Aldrich, R. J. (1987). Predicting Crop Yield Reductions from Weeds. *Weed Technology*, 1(3), 199-206. <https://www.jstor.org/stable/3987469>

Alvarado, G., & Moreno-Ruiz, G. (1999). ¿Cómo se distribuye anualmente la cosecha de las variedades Caturra y Colombia? *Avances Técnicos Cenicafé*, 260, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/4172>

Alvarado, G., Posada, H. E., & Cortina, H. A. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafé*, 337, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/401>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2005a). La variedad Castillo Naranjal para regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. *Avances Técnicos Cenicafé*, 338, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/413>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2005b). La variedad Castillo Paraguaicito para regiones cafeteras de Quindío y Valle del Cauca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 339, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/417>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2005c). La variedad Castillo El Rosario para regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 340, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/403>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2005d). La variedad Castillo Pueblo Bello para las regiones de Magdalena, Cesar La Guajira y Norte de Santander. *Avances Técnicos Cenicafé*, 341, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/342>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2005e). La variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá. *Avances Técnicos Cenicafé*, 342, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/383>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2006). La variedad Castillo La Trinidad para regiones cafeteras de Tolima. *Avances Técnicos Cenicafé*, 343, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/348>

Arcila, A. (2011). La floración, indicador del ataque de la broca. *Brocarta*, 44, 1-2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc044.pdf>

Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A. M., Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>

Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea* sp. *Boletín Técnico Cenicafé*, 23, 1-32. <http://hdl.handle.net/10778/578>

Arcila, J., & Farfán, F. F. (2007). Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. En J. Arcila, F.F. Farfán, A. M. Moreno, L.F. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 201-232). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>

Arcila, J., Jaramillo-Robledo, A., Baldión, J. V., & Bustillo-Pardey, A. E. (1993). La floración del cafeto y su relación con el control de la broca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 193, 1-6. <http://hdl.handle.net/10778/348>

Aristizábal, L. F., Salazar, H. M., & Mejía, C. G. (2002). Evaluación de dos componentes del manejo de la broca en la renovación de cafetales mediante investigación participativa. *Avances Técnicos Cenicafé*, 295, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/1048>

Basel, E. H., & Berlin, S. H. (1980). *Panicoid grass weeds: Grass weeds 1*. CIBA-GEYGY Ltd.

Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003, September 21-28). *Service functions of agroforestry systems*. XII World Forestry Congress, Québec, Canada. <http://hdl.handle.net/11554/8365>

Beer, J.W., Muschler, R.G., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>

Behling, A., Sanquetta, C. R., Dalla, A. P., Caron, B., Simon, A., Behling, M., & Schmidt, D. (2015). Conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in biomass in stands of black wattle in Brazil. *Bosque*, 36(1), 61-69. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000100007>

Benavides, P. (2013). Aciertos y desaciertos en las prácticas de renovación de cafetales infestados por broca. *Brocarta*, 48, 1-2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc048.pdf>

Blanco, H.G., Oliveira, D. A. & Puppo, E. I. H. (1978, outubro). Efeitos da epoca de controle do mato sobre a producao de uma lavoura de café em formacao: Resultados de 3 años de observacoes. VI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Sao Paulo, Brasil.

Bradshaw, L., & Rice, K. L. (1998). Competencia por agua entre el café y tres coberturas vivas (*Arachis*, *Desmodium* y malezas) en Nicaragua. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 51-60. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v22n01_051.pdf

Braverman, M. P. (1998). Simulated glufosinate drift on rice and soybean. *Proceeding Southern Weed Science Society*, 51, 269.

Buechel, T. (2017, septiembre 12). Cómo medir la calidad y la cantidad de luz en el invernadero. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formación/cómo-medir-la-calidad-y-la-cantidad-de-luz/>

Bustillo, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1-40. <http://hdl.handle.net/10778/579>

Camayo, G. C., & Arcila, J. (1997). Desarrollo floral del cafeto en condiciones de zona cafetera colombiana (Chinchiná-Caldas). *Avances Técnicos Cenicafé*, 245, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4174>

Castillo, J. (1975). Producción y características de germoplasma de café introducido a Colombia. *Revista Cenicafé*, 26(1), 3-26. <http://hdl.handle.net/10778/4194>

Castro, A. M., & Rivillas, C. A. (2003). Manejo sostenible de la llaga macana en cafetales renovados por zoca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 312, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4175>

Castro, A. M., Rivillas-Osorio, C. A., Serna-Giraldo, C., & Mejía, C. G. (2008). Germinadores de café: construcción, manejo de *Rhizoctonia solani* y costos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 368, 1-12. <http://hdl.handle.net/10778/4176>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2001). *Informe Anual Cenicafé 2001* (p. 37-38). <https://doi.org/10.38141/10783/2001>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2013). *Informe Anual Cenicafé 2013*. <https://doi.org/10.38141/10783/2013>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2010). *Anuario meteorológico cafetero 2009*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/660/1/anu2009.pdf>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2016). *Anuario meteorológico cafetero 2014*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/660/6/anu2014.pdf>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2017a). *Anuario meteorológico cafetero 2016*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/660/14/anu2016.pdf>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2017b). *Informe Anual Cenicafé 2017* (p. 83). <https://doi.org/10.38141/10783/2017>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2018). *Guía: Más agronomía, más productividad*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/GuiaMasAgronomia.pdf>

Chávez-Pascual, E. Y., Rodríguez-Ortiz, G., Carrillo-Rodríguez, J. C., Enríquez, J. R., Chávez-Servia, J. L., & Campos-Ángeles, G. V. (2013). Aboveground biomass expansion factors for *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1273-1284.

Chee, Y. K., Alif, A. F., & Chung, G. F. (1992). Management of weeds in plantation crops in 2000. En A. Aziz, S.A. Kadir, & H.S (Eds.), *Barlow Pest management and the environment in 2000*. (pp. 270-280). CAB International.

Coble, H., & Mortensen, D. (1992). The threshold concept and its application to weed science. *Weed Science*, 6(1), 191-195. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00034552>

Cordero, J., & Boshier, D. H. (2003). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. CATIE. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a11445e/a11445e.pdf>

Cousens, R. (1985). A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology*, 107(2), 239-252. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1985.tb01567.x>

Cruz, R (1989). Las malezas en el cultivo del frijol en América Latina: Guía de estudio como complemento de la unidad audio tutorial sobre el mismo tema. CIAT.

Damatta, F.M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485-510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>

Dew, D. A. (1972). An index of competition for estimating crop loss due to weeds. *Canadian Journal Research*, 52(6), 921-927. <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/cjps72-159>

Díaz, E., Loeza, J. M., Campos, J. M., Morales, E. J., Domínguez, A., & Franco, O. (2013). Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 47(2), 135-146.

Doll, J. (1981). Factores que condicionan la eficacia de los herbicidas. CIAT.

Doll, J. (1982). Los herbicidas: Modo de actuar y síntomas de toxicidad. CIAT.

Duarte, O., Ríos, G., & Silva, J. (1996). Conceptos básicos sobre la metodología de sistemas de producción. En Instituto Colombiano Agropecuario (Ed.), *Módulos para la capacitación metodológica de las UMATA* (pp. 1–16). ICA.

Duicela, L. A., & Corral, R. (2003). *Influencia de las podas y regulación de sombra sobre la producción de cafetales arábigos*. COFENAC.

Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?. *Pest Management Science*, 68(4), 505-512. <https://doi.org/10.1002/ps.2333>

Duque, H. (2001). *Análisis económico de doce prácticas para mejorar el desempeño de las fincas cafeteras*. Cenicafé.

Duque, H. (2004). *Cómo reducir los costos de producción en la finca cafetera*. Cenicafé.

Enríquez, G., & Martínez, A. (1984). *La sombra para el cacao: Revisión de literatura y bibliografía anotada*. CATIE. <http://hdl.handle.net/11554/2720>

Escobar, G., & Berdegué, J. (1990). Tipificación de sistemas de producción agrícola. RIMISP. <http://hdl.handle.net/10625/3969>

Eshetu, T. (2001, May 14-18). Weed flora and weed control practices in coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia: A review. Proceedings of 19th International Scientific Colloquium on Coffee Trieste, Italy. <https://www.asic-cafe.org/conference/19th-international-scientific-colloquium-coffee/weed-flora-and-weed-control-practices>

Farfán, F. F. (2007). Producción de café en sistemas agroforestales. En J. Arcila, F.F. Farfán, A. M. Moreno, L.F. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 161-200). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>

Farfán, F. F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AgroforesteriaSistemasCafe.pdf>

Farfán, F., & Baute, J. E. (2009). Efecto del arreglo espacial del café y del sombrío sobre la producción de café. *Revista Cenicafé*, 60(4), 313-323. <http://hdl.handle.net/10778/68>

Farfán, F., Bermúdez, L. N., & González, N. E. (2002). Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombras en sistemas agroforestales con café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 472, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4177>

Farfán, F., & Jaramillo, A. (2008). Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. *Revista Cenicafé*, 59(1), 39-54. <http://hdl.handle.net/10778/162>

Farfán, F., & Jaramillo-Robledo, A. (2009). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. *Avances Técnicos Cenicafé*, 379, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/376>

Farfán, F., & Mestre, A. (2004). Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. *Revista Cenicafé*, 55(2), 161-174. <http://hdl.handle.net/10778/168>

Farfán, F., Rendón, J. R., & Menza, H. D. (2016). Densidad de siembra de *Coffea arabica* variedad Tabi en sistemas agroforestales en tres zonas cafeteras de Colombia. *Revista Cenicafé*, 67(2), 52-57. <http://hdl.handle.net/10778/728>

Farfán, F., & Sánchez, P. M. (2016). Densidad de siembra del café variedad Castillo® en sistemas agroforestales, en el departamento de Santander-Colombia. Cenicafé, *Revista Cenicafé*, 67(1), 55-62. <http://hdl.handle.net/10778/678>

Farfán, F., & Solarte, C. R. (2008). Efecto de la cobertura arbórea y vegetal muerta sobre la producción de café, en una localidad de la zona cafetera sur de Colombia. *Revista Cenicafé*, 59(1), 155-164. <http://hdl.handle.net/10778/206>

Farfán, F., & Urrego, B. (2004). Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. *Revista Cenicafé*, 55(4), 317-329. <http://hdl.handle.net/10778/243>

Fassbender, H. W. (1993). *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales*. CATIE. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0813e/A0813e.pdf>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1993). *Manual de uso de fotografías aéreas: Aplicación al sistema de información cafetera*. FNC.

Flórez, C. P., Maldonado, C. E., Cortina, H. A., Moncada, M. P., Montoya, E. C., Ibarra, L. N., Unigarro, C. A., Rendón-Sáenz, J., & Duque-Orrego, H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4178>

Flumignan, D. L., Teixeira, R., & Cavenaghi, C. E. (2011). Evapotranspiration components and dual crop coefficients of coffee trees during crop production. *Agricultural Water Management*, 98(5), 791-800. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.002>

Friessleben, U., Pohlan, J., & Franke, G. (1991). The response of *Coffea arabica* L. to weed competition. *Café Cacao Thé*, 35(1), 15-20.

Fuentes, C. (1986). Metodología y técnicas para evaluar las poblaciones de malezas y su efecto en los cultivos. *Revista Comalfi*, 13, 29-50.

Fuentes, C. L., Almario, O., & Cifuentes, F. (1999). *Malezas cyperáceas asociadas con el cultivo del arroz en Colombia*. AGREVO.

Gaitán, A., Villegas, C., Rivillas-Osorio, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2011). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 404, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/350>

Galvis, C. A. (2002). El mal rosado del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 299, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/843>

Galvis, C. A., & Salazar, L. F. (2009). Identifique y prevenga los daños en cafetales por herbicidas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 383, 1-12. <http://hdl.handle.net/10778/356>

Gil, Z., Constantino, L. M., Martínez, H., & Benavides Machado, P. (2013). Aprenda a manejar la arañita roja del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 436, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/473>

Gil, L. F. (2001). Descripción de daños ocasionados por *Colletotrichum* sp. en flores y frutos de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 288, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4179>

Gil, L. F., & Leguizamón, J. E. (2000). La muerte descendente del cafeto (*Phoma* spp). *Avances Técnicos Cenicafé*, 278, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4180>

Gómez, A. (1990a). Las malezas nobles previenen la erosión. *Avances Técnicos Cenicafé*, 151, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/922>

Gómez, A. (1990b). Manejo integrado de malezas en el cultivo del café y la erosión de los suelos. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *50 años de Cenicafé 1938-1988: Conferencias conmemorativas*. (pp. 15-22). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/713>

Gómez, A., Ramírez, C. J., Cruz, R. G., & Rivera, J. H. (1987). *Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera colombiana*. Cenicafé.

Gómez, A., & Rivera, J. H. (1987). *Descripción de arvenses en plantaciones de café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/613>

González, H. (2013). Identificación de las principales unidades de suelos de la zona cafetera. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 269-283). Cenicafé.

Grime, J. (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242, 344-347. <https://doi.org/10.1038/242344a0>

Haynes, R. J. (2005). Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. En *Advances in Agronomy* (Vol. 85, pp. 221-268). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)85005-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)85005-3)

Heap, I. M. (2005). *Criteria for Confirmation of Herbicide-Resistant Weeds*. International Survey of Herbicide-Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org/Pages/ResistanceCriterion.pdf>

Herrera O., M. (1983). *Expectativas sobre la aplicación de herbicidas en áreas cafeteras de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda* [Tesis de pregrado]. Universidad de Caldas.

Higley, L.G., & Pedigo, L. P. (1997). The EIL concept. En L.G. Highley, & L. P. Pedigo(Eds.), *Economic thresholds for integrated pest management*. (pp. 9-21). University of Nebraska.

Hincapié, E., & Salazar, L. F. (2007). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 359, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/379>

Holm, L., Plucknett, D., Pancho, J., & Herberger, J. (1977). *The world's worst weeds, distribution and biology*. University Press of Hawaii.

Hoyos, J. (1990). *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* [Tesis de pregrado]. Universidad de Caldas.

Jaramillo, A. (2000). *Climatología de región andina de Colombia: Microclima y fenología del cultivo del café*. Cenicafé.

Jaramillo, A. (2005a). *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé.

Jaramillo, A. (2005b). La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 29(112), 371-382.

Jaramillo, A. (2016). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 465, 1-12. <http://hdl.handle.net/10778/703>

Jaramillo, A., & Arcila, J. (1996). Épocas recomendables para la siembra de los cafetos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 229, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4182>

Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Revista Cenicafé*, 51(2), 102-113. <http://hdl.handle.net/10778/971>

Jaramillo, A., & Gómez, L. (1989). Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Revista Cenicafé*, 40(3), 65-67. <http://hdl.handle.net/10778/808>

Jaramillo, A., & Ramírez, V. H., Arcila-Pulgarín, J. (2011a). Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé*, 410, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/328>

Jaramillo, A., & Ramírez, V. H., Arcila-Pulgarín, J. (2011b). Distribución de la lluvia: Clave para planificar las labores en el cultivo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 411, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/326>

Jiménez, E., & Golberg, D. (1982) Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: Efecto de diferentes estructuras vegetales sobre el balance hídrico del cafetal. En E. Jiménez, & A. Gómez (Eds.), *Estudios ecológicos en agroecosistema cafetalero*. (pp. 39-54). Continental.

Kropff, M. J., & Lotz, L. A. P. (1992). Systems approaches to quantify crop-weed interactions and their application in weed management. *Agricultural Systems*, 40(1), 265-282. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(92\)90024-I](https://doi.org/10.1016/0308-521X(92)90024-I)

Lao, F., Pérez, E., Paredes, E., & García, R. (1992). Umbrales de daño y económico de *Rottboellia cochinchinensis* en papa y maíz. *Protección de Plantas*, 2(4), 53-65.

Lemes, L. N., Carvalho, L. B., Souza, M. C., & Alves, P. L. C. A. (2010). Weed interference on coffee fruit production during a four-year investigation after planting. *African Journal of Agricultural Research*, 5(10), 1138-1143. <http://hdl.handle.net/11449/1124>

Lin, B. B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1), 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>

Lindquist, L. (2001). Mechanisms of crop loss due to weed competition. En R. K. D. Paterson, & L. G. Highley (Eds.), *Biotic stress and yield loss* (pp. 233-253). CRC Press.

Llorens, J. (1999). *Poda de formación: Arte, ciencia, paciencia y práctica*. https://www.isahispana.com/portals/0/docs/treecare/poda_de_form.pdf

Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 179-204. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.041008.093740>

Loomis, R. S., & Connor, D. J. (1992). *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139170161>

Loomis, R. S., Williams, W. A., & Hall, A. E. (1971). Agricultural Productivity. *Annual Review of Plant Physiology*, 22(1), 431-468. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.22.060171.002243>

López, J. A., Villalba-Gault, D. A., Salazar, L. F., & Cárdenas, O. A. (2012). Manejo integrado de arvenses en el cultivo de café: Nueva alternativa de control químico. *Avances Técnicos Cenicafé*, 417, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/334>

Marra, M. C., & Carlson, G. A. (1983). An Economic Threshold Model for Weeds in Soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*, 31(5), 604-609. <https://doi.org/10.1017/S0043174500070053>

Martínez, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha*, 22(2), 23-39. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114

Martins, E. P., & Furlani, E. (2010). Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. *Scientia Agricola*, 67(6), 720-726. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600015>

Matiello, J. B., García, A. W. R., & Almeida, S. R. (2007). Recomendando a poda em cafezais. *Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira*, 4(11), 1-40.

Matthews, G., Brawley, A., & Hayes, M. (1998). Effect of glyphosate drift on non-glyphosate tolerant corn. *Southern Weed Science Society Proceedings*, 51, 259-260.

Mejía, C., Bustillo, A. E., Duque, H., Montoya, E. C. & Benavides Machado, P. (2007). Análisis biológico y económico del manejo integrado de la broca en la renovación de cafetales. *Revista Cenicafé*, 58(2), 99-110. <http://hdl.handle.net/10778/139>

Mejía, C. G., Posada, H. E., García, J. C., Chaparro, M. C., Rendón, J. R., Trejos, J. F., Montoya, D. F., Menza, H. D., Sánchez, P. M., Baute, J. E., Torres, J. C., & Ospina, C. M. (2013). Producción de semilla de variedad Castillo® y sus componentes regionales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 3, pp. 167-179). Cenicafé.

Menza, H.D. (2006). *Evaluación de la resistencia de tres arvenses de la zona cafetera colombiana al glifosato y alternativas para su manejo* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia

Menza, H.D., & Peláez, M.J. (2015). Alternativas para el manejo cultural de la muerte descendente del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 456, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/610>

Menza, H.D., & Salazar, L.F. (2006). Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona cafetera colombiana y alternativas para su manejo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 350, 1-12. <http://hdl.handle.net/10778/344>

Menza, H. D. & Salazar, L.F. (2007). Alternativas de control químico para la prevención y manejo de la resistencia de arvenses al glifosato. *Revista Cenicafé*, 58(2), 91-98. <http://hdl.handle.net/10778/221>

Mestre, A. (1979). La desyerba en los cafetales produce ganancias. *Avances Técnicos Cenicafé*, 87, 1-2. <http://hdl.handle.net/10778/879>

Mestre, A., & Ospina, H.F. (1994a). Estabilización de la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 200, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/1060>

Mestre, A., & Ospina, H.F. (1994b). Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 201, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/1061>

Mestre, A., & Salazar, J. N. (1991). Iniciación de la fertilización en zocas de café. *Revista Cenicafé*, 42(2), 53- 60. <http://hdl.handle.net/10778/4196>

Mestre, A., & Salazar, J. N. (1995). Productividad de siembras nuevas y zocas de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 215, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/1072>

Mestre, A., & Salazar, J. N. (1998). Establecimiento de un sistema de manejo de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 254, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/1047>

Montaño, M. I., & Torres, L. M. (1994). *Determinación de la época crítica y umbral de competencia de malezas en el cultivo de alcachofa (Cynara scolymus L.) en la sabana de Bogotá* [Tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Monteoliva, S., Baroto, J., & Fernández, M. E. (2015). Anatomía y densidad de la madera en *Eucalyptus*: variación interespecifica e implicancia en la resistencia al estrés abiótico. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 114(2), 209-217.

Moreno, A. M. (2007). Fundamentos sobre sistemas de producción. En J. Arcila, F.F. Farfán, A. M. Moreno, L.F. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 15-20). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>

Moreno, A. M. (2010). Evite pérdidas económicas al renovar por zoqueo: Resiembré los sitios perdidos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 398, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/357>

Moreno, A. M., Rendón, J. R., & Medina, R. D. (2014). Efecto de la población dinámica de tallos sobre la producción de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 65(2), 18-26. <http://hdl.handle.net/10778/545>

Moreno, A. M., & Rivera, P. H. (2003). Rotación de cultivos intercalados con café, utilizando el manejo integrado de arvenses. *Avances Técnicos Cenicafé*, 307, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4184>

Moreno, A. M., & Sánchez, P. M. (2012). Reduzca los costos en el establecimiento del café: Intercale cultivos transitorios. *Avances Técnicos Cenicafé*, 419, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/331>

Moreno, G. (2002a) Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Revista Cenicafé*, 53(2), 132-143. <http://hdl.handle.net/10778/1021>

Moreno, G. (2002b). Tabi: variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafé*, 300, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/4185>

Moreno, A. A. (1980). El herbicida Roundup, nueva alternativa para controlar malezas en cafetales. *Nueva Agricultura Tropical*, 23, 7-14.

Mortensen, A. D. & Coble, D. A. (1997). Economic threshold for weeds management. En L.G. Highley, & L. P. Pedigo(Eds.), *Economic thresholds for integrated pest management*. (pp. 89-113). University of Nebraska.

Mosquera, L. P., Riaño, N. M., Arcila, J., & Ponce, C. A. (1999). Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café *Coffea sp.* *Revista Cenicafé*, 50(3), 215-221. <http://hdl.handle.net/10778/4197>

Musalem, A. (2001). *Asistencia técnica y capacitación en sistemas agroforestales tipo multiestratos* (Publicación No. 11/01). Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI). [http://www.aladi.org/nsfaladi/estudios_nsf/cb5344cb18a6b38903256aa700685717/c8150a32e41c8e3603256a3100634b50/\\$FILE/11-01.doc](http://www.aladi.org/nsfaladi/estudios_nsf/cb5344cb18a6b38903256aa700685717/c8150a32e41c8e3603256a3100634b50/$FILE/11-01.doc)

Njoroge, J. M. (1994a). Advisory notes on management of resistant weeds coffee, Kenya. *Kenya Coffee*, 59(694), 1821-1823.

Njoroge, J. M. (1994b). Weeds and weed control in coffee. *Experimental Agriculture*, 30(4), 421-429. <https://doi.org/10.1017/S0014479700024662>

Njoroge, J. M. & Mwakha E. (1983). Observations on the effects of weeding and cover crops on coffee yield and quality. *Kenya Coffee*, 48(569), 219-224.

Oerke, E. C., Dehne, H. W., Schonbeck, F., & Weber, A. (1994). *Crop production and crop protection: Estimated losses in major food and cash crops*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00683-7>

Pabón, D., Zea, J., León, G., Montealegre, E., Hurtado, G., & González, C. (1998). La atmósfera, el tiempo y el clima. En P. Leyva (Ed.), *El medio ambiente en Colombia*. (pp. 38-86). IDEAM.

Paniagua, G., Hernández, C., Rico, F., Domínguez, F. A., Martínez, E., & Martínez, C. L. (2015). Effect of high intensity led light on the germination and growth of broccoli seedlings (*Brassica oleracea* L.). *Plibotánica*, 40, 199-212.

Parker, C., & Fryer, J. D. (1975). Problemas que presenta el control de malezas, que causan reducciones importantes en los abastecimientos mundiales de alimentos. *Boletín Fitosanitario FAO*, 23, 83-95.

Parreiras, S., Ferreira, G., Pereira, D., Moreira, F., & Guimarães, R. J. (2011). Growth, productivity and bienniality of coffee plants according to cultivation spacing. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(2), 152-160. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000200006>

Paulo, E.M.A. y Furlani, E.B. JR. (2010). Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. *Scientia Agricola*, 67(6), 720-726.

Pavan, M. A., Dias, J. C., Siqueira, R., Androcioni, A., Colozzi, A., & Balota, E. L. (1999). High coffee population density to improve fertility of an oxisol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(3), 459-465. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000300018>

Pavlychenko, T. K., & Harrington, J. B. (1934). Competitive efficiency of weeds and cereal crops. *Canadian Journal of Research*, 10(1), 77-94. <https://doi.org/10.1139/cjr34-006>

Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. (1996). Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. Shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598-608. <https://doi.org/10.2307/1312989>

Pimentel, C. (1999). Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(11), 2021-2027. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001100007>

Posada, H. E., Alvarado, G., Cortina, H. A., Solarte, C. R., Duque-Orrego, H., Baldión, J. V., & Guzmán, O. (2006). La variedad Castillo® El Tambo: para regiones cafeteras de Cauca, Nariño, Huila, Tolima y Valle del Cauca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 344, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/390>

Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28(107), 201- 221.

Primavesi, A. (1984). *Manejo ecológico del suelo: la agricultura en regiones tropicales*. El Ateneo.

Quiroz, T., & Hincapié, E. (2007). Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados. *Revista Cenicafé*, 58(3), 227-235. <http://hdl.handle.net/10778/164>

Radosevich, S.R. (1987). Methods to study interactions among crops and weeds. *Weed Technology*, 1(3), 190- 198. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00029523>

Ramírez, V. H. (2014). La fenología del café: Una herramienta para apoyar la toma de decisiones. *Avances Técnicos Cenicafé*, 441, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/489>

Ramírez, V. H., & Jaramillo, A. (2009). Relación del índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. *Revista Cenicafé*, 60(2), 161-172. <http://hdl.handle.net/10778/228>

Ramírez, V. H. & Moreno, A. M. (2013). Renovación de cafetales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 307-318). Cenicafé.

Ramírez, J. E. (1997). *Poda y manejo de Coffea arabica L.* ICAFE-CICAPE.

Ramos, S., & Ferreira, O. W. (2001). Determinación de la cantidad y composición química de la biomasa aérea y subterránea de *Pinus oocarpa*. *Revista Escuela Nacional de Ciencias Forestales*, 13(2), 13-17.

Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/701>

Rendón, J.R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafé*, 59(3), 238-259. <http://hdl.handle.net/10778/228>

Rendón, J. R., García, J. C., & Ramírez, C. A. (2015). El redescop: alternativa para recuperar la densidad de tallos en cafetales establecidos con colinos descopados. *Avances Técnicos Cenicafé*, 451, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/565>

Restrepo, M., & Rivera, J. H. (1993). *Estudio sobre la diversidad de la flora arvense asociada a la zona cafetera colombiana*. Cenicafé.

Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. Academic Press.

Rivera, J. H. (1994). Construya su equipo para aplicación racional de herbicidas y establezca coberturas nobles en su cafetal. *Avances Técnicos Cenicafé*, 206, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4186>

- Rivera, J. H. (1997). Arvenses y su interferencia en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 237, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4187>
- Rivera, J. H. (2000). El selector de arvenses modificado. *Avances Técnicos Cenicafé*, 271, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/4188>
- Rivillas, C. A., & Castro, A. M. (2011). Ojo de gallo o gotera del cafeto *Omphalia flavida*. *Boletín Técnico Cenicafé*, 37, 1-25. <http://hdl.handle.net/10778/596>
- Rivillas, C. A., Serna, C. A., Cristancho, M. A., & Gaitán, A. (2011). La roya del cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costos de control. *Boletín Técnico Cenicafé*, 36, 1-51. <http://hdl.handle.net/10778/594>
- Rowland, D. D., Reynolds, D.B. J., & Blackley, H. J. (1999). Corn and cotton response to drift rates of non-desired herbicide applications. *Southern Weed Science Society Proceedings*, 52, 30.
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. *Boletín Técnico Cenicafé*, 32, 1-44. <http://hdl.handle.net/10778/587>
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 466, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/704>
- Sadeghian, S., & Duque, H. (2003). Análisis de suelos: importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 308, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4189>
- Sadeghian, S., & Jaramillo, A. (2017). Nutrición de los cafetales en Colombia en escenarios de La Niña. *Avances Técnicos Cenicafé*, 473, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4190>
- Sakai, E., Barbosa, E. A., Silveira, J. & Pires, R. (2013). *Coffea arabica* (cv. Catuaí) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. *Engenharia Agrícola*, 33(1), 145-156. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000100015>
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2004). La densidad aparente en suelos de la zona cafetera y su efecto sobre el crecimiento del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 326, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/393>
- Salas, G. (1987). *Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical*. IICA.
- Salazar, J. N. (1975). *Efectos de la intensidad de la desyerba sobre la producción de café*. [Seminario Cenicafé 1975]. Cenicafé.
- Salazar, J. N., & Mestre, A. (1991). Efecto del zoqueo en la producción de la variedad Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 326, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/926>
- Salazar, L. F. (2013). Prevenga la infestación de la enredadera espinaca en los cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 427, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/412>

Salazar, L. F., Arango, J. G., & Morales, C. S. (2012). Interferencia de coberturas vegetales en la zona de raíces y entre calles del cultivo del café. *Revista Cenicafé*, 63(2), 50-57. <http://hdl.handle.net/10778/535>

Salazar, L.F., & Hincapié, E. (2005). Arvenses de mayor interferencia en los cafetales *Avances Técnicos Cenicafé*, 194, 1-12. <http://hdl.handle.net/10778/406>

Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2009). Interferencia de arvenses en diferentes etapas del cultivo del café en la zona cafetera central. *Revista Cenicafé*, 60(2), 126-134. <http://hdl.handle.net/10778/227>

Salazar, L. F., & Rivera, J. H. (2001). *Evaluaciones para incrementar la eficiencia del selector*. Cenicafé.

Salazar, M. R., Arcila, J., Riaño, N. M., & Bustillo, A. E. (1993). Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 194, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/1045>

Sanchez, M. (1995). Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. En Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ed.), *Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto* (pp. 74-91). IPEF/IPT. https://www.ipef.br/publicacoes/anais/anais_seminario_internacional_utilizacao_madeira_eucalipto_serraria.pdf

Scurlock, J., Long, S., Hall, D., & Coombs, J. (1987). Introducción a las técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. En J. Coombs, D. Hall, & J. Scurlock (Eds.), *Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad*. Editorial Futura.

Secretaría de Estado de Agricultura Pecuaria e Abastecimento. (s.f.). Sistema de informações do agronegócio. Recuperado en enero de 2004 de <http://www.agridata.mg.gov.br/>

Sivetz, M. (1971). The coffee plant: This evergreen plant needs shade, moisture. *Tea and Coffee Trade Journal*, 141(5), 16-33.

Soto, L., Perfecto, I., Castillo, J., & Caballero, J. (2000). Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80, 61-69.

Suárez, S. (1998). Características físicas de los suelos del departamento de Risaralda, relacionadas con el uso, manejo y conservación. *Avances Técnicos Cenicafé*, 257, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4192>

Suárez, S. (2000, julio 24-28). *Características físicas de los suelos de la zona cafetera colombiana relacionados con el uso y conservación*. [Simposio sobre Suelos de la Zona Cafetera Colombiana]. Cenicafé, Manizales, Colombia.

Suárez, S. (2001). La atmósfera del suelo y la productividad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 293, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/4193>

Tabares, E. (1989). *Seguimiento y evaluación sobre la aplicación de herbicidas en áreas cafeteras de los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío* [Tesis de posgrado]. Universidad Autónoma de Manizales.

Terry, P. J. (1985). Efficacy of glyphosate for weed control in the tropics and sub-tropics. En E. Grossbard, & D. Atkinson (Eds.), *The herbicide glyphosate*. (pp. 375-401). Butter worth.

Tinney, F., Aamodt, O., & Ahlgren, H. (1937). 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.

Trojer H. (1954). El ambiente climatológico y el cultivo del café en Colombia: problemas, conocimientos actuales y perspectivas. *Revista Cenicafé*, 5(57), 22-37. <http://hdl.handle.net/10778/4198>

Trojer, H. (1959). Fundamentos para la zonificación meteorológica y climatológica del trópico especialmente en Colombia. *Revista Cenicafé*, 10(8), 289-373. <http://hdl.handle.net/10778/719>

Uribe, A. (1977). Soqueo de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 66, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/864>

Uribe, A., & Mestre, A. (1980). Efecto de la densidad de población y su sistema de manejo sobre la producción de café. *Revista Cenicafé*, 31(1), 29-51. <http://hdl.handle.net/10778/1056>

Valencia, G. (1973). Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. *Revista Cenicafé*, 24(4), 79-89. <http://hdl.handle.net/10778/4199>

Valverde, B. E., Richies, C. R., & Caseley, J. C. (2000). *Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América central con Echinochloa colona*. Cámara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica.

Vargas, W.G. (2002). *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes centrales*. Universidad de Caldas.

Vélez, B. E., Jaramillo, A., Chaves, B., & Franco, M. (2000). Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes. *Avances Técnicos Cenicafé*, 272, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/794>

Villa Nova, N. A., Favarin, J. L., Angelocci, L. R., & Dourado-Neto, D. (2002). Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. *Bragantia*, 61(1), 81-88. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052002000100013>

Wadsworth, F. H. (1997). *Agriculture handbook*. Washington State Department of Agriculture

Wrubel, R. P., & Gressel, J. (1994). Are Herbicide Mixtures Useful for Delaying the Rapid Evolution of Resistance? A Case Study. *Weed Technology*, 8(3), 635-648. <https://www.jstor.org/stable/3988043>

Wyse, D. L. (1994). New Technologies and Approaches for Weed Management in Sustainable Agriculture Systems. *Weed Technology*, 8(2), 403-407. <https://www.jstor.org/stable/3988127>

Zimdahl, R. L. (1980). *Weed crop competition: A review*. Internacional Plant Protection Center.

Zimdahl, R.L. (1993). *Fundamentals of weed science*. Academic Press.





Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

ISBN: 978-958-8490-40-3



9 789588 490403