

Establecimiento de sistemas agroforestales con café

Fernando Farfán Valencia

Un sistema agroforestal cafetero es un 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, y el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras (Farfán, 2012).

En este capítulo se exponen algunos conceptos básicos sobre sistemas agroforestales y su clasificación, basados en conceptos teóricos y resultados de investigaciones sobre sistemas agroforestales que se han desarrollado en Cenicafé y se presentan consideraciones y prácticas para el manejo integrado de los mismos.



Cómo Citar:

Farfán, F. (2013). Establecimiento de sistemas agroforestales con café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 44–63). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_18

Características y clasificación de los sistemas agroforestales



Son muchas las definiciones que se han dado de “Agroforestería” o sistemas agroforestales, entre éstas se pueden citar:

- En términos generales, se puede inferir que “la agroforestería es un **sistema de manejo sostenible de los cultivos y del suelo**, mediante el cual se procura **aumentar los rendimientos** en forma continua, combinando la producción de las **especies arbóreas con cultivos de valor económico**, incluyendo los pastos para la producción animal, en una forma simultánea o secuencial en la misma unidad de terreno (Durán, 2004; Sánchez, 2003; Torquebiau, 1993), aplicando además **prácticas de manejo** compatibles con las prácticas culturales de la población local (Durán, 2004).
- Agroforestería es una **forma de uso del suelo**, en la que se cumplen las siguientes condiciones fundamentales (Somarriba, 1990): **Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente**. Al menos una especie es leñosa perenne, y al menos una de las especies es manejada con fines agrícolas.

- Son **formas de uso y manejo de los recursos naturales**, en los cuales **especies leñosas** son utilizadas en asociación deliberada **con cultivos agrícolas o con animales**, en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (CATIE, 1986).
- Son una serie de **sistemas y tecnologías de uso del suelo**, en las que se combinan o **interactúan árboles con cultivos agrícolas** (anuales o perennes), en función del tiempo y del espacio, para **incrementar y optimizar la producción** en forma sostenida (Fassbender, 1987; Torquebiau, 1993).

Es importante primero saber por qué se establece sombrío al café. Para ello se va a dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Para qué establecer sombrío al café?

- La tendencia general de la zona cafetera central es la de presentar dos períodos secos y dos húmedos en el año; los meses de exceso hídrico son abril - mayo y octubre - noviembre.
- En las regiones norte, sur y oriente del país la tendencia es presentar en el año una sola estación húmeda (Jaramillo, 2005). En la región cafetera norte de Colombia, 10° 25' latitud Norte y 73° 34' longitud Oeste, a pesar que los valores anuales de precipitación son de 1.481 mm y que la cantidad de agua que cae en el primer semestre es el 35% (642 mm) del total anual, se presenta una estación seca pronunciada de enero a abril, con un déficit hídrico de 238 mm (Cenicafé, 2004; Jaramillo, 2005). En la región sur, 1° 15' latitud Norte y 77° 29' longitud Oeste, se presenta una precipitación anual de 1.204 mm (Cenicafé, 2004), cantidad que podría ser suficiente si tuviera una distribución uniforme en el año, pero se presenta una estación seca marcada de julio a septiembre, con un déficit hídrico de 266 mm, en tres meses continuos (Cenicafé, 2004).

Como se observa, los elementos resaltados en las anteriores definiciones, y que son característicos de los sistemas agroforestales, se pueden integrar en el siguiente concepto con respecto al sistema agroforestal con café:

“Un Sistema Agroforestal Cafetero Colombiano (SAFC) es un 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, y el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras” (Farfán, 2012).

- El límite de deficiencia hídrica para el café es de 150 mm en tres meses continuos (Orozco y Jaramillo, 1978).

Dadas las condiciones impuestas por estas deficiencias hídricas, es común observar en estas regiones sistemas de cultivo de café bajo cobertura arbórea o en sistemas agroforestales, con el propósito de conservar la humedad del suelo en épocas secas y disminuir los efectos que la falta de agua imponen sobre el cultivo, como aumentar la tasa de crecimiento, evitar el marchitamiento de las plantas y reducir la pérdida de hojas, entre otros (Muschler, 2000; Orozco y Jaramillo, 1978). Además, se debe establecer café con árboles si el relieve es fuertemente quebrado, con pendientes fuertes (>50%), suelos susceptibles a la erosión, suelos poco profundos y suelos poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad natural.

Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de los sistemas agroforestales es necesaria, con el fin de proveer un marco conceptual para evaluarlos y desarrollar planes de acción para su mejoramiento (Nair, 1985; Fassbender, 1987); dada la diversidad de los sistemas agroforestales, las clasificaciones pueden ser complejas o simples.



Mixto. Los componentes no están arreglados o dispuestos geoméricamente en el lote, es decir, aparecen de manera irregular; como ejemplo, se puede mencionar la cañafutura tradicional (FNC, 1997), donde no hay arreglo espacial ni del sombrío ni del café, es decir, los componentes fueron establecidos en forma deliberada en los lotes (Rice, 1997; Perfecto et al., 1996).



Zonal. Los diferentes componentes están geoméricamente arreglados dentro del lote. Para citar como ejemplo, el cultivo del café (FNC, 1997), en estos sistemas se establece la sombra¹ de una forma sistemática, con arreglos espaciales definidos, buscando un nivel de sombra óptimo para el café; las especies arbóreas comúnmente empleadas como sombrío son de los géneros *Inga*, *Albizia* y *Erythrina* (FNC, 1958; Rice, 1997).

La clasificación del sistema agroforestal simple, se basa en el análisis estructural del sistema, dado que es la clasificación que más ampliamente se utiliza. La clasificación simple se fundamenta en la presencia, el arreglo y la disposición de los componentes dentro del sistema (Torquebiaeu, 1993).

Tipos de sistemas de acuerdo con la presencia

Esta clasificación se basa en la existencia de los tres principales componentes agroforestales: **árboles, cultivos y pastos** (Animales). Se definen las siguientes categorías estructurales.

- **Sistemas agrosilvícolas.** Asociaciones de árboles con cultivos agrícolas
- **Sistemas silvopastoriles.** Asociaciones de árboles con pastos (Animales). Los animales deben estar presentes físicamente cerca de los árboles y dentro del mismo terreno
- **Sistema agrosilvopastoriles.** Asociaciones de árboles, cultivos agrícolas y pastos (Animales)

Clasificación según el arreglo

El arreglo se refiere al orden de los componentes en el espacio y en el tiempo; el arreglo espacial tiene que ver con la ubicación física de los componentes en el lote y el arreglo temporal (Secuencia), describe si los componentes están al mismo tiempo en la parcela, siguen uno a otro o se superponen parcialmente en el tiempo. Los principales tipos de arreglos son:

¹En este capítulo el término sombra hace referencia a Sistemas Agroforestales

Clasificación según la disposición

La disposición o estratificación de los componentes, puede ser simple o en varios estratos (Multiestratos).

Estratos simples. Hay solo una capa de árboles; por ejemplo, café con sombrío solo de guamo, carbonero o cámbulo, entre otros.

Multiestratos. En la disposición estratificada hay varias capas de árboles, en el caso del café el sombrío puede ser con diversas especies simultáneamente.

Densa. Los componentes están juntos estrechamente en la parcela.

Dispersa. Los componentes están lejos unos de otros.

Simultánea. Los componentes están presentes al mismo tiempo en la parcela.

Secuencial. Los componentes no están presentes simultáneamente en la parcela, uno va detrás del otro.

La clasificación compleja se realiza según:

- La distribución del componente arbóreo en el tiempo y en el espacio
- La importancia relativa de los componentes
- La función de los diferentes componentes dentro del sistema
- Según los objetivos de la producción y las características sociales y económicas prevalentes

Otra clasificación de los sistemas agroforestales puede basarse en el tipo de componentes incluidos y la asociación que exista entre ellos.

Categorías en los sistemas agroforestales

Las categorías reúnen elementos comunes articulados y jerárquicos, de manera que se facilite el conocimiento de las funciones de los sistemas (Nair, 1985), estas categorías son:

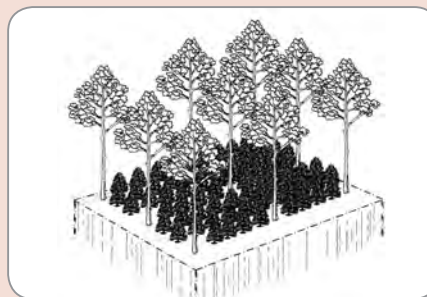
Sistema agroforestal (Categoría superior). Asociaciones o arreglos agroforestales conformados por el componente arbóreo y el agrícola de interés económico. Los sistemas agrosilvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles, pertenecen a esta categoría.

Tecnología agroforestal (Categoría intermedia). Las tecnologías agroforestales son una opción en la utilización de suelos, éstas buscan integrar, sobre una misma superficie, diferentes modalidades de producción con distintas especies que tengan variadas exigencias. En las tecnologías agroforestales juega un papel decisivo el arreglo de los componentes del sistema y sus disposiciones en el espacio y tiempo. Las principales tecnologías agroforestales son:

Árboles asociados con cultivos perennes. A esta categoría pertenecen todas las combinaciones de árboles y cultivos perennes, en que el componente arbóreo crea un piso superior y cubre los cultivos. La cubierta del árbol puede ser muy abierta o casi cerrada, como los árboles de sombra de algunas plantaciones de café.

Las plantaciones intensivas comerciales, en asociación con árboles de usos múltiples (combinación de cultivos de plantación), también pertenecen a esta categoría; como ejemplo se puede citar al café cultivado con sombra de *Erythrina* sp., *Inga* sp., y *Cordia alliodora*, entre otros.

Las funciones de los árboles en estos sistemas son: Sombra y protección del cultivo, fertilización y conservación de suelos, control de arvenses, soportes vivos, producción de leña y madera, producción de forraje y producción de frutos, entre otros (Durán, 2004).



Árboles en asociación con cultivos anuales (Cultivos en callejones).

Consiste en la asociación de árboles con cultivos anuales, de esta manera los cultivos se encuentran en callejones entre los surcos de los árboles (Durán, 2004). En estas asociaciones, las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo son similares a las del caso anterior. Estos sistemas se presentan para especies anuales tolerantes a la sombra (Torquebiau, 1993). Las funciones básicas de los árboles en estos sistemas son la producción de abono verde y el control de arvenses.



Sistemas silvopastoriles. Estos sistemas y los silvoagrícolas tienen las mismas características estructurales; los árboles cubren el piso inferior, constituido por pastos, además, el piso inferior y algunas veces también el superior, está dedicado a la producción animal (Torquebiau, 1993). Estos sistemas son practicados a diferentes niveles desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complemento a la agricultura de subsistencia.

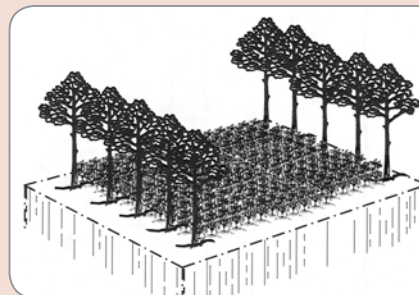
El principal objetivo en estos sistemas es la ganadería. En forma secundaria se puede lograr de los árboles: Producción de madera y leña, producción de frutas y semillas, además proveen sombra y refugio para el ganado.



Cortinas rompevientos. Son usadas para la protección de cultivos y animales, proporcionan protección incluso donde la agricultura es intensiva (Durán, 2004; Torquebiau, 1993). Además de jugar un papel protector, los árboles empleados como rompevientos producen madera, forraje, abono verde, leña y frutos, entre otros.



Plantaciones con linderos de árboles. Se usan para delimitar parcelas o separar áreas con diferentes cultivos; también son usados para incorporar árboles a los paisajes agrícolas. Los árboles pueden ser explotados con fines comerciales.



Cercas vivas. Es una plantación de árboles en línea, que delimitan una propiedad, un lote, entre otros. El objetivo básico es la delimitación y protección de los terrenos. De los árboles se pueden obtener beneficios como producción de leña, forraje, postes y madera (Durán, 2004; Torquebiau, 1993).



Práctica agroforestal (Categoría inferior). Asociación específica de componentes con disposiciones detalladas de especies, acomodo espacio-temporal y manejo agronómico, entre otros.

Interacciones entre los componentes del sistema agroforestal (Árbol-suelo-cultivo)

Las interacciones pueden ser positivas, neutras o negativas. Cuando la interacción es positiva, hay complementariedad entre los componentes, mientras que hay competencia si la interacción es negativa (Beer *et al.*, 1998; Beer, 1987; FNC, 1958; Guharay *et al.*, 2001; Hagggar *et al.*, 2001; Van Noordwijk, 2000).

Interacciones positivas

Reciclaje de nutrientes. Puede basarse en la toma de nutrientes por las raíces del árbol en las capas superficiales del suelo, sin entrar en competencia con el cultivo. Las raíces de los árboles pueden tomar nutrientes lixiviados a las capas profundas del suelo y ser devueltos a las superficiales. Los árboles que toman nutrientes de las capas profundas del suelo, pueden actuar como una bomba de nutrientes.

Producción de residuos vegetales. Si los residuos vegetales son de buena calidad (Baja relación C:N, bajos contenidos de lignina y polifenoles), éstos se descomponen rápidamente y los nutrientes estarán disponibles para el cultivo y los árboles.

Cobertura muerta (Mulch). Los residuos vegetales de baja calidad (Alta relación C:N, altos contenidos de lignina y polifenoles), se descomponen muy lentamente, actuando como cobertura muerta, la cual conserva la humedad del suelo durante los períodos secos. El mulch es importante donde el suministro de agua para los cultivos es un problema, especialmente si son suelos arenosos.

Los árboles son fuente de nitrógeno. Tanto las raíces de los árboles como de los cultivos pueden ser fuente de N, por fijación, nodulación y muerte de raíces, entre otros.

Control de arvenses. El sombrero dado por los árboles y el cultivo contribuye a la reducción en el número y porcentaje de cobertura de arvenses.

Reducción de plagas y enfermedades. La combinación de árboles y cultivos reducen la presión de plagas y enfermedades, y facilitan el establecimiento de controladores biológicos.

Efectos microclimáticos. Los árboles reducen la velocidad del viento, regulan la humedad y temperatura dentro del cultivo, reducen la evapotranspiración de los árboles y el cultivo, y reducen el daño causado por el granizo y la lluvia.

A largo plazo, el efecto combinado árboles-cultivo reduce los procesos erosivos, mantiene la estructura del suelo y conserva los contenidos de materia orgánica. El sistema radicular de los árboles puede mejorar el drenaje y aireación del suelo, además remueve los excesos de humedad del suelo.

Diversificación de la producción, como frutos y madera, además del control de la fenología del cultivo (Maduración de los frutos) y producción anual estable, puede alargar la vida productiva del cultivo.

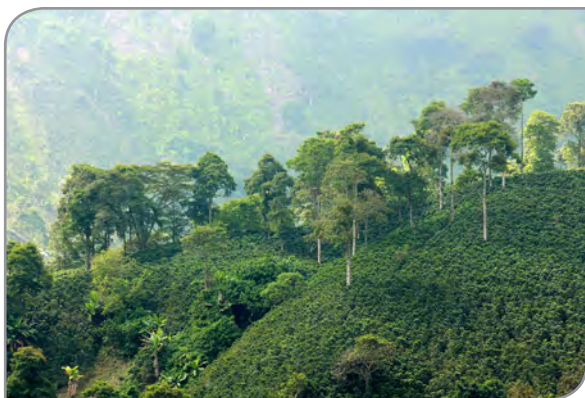
Incremento de la humedad por interceptación horizontal (Neblina), se promueve la actividad de organismos benéficos, se reduce la utilización de productos químicos, son refugio de aves, ofrecen oportunidades de investigación en biodiversidad, dan la oportunidad para participar en mercados de cafés especiales: Amigables con las aves, cafés de conservación, cafés orgánicos.

Interacciones negativas

Entre los componentes del sistema agroforestal se pueden presentar interacciones negativas o no adecuadas, a saber: La caída natural de ramas y árboles puede afectar las plantas del cultivo; la defoliación inesperada de los árboles de sombra, por insectos o enfermedades, puede dejar desprotegidas las plantas; labores como las podas pueden requerir mano de obra adicional; los árboles pueden ser obstáculo para el establecimiento de estructuras contra la erosión; un sombrero muy denso puede reducir la productividad del cultivo; las raíces de los árboles pueden competir por la humedad del suelo durante épocas secas y por oxígeno durante las épocas húmedas; los árboles de sombra pueden competir por nutrientes; las gotas de lluvia pueden coalescer o unirse en las hojas de los árboles, ocasionando una redistribución adversa de la lluvia, incrementando la erosión; la producción de frutos y madera puede convertirse en sumidero de nutrientes; tanto los árboles como los cultivos pueden ser hospederos entre sí, de plagas y enfermedades.

Pasos para realizar la selección y diseño de sistemas agroforestales con café -SAF

La selección y diseño del sistema agroforestal-SAF a establecer en la unidad de producción, se puede resumir en los siguientes pasos (Haggar *et al.*, 2001; Wilkinson *et al.*, 2000):



1. Definir los objetivos del sistema
2. Identificar las características del sitio donde se establecerán los árboles
3. Identificar los árboles que se desarrollan bien en estas condiciones
4. Identificar los productos y servicios esperados de los árboles de sombrío
5. Seleccionar las especies candidatas
6. Recopilar información sobre los árboles
7. Planificar las prácticas de manejo para los árboles seleccionados

1. Definir los objetivos del sistema

El diseño de los sistemas de producción con café se inicia con la definición de los objetivos de producción.

Se debe pensar en cuáles son los servicios y productos que se esperan del sistema, es decir, de los árboles empleados como sombrío en el café, por ejemplo: Protección del cultivo, recuperación del suelo, aporte de materia orgánica, ciclaje de nutrientes, conservación de la humedad del suelo, control de la erosión, producción de cafés especiales, entre otros.

2. Identificar las características del sitio donde se establecerán los árboles

Entre las características del sitio se encuentran: Características de los suelos, condiciones climáticas, altitud, uso y manejo del suelo y topografía, entre otros.

Investigaciones en Colombia y otros países cafeteros sugieren que el sombrío presenta una serie de ventajas, principalmente en climas cálidos y secos, en suelos con baja retención de humedad y baja fertilidad, condiciones bajo las cuales la instalación del cultivo tiene dificultad y el crecimiento vegetativo posterior se ve reducido. Sin embargo, es importante considerar que el sombrío no es universalmente benéfico y en algunas condiciones se registran desventajas, asociadas especialmente a la restricción de la incidencia de la radiación solar que es el principal factor determinante de la productividad vegetal (Beer, 1998; Farfán y Mestre, 2004; Haggar *et al.*, 2001; Jaramillo, 1982; Muschler, 2000; Orozco y Jaramillo, 1978). Para ayudar a tomar la decisión de cuándo es necesaria la sombra en cafetales, se deben analizar varias situaciones:

¿En cuáles ambientes se espera mayor beneficio de los árboles de sombrío?

En condiciones ambientales ideales para café como suelos fértiles, en altitudes óptimas y adecuada distribución de la lluvia, el cultivo a pleno sol puede producir más que bajo árboles que proyectan 50% de sombra; sin embargo, en zonas marginales muy bajas, el estrés hídrico y térmico es mayor para las plantas de café y, por consiguiente, a largo plazo, la producción a pleno sol tiende a ser menor que en las altitudes óptimas, debido a que los árboles de café no toleran los extremos ambientales, los cuales aumentan conforme el cultivo se aleja de la zona óptima (Beer, 1998; Muschler, 2000).

En contraste a la situación anterior, **el aporte de sombra puede ser muy importante, para los cafetales establecidos en zonas con deficiencias hídricas y suelos con limitaciones físicas y con baja disponibilidad de los nutrimentos necesarios para el desarrollo normal de la planta**, ya que los árboles ayudan a moderar el estrés del café sometido a este ambiente, por su efecto de atenuación de las condiciones hídricas y de microclima, reciclaje de nutrientes y por la acomodación de la planta de café a un nivel de producción compatible con los recursos disponibles, como agua, luz y nutrimentos (Beer, 1998; Muschler, 2000).

¿Cuál zona de la finca se beneficia más con el asocio de los árboles?

Debido a que en la finca se presentan variaciones en las condiciones de los lotes que la conforman, en algunos de éstos puede ser útil introducir algún tipo de sombrío o prescindir de éste.

3. Identificar los árboles que se desarrollan bien en estas condiciones

Una vez caracterizado el sitio donde se establecerá el SAF, se debe hacer un listado o preselección de árboles que pueden adaptarse o que se desarrollarán bien en estas condiciones. Es importante indagar si existen sitios con ambientes similares y qué especies de árboles se desarrollan allí (Cenicafé, 2004).

4. Identificar productos y servicios esperados de los árboles de sombrío

Hacer un listado de otros beneficios esperados de los árboles, por ejemplo: Cantidad de materia orgánica aportada por año, calidad de la materia orgánica (Contenido de nutrientes), tasa de transferencia de nutrientes, producción de frutos, porcentaje de cobertura, especies aceptadas por las normas de producción de cafés de sombra o de conservación, entre otros.

5. Selección de las especies candidatas

Del listado realizado en el paso 3, seleccionar la(s) especie(s) definitiva(s) que conformará(n) el componente arbóreo del sistema agroforestal.

6. Recopilar información sobre los árboles

Entre la información pertinente se encuentra: Hábito de crecimiento, diámetro del tronco a la altura del pecho, desarrollo de la copa, tipo de árbol, tasa de crecimiento, características de la madera, usos de la madera, forma de propagación, entre otros. Esta información es básica para definir densidades de siembra, estructura del componente arbóreo (Una sola especie o varias especies), estratificación del sistema.

7. Planificar las prácticas de manejo para los árboles seleccionados

De las decisiones tomadas con la información obtenida en el paso 6, se planificarán todas las prácticas de

manejo de los árboles seleccionados para conformar el sistema, es decir, definir las prácticas agroforestales.

Manejo de los sistemas agroforestales

Manejo de la sombra

Desarrollo y forma del dosel de las especies arbóreas empleadas como sombrío. Para satisfacer las diferentes necesidades de sombra se pueden utilizar diferentes especies arbóreas, con sus **características específicas de competitividad o compatibilidad**; entre los atributos más importantes que determinan la compatibilidad de un árbol están: **Su tasa de crecimiento, sus cambios fenológicos y la arquitectura de la copa** (Muschler, 2000).

La forma del dosel o la corona de los árboles tiene importantes consideraciones al momento de seleccionarlos para los sistemas agroforestales; algunos árboles tienden a desarrollar el dosel en capas, o con un dosel pequeño y alto o en forma columnar, en contraste con otros árboles que desarrollan una copa densa, esparcida o cónica, es decir, es muy amplia la gama de formas del dosel de los árboles (Wilkinson y Elevitch, 2000). Algunos tipos de copas de los árboles permiten, de acuerdo al espaciamiento y a su manejo, buena entrada de luz al cultivo o poca sombra, por ejemplo *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis*; otros, desarrollan una copa densa que impide la entrada de luz suficiente para el desarrollo del cultivo, por ejemplo, *Inga edulis*, *Inga densiflora*, *Erythrina* sp.



Consideraciones prácticas

El conocimiento del desarrollo y forma de la copa o el dosel de los árboles se debe emplear para determinar el espaciamiento apropiado en el establecimiento de los sistemas agroforestales y el manejo que éstos, como épocas de podas de mantenimiento, podas de formación, entre otros (Wilkinson y Elevitch, 2000), para obtener los niveles de sombra adecuados y niveles de producción óptimos.

Distribución de la sombra. El grado o nivel de sombra depende de parámetros ambientales (Precipitación, horas luz, humedad relativa, nubosidad), de la arquitectura o características de la especie seleccionada (Tasa de crecimiento, densidad de copa) y de la capacidad de competencia por nutrientes y agua que la especie arbórea pueda tener con el café (Beer, 1998; FNC, 1958; Guharay et al., 2001; Muschler, 2000).

En condiciones que no son las óptimas para el café, éste requiere de más sombra y, consecuentemente, mayor número de árboles o mayor porcentaje de sombrío, y en condiciones ideales para café, puede establecerse a plena exposición solar o con un menor número de árboles por hectárea o con un menor grado de sombra.

Por lo tanto, es requisito básico, en los sistemas de cultivo de café con sombrío determinar el denominado sombrío óptimo o grado de sombra adecuado, el cual está determinado por las dos dimensiones de la sombra: Su intensidad y su distribución o patrón de sombra (Beer, 1998; Muschler, 2000). Las especies arbóreas y las densidades de siembra se ubican en las dos dimensiones de sombrío; dependiendo de la arquitectura de la copa del árbol y de la intensidad de la sombra suministrada,

el patrón de sombra bajo un número típico de los árboles va a estar dentro o fuera de la zona de óptimo sombrío, como se aprecia en la Figura 1 (Muschler, 2000).

Con baja densidad de siembra de los árboles o en los primeros años de desarrollo de los mismos, o con la selección de una especie inadecuada para el sitio de establecimiento del SAF, o un manejo excesivo de los árboles, se obtienen niveles de sombra deficientes o muy bajos para el desarrollo del café (Sombrío del 10% al 20%); igualmente, con densidades altas de siembra de los árboles o debido a su mal manejo (Sin podas de mantenimiento), en el tiempo se presentarán niveles de sombrío excesivos (>50%), limitantes para la producción del café.

Resultados obtenidos en Cenicafé indican que la misma especie de sombrío, *Inga edulis*, establecida a las mismas densidades de siembra, pero en sitios con características climáticas y de suelos contrastantes, tiene un comportamiento diferente. Es así como en la Estación Central Naranjal, a los 3 años de establecido el sistema agroforestal café con guamo a 6,0 x 6,0 m, se obtuvieron niveles de sombra superiores al 50%, y en la misma localidad, a los 5 años de edad, el grado de sombra fue superior al 70%, con los árboles establecidos a 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m. En la Estación Experimental de Consacá, el grado de sombra estuvo entre el 35% y 50% a los 4 años de establecido el guamo y en la distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m y 9,0 x 9,0 m.

Diversas especies leguminosas establecidas como sombrío del café, a diferentes densidades de siembra, pero en la misma localidad, dan sombrío excesivo a cortas distancias de siembra, en un lapso de tiempo muy corto, de tal manera que al ampliar la densidad de

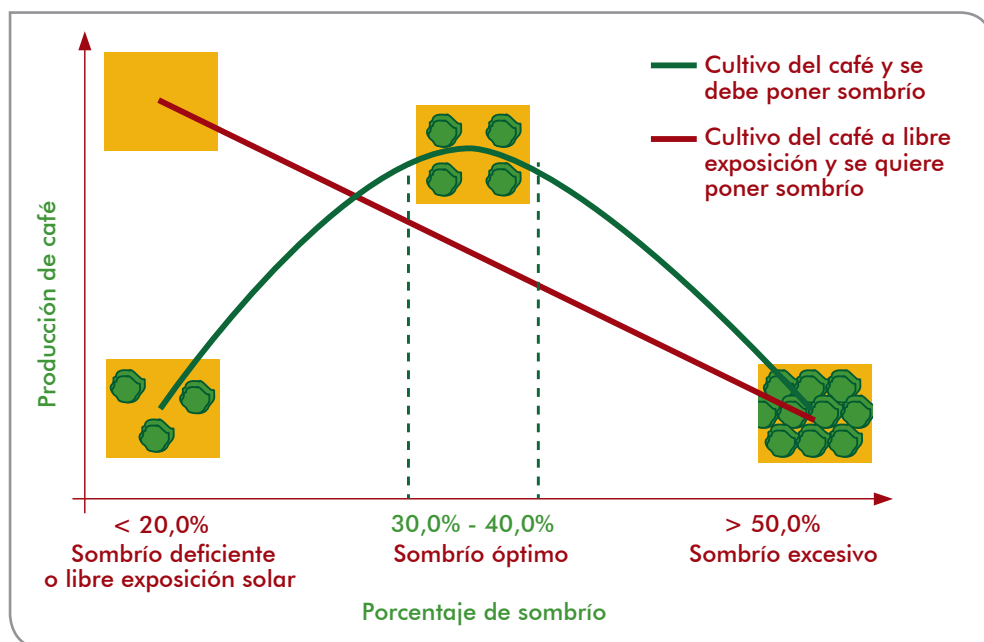


Figura 1.

Patrón de sombra: Producción hipotética de café bajo diferentes niveles de sombrío.

siembra (78 árboles/ha), se obtienen niveles de sombra óptimos para el desarrollo del café en períodos largos de tiempo.

Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA)

Los estudios de interceptación de la RFA, la cual está comprendida entre 400 y 700 nm de longitud de onda, suministran la base para el manejo práctico de los cultivos, por ejemplo, para seleccionar el tamaño de los árboles, el arreglo espacial del cultivo principal, el número de plantas por hectárea, la optimización de la producción de los asimilados y su conversión. Para planificar lo anterior debe buscarse la máxima interceptación de la radiación y una óptima distribución dentro del follaje, en los diferentes niveles de las planta (Castillo *et al.*, 1997; Jaramillo *et al.*, 1980; Weaver y Clements, 1944), en nuestro caso del café.

Interceptación de la RFA por diferentes especies de sombrío en café. En Cenicafe, para la evaluación de la interceptación de RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café se aplicó la metodología propuesta por Farfán *et al.* (2003). En la Estación Central Naranjal, el porcentaje de interceptación de RFA registrada en cada una de las distancias de siembra del sombrío de *Inga edulis*, durante tres años, mostró que a 6,0 x 6,0 m el porcentaje de interceptación media fue del 70%, a 9,0 x 9,0 m del 60% y a 12,0 x 12,0 m del 45% (Figura 2) (Farfán y Mestre, 2004).

En la Estación Experimental de Pueblo Bello (Cesar), los registros de interceptación de la RFA indican que el

nivel de sombra se incrementa al aumentar la edad del componente arbóreo. De acuerdo con la Figura 3, el nivel de sombrío medio (1998 a 2001) en que se desarrolló el cultivo del café fue del 58% con 278 árboles/ha de *Inga*, del 50% con 123 árboles/ha y del 34% con 70 árboles/ha (Farfán y Mestre, 2004b).

En la Estación Experimental Paraguaicito, en el Quindío, las evaluaciones sobre el porcentaje de interceptación de RFA, bajo cada especie de sombrío, durante el período 1998 a 2001, fluctuaron entre el 61,0% y el 75,7% con *Cordia alliodora*, entre el 29,3% y el 69,0% con *Pinus oocarpa* y entre el 58,7% y 58,5% con *Eucalyptus grandis* (Figura 4), de acuerdo con los estudios realizados por Farfán y Urrego (2004).

Regulación del sombrío

Es importante determinar el momento en el cual debe iniciarse la regulación del sombrío, para mantener los porcentajes de sombra dentro de los rangos óptimos, como medida preventiva en la reducción de la producción del café.

Para cumplir con este propósito, además de tener presente los factores mencionados como condiciones ambientales, de suelos, arquitectura de las especies arbóreas y densidades de siembra, entre otros, es fundamental tener los registros por año de producción de café y las evaluaciones de los porcentajes de cobertura, para poder establecer las relaciones entre estas dos variables y determinar el año de inicio del manejo del sombrío. Como ejemplo, se citan los resultados presentados por Farfán y Mestre (2004a, 2004b) en

Factores que afectan la interceptación de RFA	Factores que determinan el grado de interceptación de la RFA
<p>La altitud. Afecta la nubosidad y la calidad de la luz</p> <p>La latitud. Afecta el ángulo de incidencia de la luz y la longitud del día</p> <p>Concentración de partículas atenuantes en el aire</p> <p>Factores inherentes al equipo y las metodologías de evaluación</p>	<p>Arquitectura de los árboles y del cultivo</p> <p>Heterogeneidad del componente arbóreo. Diversidad, dimensión y orientación</p> <p>El número de estratos verticales</p> <p>Tamaño de las hojas y duración del follaje</p> <p>Índice de área foliar del componente arbóreo y del cultivo</p> <p>Densidad del follaje</p> <p>Ángulo inserción de las ramas y de las hojas</p> <p>Estructura y edad de la hoja</p> <p>Distribución del área foliar</p> <p>Distribución de la RFA en el follaje</p> <p>Arreglo espacial, el manejo del árbol de sombra y características del sitio donde fue establecido</p>

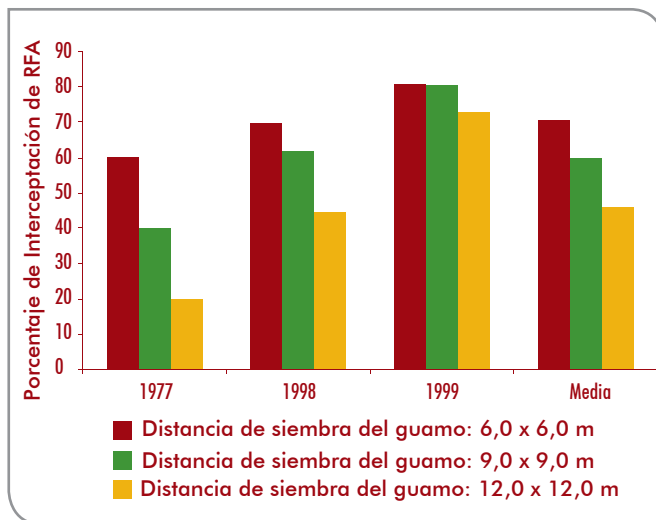


Figura 2.

Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, en tres densidades de siembra del sombrío de *Inga edulis*. Estación Central Naranjal, 1997 a 1999.

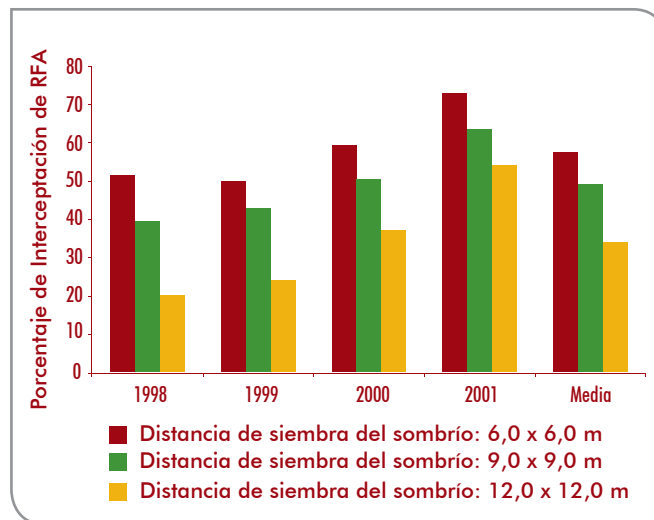


Figura 3.

Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa en tres densidades de siembra, del sombrío de *Inga sp.* en la Estación Experimental Pueblo Bello, 1998 a 2001.

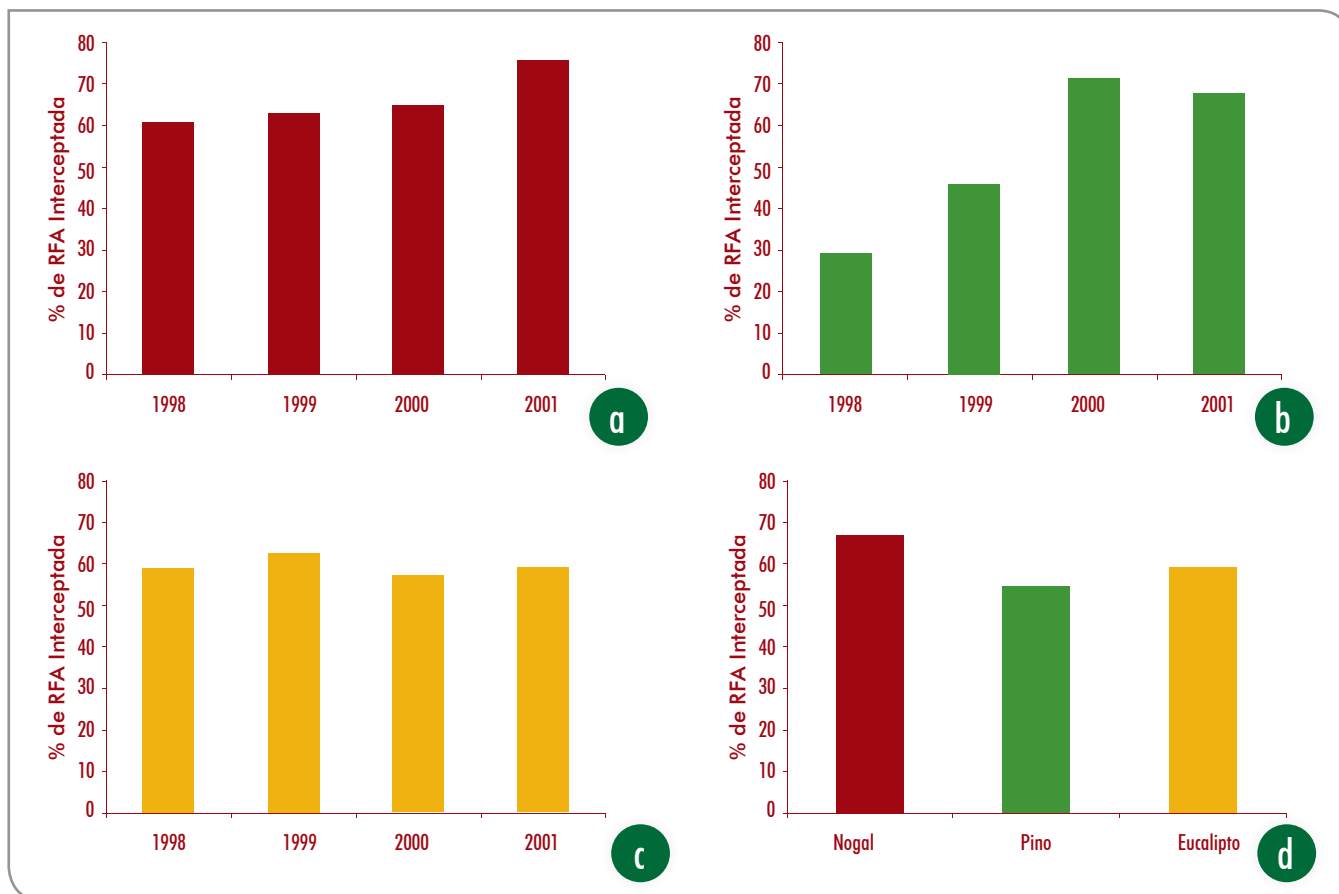


Figura 4.

Porcentaje de Intercepción de radiación fotosintéticamente activa-RAF de las especies forestales, **a.** *Cordia alliodora*; **b.** *Pinus oocarpa*; **c.** *Eucalyptus grandis*; **d.** Promedio de 4 años.

la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas) y en la Estación Pueblo Bello (Cesar).

Inicio de la regulación del sombrero con *Inga edulis*. En la Tabla 1 se presenta la edad óptima en años de los árboles de *Inga edulis* (Guamo santafereño) para dar inicio a su regulación o podas de mantenimiento, para conservarlo con porcentajes de sombrero entre el 35% y 45%. Los resultados fueron obtenidos en la Estación Central Naranjal y la Estación Experimental Pueblo Bello, el café se estableció a una densidad de 4.444 plantas/ha y el sombrero a tres densidades de siembra.

Inicio de la regulación del sombrero con *Erythrina sp.*, *Inga sp.*, *Leucaena leucocephala* y *Albizia carbonaria*. En la Tabla 2 se presenta la edad óptima en años, de las especies leguminosas, para dar inicio a su regulación o podas de mantenimiento para conservarlos con porcentajes de sombra entre el 35% y 45%, cuando se emplean simultáneamente como sombríos del café o sombríos estratificados, en la Estación Experimental Pueblo Bello. El café se estableció a una densidad de 4.444 plantas/ha y el sombrero a tres distancias de siembra.

El inicio de la regulación del sombrero 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 sombrero con especies forestales. En las Tablas 3 y 4 se presenta la edad óptima en años, de especies forestales y una leguminosa, empleadas como sombrero en dos localidades, para dar inicio a su regulación de sombrero o podas de mantenimiento, para mantenerlo con porcentajes de sombra entre el 35% y el 45%. El café fue establecido a una densidad de siembra de 4.444 plantas/ha y el sombrero a distancias comerciales de 6,0 x 6,0 m.

Efecto de la sombra sobre la producción del café

El dosel o copa de los árboles de sombrero afecta negativamente la cantidad y calidad de luz disponible para los cultivos y el límite de sombra aceptable para

Distancia siembra	Edad del árbol de <i>Inga edulis</i> (años)	
	Naranjal	Pueblo Bello
6,0 x 6,0 m	2,0	1,0
9,0 x 9,0 m	3,0	2,0
12,0 x 12,0 m	4,0	4,0

Tabla 1.

Edad óptima de los árboles de *Inga edulis* para iniciar su regulación del sombrero o podas de mantenimiento. Estación Central Naranjal (Caldas) y Estación Pueblo Bello (Cesar).

Árboles de sombrero	Edad de los árboles (años)		
	6,0 x 6,0 m	9,0 x 9,0 m	12,0 x 12,0 m
<i>Erythrina fusca</i> (Cámbulo)	2,5	5,0	Libre crecimiento
<i>Erythrina rubrinervia</i> (Fríjol rojo)	3,0	Libre crecimiento	Libre crecimiento
<i>Inga edulis</i> (Guamo santafereño)	2,5	2,0	3,5
<i>Leucaena leucocephala</i> (Leucaena)	4,0	3,0	Libre crecimiento
<i>Albizia carbonaria</i> (Carbonero)	7,5	3,0	7,0

Tabla 2.

Edad óptima de los árboles de leguminosas para dar inicio a su regulación de sombrero o podas de mantenimiento. Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).

Árboles de sombrero	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 3.

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

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

Tabla 4.

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

el café puede estar entre el 0% y el 45%. La sombra no es universalmente benéfica, las necesidades de ella están en función del clima, aunque bajo sombrío hay una reducción de la producción del café, ésta es compensada con un incremento en la longevidad del cultivo (Beer et al., 1998; Ramírez, 1995; Sivetz, 1971; Soto et al., 2000).

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en Cenicafé en estudios de la producción de café bajo árboles de sombrío.

Efecto de la intensidad del sombrío sobre la respuesta del café al fertilizante
Comportamiento de las especies forestales <i>Cordia alliodora</i> , <i>Pinus oocarpa</i> y <i>Eucalyptus grandis</i> como sombrío e influencia en la productividad del café
Respuesta del café bajo sombra a la fertilización
Aporte de materia orgánica y transferencia de nutrientes por algunas especies de árboles empleadas como sombrío en café
Descomposición de residuos y transferencia de nutrientes de <i>Coffea arabica</i> , <i>Cordia Alliodora</i> , <i>Pinus oocarpa</i> y <i>Eucalyptus grandis</i> , en sistemas agroforestales
Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío

Efecto de la intensidad del sombrío sobre la respuesta del café al fertilizante

Sistema agroforestal: Simultáneo (Árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Inga densiflora* (Guamo santafereño)

Estructura: Simple

Arreglos espaciales: Sistemático (6,0 m x 6,0 m; 9,0 m x 9,0 m y 12,0 m x 12,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 m x 1,5 m (4.500 plantas/ha)

Niveles del fertilizante: 0%; 25%; 50% y 75% de la dosis recomendada en el análisis de suelos, aplicados al café bajo cada distancia de siembra del sombrío

Localización: Estación Central Naranjal, Estación Experimental Pueblo Bello

Resultados: En la Tabla 5, se presentan las producciones de café (kg.ha-año⁻¹ de café pergamino seco c.p.s., en la Naranjal (4 cosechas) y Pueblo Bello (7 cosechas)

Estación Central Naranjal. La máxima producción de café se obtuvo con el sombrío de *Inga densiflora* plantado a 12,0 x 12,0 m; la producción media obtenida fue 50,7% mayor que la registrada con el componente arbóreo a 9,0 x 9,0 m, y 152,2% mayor frente a la registrada con esta misma especie plantada a 6,0 m x 6,0 m. La producción media de café con sombrío establecido a 9,0 x 9,0 m fue 67,4% mayor que la obtenida con el sombrío plantado a 6,0 x 6,0 m, debido a la reducción de la sombra (Farfán y Mestre, 2004a).

Estación Experimental Pueblo Bello. La mayor producción se obtuvo con el componente arbóreo establecido con 70 árboles/ha, esta producción fue 11,1% más alta que la obtenida con sombrío plantado con 123 árboles/ha y 57,7% superior a la producción registrada con sombrío de 278 árboles/ha. La diferencia en producción a 9,0 x 9,0 m vs. 6,0 x 6,0 m fue del 41,9% a favor del primero (Farfán y Mestre, 2004b).

El comportamiento productivo del café en tres densidades de siembra de *Inga densiflora* y su respuesta a la aplicación de fertilizante en las zonas cafeteras Norte y Centro de Colombia, puede observarse en la Tabla 6, teniendo en cuenta las condiciones de cada uno de los sitios experimentales, pues no pueden compararse estos resultados debido a las condiciones de clima y suelo contrastantes de las localidades (Farfán y Mestre, 2004b).

Fertilización	Naranjal	Pueblo Bello
Distancia de siembra del sombrío 6,0 m x 6,0 m		
0	948,9 a	1.108,6 a
25%	1.018,0 a	918,6 a
50%	933,8 a	971,7 a
75%	935,8 a	1.104,3 a
Media	959,1 C	1.025,8 C
C. V. (%)	19,0	96,1
Distancia de siembra del sombrío 9,0 m x 9,0 m		
0	1.517,1 a	1.509,6 a
25%	1.635,5 a	1.440,7 a
50%	1.639,7 a	1.305,9 a
75%	1.630,2 a	1.564,6 a
Media	1.605,6 B	1.455,2 B
C. V. (%)	26,5	86,8
Distancia de siembra del sombrío 12,0 m x 12,0 m		
0	2.101,8 a	1.439,6 b
25%	2.487,1 a	1.618,7 b
50%	2.562,6 a	1.443,1 b
75%	2.525,6 a	1.967,7 a
Media	2.419,3 A	1.617,3 A
C. V. (%)	13,4	14,1

Tabla 5.

Producción en (kg.ha-año⁻¹ de c.p.s., en la Estación Central Naranjal y la Estación Pueblo Bello.

* Medias con letra diferente indican diferencia estadística, Tukey 5%, las localidades se analizaron por separado

Variables evaluadas	Naranjal	Pueblo Bello
Porcentaje de sombra de <i>Inga densiflora</i> a 6,0 x 6,0 m	70%	58%
Porcentaje de sombra de <i>Inga densiflora</i> a 9,0 x 9,0 m	60%	50%
Porcentaje de sombra de <i>Inga densiflora</i> a 12,0 x 12,0 m	45%	34%
Producción media (kg.ha-año ⁻¹) con sombrío a 6,0 x 6,0 m	959,1	1.025,8
Producción media (kg.ha-año ⁻¹) con sombrío a 9,0 x 9,0 m	1.605,6	1.455,2
Producción media (kg.ha-año ⁻¹) con sombrío a 12,0 x 12,0 m	2.419,3	1.617,3
Diferencia en producción: 278 vs. 123 árboles/ha de <i>I. densiflora</i>	67,4%	41,9%
Diferencia en producción: 123 vs. 70 árboles/ha de <i>I. densiflora</i>	50,0%	11,1%
Diferencia en producción: 278 vs. 70 árboles/ha de <i>I. densiflora</i>	152,0%	57,7%
Respuesta del café a la aplicación de fertilizante a 6,0 x 6,0 m	No	No
Respuesta del café a la aplicación de fertilizante a 9,0 x 9,0 m	No	No
Respuesta del café a la aplicación de fertilizante a 12,0 x 12,0 m	25, 50 ó 75%*	75%*

Tabla 6.

Resumen comparativo del comportamiento del café bajo sombrío de *I. densiflora* en dos localidades de la zona cafetera colombiana.

*Porcentaje del total recomendado en los análisis de suelos

Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café

Sistema agroforestal: Simultáneo (Árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Cordia alliodora* (Nogal Cafetero), *Pinus oocarpa* (Pino) y *Eucalyptus grandis* (Eucalipto)

Estructura: Diversa

Arreglo espacial: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas/ha)

Localización: Estación Experimental Paraguaicito

Resultados: En la Tabla 7 se presentan la producción media de seis cosechas de café (kg.ha-año⁻¹) en la Estación Experimental Paraguaicito.

El análisis de comparación de la producción de seis cosechas de los cuatro tratamientos, mostró que no hay diferencia entre las producciones medias obtenidas en café bajo cobertura arbórea (Nogal, pino y eucalipto), tampoco es evidente esta diferencia entre el promedio de la producción registrada en café a libre exposición y café bajo cobertura de pino y eucalipto. Hubo diferencia entre la producción media del café a libre exposición y la producción media del café con sombrío de nogal; la diferencia en producción fue del 39,0% a favor del primero (Farfán y Urrego, 2004), el nivel medio de sombra con nogal fue superior al 60%.



Si el nivel de sombrío disminuye por debajo del 60%, como los registrados en pino y eucalipto, la reducción en la producción de café con sombra de las dos especies, solo se reduce el 15,5% (1.853,3 kg.ha-año⁻¹ de c.p.s.), comparada con la producción media registrada en el monocultivo (Farfán y Urrego, 2004).

Respuesta del café bajo sombra a la fertilización

Sistema agroforestal: Simultáneo (Árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Inga edulis* (Guamo Santaferense)

Estructura: Simple

Arreglos espaciales: Zonal o sistemático (12,0 x 12,0 m)

Arreglo espacial del café: 2,0 x 2,0 m (2.500 plantas/ha) y 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas/ha)

Niveles del fertilizante: 0; 200; 400 y 600 g/planta/año de un fertilizante completo (17-6-18-2).

Localización: Estación Central Naranjal
Estación Experimental de Supía (Caldas)
Estación Experimental El Rosario (Antioquia)
Estación Experimental Líbano (Tolima)
Estación Experimental de Albán (Valle)
Estación Experimental Paraguaicito (Quindío)

Resultados: En la Tabla 8 se presentan las producciones medias de café (@.ha-año⁻¹ de c.p.s.) en las seis localidades.

Producción	Café libre exposición solar	Café sombrío <i>C. alliodora</i>	Café sombrío <i>P. oocarpa</i>	Café sombrío <i>E. grandis</i>
Media	2.193,5 a	1.337,1 b	1.840,1 ab	1.865,9 ab

Tabla 7.

Producción media de café con sombrío de tres especies forestales y a libre exposición solar en la Estación Experimental Paraguaicito.

Tukey al 5%. Valores con diferente letra, difieren significativamente

Fertilizante g/planta/año	Producción de café en pergamino seco (@.ha.año ⁻¹)					
	Naranjal	Albán	El Rosario	Paraguaicito	Líbano	Supía
0	188	164	208	232	116	90
200	271	211	234	249	142	115
400	284	217	277	266	148	124
600	291	234	293	263	149	132

Tabla 8.

Producción media de café bajo sombrío como respuesta a la fertilización (Fertilizante 17-6-18-2)

De acuerdo a los resultados obtenidos, Mestre (1996) pudo concluir que en cafetales cultivados bajo sombra no se justifica aplicar más de 200 gramos de fertilizante del grado 17-6-18-2 por planta y por año (500 kg/ha); cantidad con la cual se suministra a las plantas, los elementos N, P y K y las dosis similares a aquellas con las cuales se obtuvieron los mejores resultados en la seis localidades del ensayo.

Los resultados obtenidos por Mestre (1996), se refieren a cafetales bajo las mismas condiciones de sombra en las cuales se realizó el experimento. Anota finalmente que **la respuesta del café se puede favorecer con un manejo de la densidad del sombrío en la plantación mediante podas de los árboles, que permitan la recirculación del aire y una mayor penetración de la luz. Además promoviendo la formación de nuevo crecimiento vegetativo al intervenir los árboles de café, utilizando los distintos sistemas de poda conocidos.**

Aporte de materia orgánica y transferencia de nutrientes por algunas especies de árboles empleadas como sombrío en café

Muchos efectos de los árboles se expresan a largo plazo a través de las propiedades del suelo. El mantenimiento de niveles altos de materia orgánica es uno de los factores principales, tanto por su rol de mantener la estructura del

suelo, como por su importancia como fuente y sustrato de nutrientes (Beer et al., 1985; Muschler, 2000).

Descomposición de residuos y transferencia de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia Alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales

Sistema agroforestal: Simultáneo (Árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Cordia alliodora* (Nogal Cafetero), *Pinus oocarpa* (Pino) y *Eucalyptus grandis* (Eucalipto)

Estructura: Diversa

Arreglo espacial: Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m)
Arreglo espacial del café: 1,5 m x 1,5 m (4.500 plantas/ha)

Localización: Estación Experimental Paraguaicito

Resultados: Los resultados obtenidos indican que la producción media de biomasa seca en café fue de 4,35 t.ha⁻¹, en *C. alliodora* de 3,46 t.ha⁻¹, en *P. oocarpa* de 6,67 t.ha⁻¹ y en *E. grandis* de 6,39 t.ha⁻¹ (Tabla 9).

Especies	Producción de biomasa seca (t.ha ⁻¹)		
	1er año	2º año	Media
Café a libre exposición	1,47	8,40	4,94
Café con sombrío de nogal	1,42	6,16	3,79
Café con sombrío de pino	1,61	7,52	4,56
Café con sombrío de eucalipto	1,32	6,90	4,11
<i>C. alliodora</i> (nogal)	1,99	4,93	3,46
<i>P. oocarpa</i> (pino)*	0,00	6,67	6,67
<i>E. grandis</i> (eucalipto)	4,67	8,12	6,39

Tabla 9.

Aporte de biomasa seca por tres especies forestales y el café en dos períodos de evaluación. Estación Experimental Paraguaicito.

*De pino se presenta la producción de biomasa seca solo del segundo año

La tasa relativa de descomposición mensual (k) en café a libre exposición solar fue de 1,0; en café bajo sombrío fluctuó entre 0,87 y 1,08; en *C. alliodora* fue de 0,78; en *P. oocarpa* de 0,26 y en *E. grandis* de 0,72, lo que indica que los residuos vegetales de pino se descomponen más lentamente que el resto de los materiales. En un período de 365 días se descompone e incorpora al suelo el 65,1% de los residuos producidos por el café; el 56,7% de los producidos por *C. alliodora*; el 25,2% de los producidos por *P. oocarpa* y el 54,0% de los producidos por *E. grandis*. La fracción de la materia orgánica no descompuesta (K_1) en un período de 365 días fluctuó entre el 34% y 42% en café bajo sus diferentes sistemas de cultivo; en *C. alliodora* fue del 46%; en *P. oocarpa* del 77% y en *E. grandis* del 49%.

El sistema de cultivo de café, libre exposición solar o bajo sombrío y la disponibilidad o no de agua en el suelo no tiene influencia sobre la descomposición de la masa vegetal en estos sistemas agroforestales.

Los contenidos de N, P, K, Ca Mg en la biomasa seca producida por el café, el nogal, el pino y eucalipto se presentan en la Tabla 10.

En un período de 365 días de descomposición, la biomasa seca producida por el café, transfiere al suelo el 64,8% del N, 82,9% del P, el 96,7% del K, el 34,3% del Ca y el 63,1% del Mg contenido en los residuos vegetales. En este mismo período, la descomposición de los residuos vegetales producidos por *C. alliodora* transfiere al suelo el 33,3% del N, 54,4% del P, 93,6 del K, el 54,0% del Ca y el 67,7% del Mg contenido en estos residuos. Al finalizar los 365 días los residuos vegetales producidos por *P. oocarpa*, no transfirieron al suelo N, P, Ca y Mg; solo liberaron el 64,5% del K presente en los residuos. En un período de 365 días de descomposición la biomasa seca producida por *E. grandis*, transfiere al suelo el 23,6% del N, 35,5% del P, el 89,3% del K, el 28,5% del Ca y el 39,9% del Mg contenido en los residuos vegetales.

Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío

Sistema agroforestal: Simultáneo
(Árboles con cultivos perennes)

Componente arbóreo: *Inga densiflora*
(Guamo santafereño)

Estructura: Simple

Arreglos espaciales: Zonal o sistemático
(12,0 x 12,0 m)

Arreglo espacial del café: 1,5 x 1,5 m
(4.500 plantas/ha)

Localización: Estación Central Naranjal
Granja Albán, Municipio de El Cairo (Valle del Cauca)

Resultados: Los resultados obtenidos muestran que los cafetales con sombrío de guamo produjeron cerca de 11,0 t.ha-año⁻¹ de residuos vegetales (Cardona y Sadeghian, 2005). La tasa de descomposición de los residuos de guamo fue de 44,0% al año en el Cairo y de 54,0% en Naranjal. Los contenidos de N, P, K, Ca Mg en la biomasa seca producida por el café, el nogal, el pino y eucalipto se presentan en la Tabla 11.

En sistemas agroforestales café con sombrío de nogal, pino y eucalipto y en otro con sombrío de guamo (*Inga* sp.), Jaramillo (2003) cuantificó los diferentes componentes del ciclo hidrológico y los nutrimentos transportados por el agua lluvia dentro de los sistemas; obtuvo los siguientes resultados referentes a: Intercepción, lluvia efectiva, percolación, escorrentía, lluvia interna, cantidades de nutrimento en el lavado foliar y el agua de escorrentía.

Nutriente	Café		Nogal		Pino		Eucalipto	
	(%)	kg	(%)	kg	(%)	kg	(%)	kg
N	2,83	123,1	1,44	49,8	0,48	32,0	0,78	49,8
P	0,21	9,1	0,10	3,5	0,02	1,3	0,05	3,2
K	1,25	54,4	0,80	27,7	0,18	12,0	0,59	37,7
Ca	1,75	74,8	5,50	190,3	0,45	30,0	1,07	68,4
Mg	0,35	15,2	0,80	27,7	0,06	4,0	0,14	8,9

Tabla 10.

Concentración y contenido total de nutrientes en la biomasa seca producida por cada especie forestal.

Nutriente	Café con sombrío de guamo	
	Naranjal	El Cairo
N	199,2	219,4
P	7,7	13,8
K	48,9	55,5
Ca	158,1	187,1
Mg	27,3	30,7

Tabla 11. Retorno anual de nutrimento (kg.ha-año⁻¹) en el material orgánico. Estación Central Naranjal (Chinchiná Caldas) y El Cairo (Valle).

En plantaciones de café con sombrío de guamo y nogal la lluvia interceptada fue de 58% y 56% respectivamente. Del total de la lluvia externa, solamente el 47% llega a la superficie del suelo; de ésta el 6% es agua de escorrentía y el 41% ingresa al perfil del suelo. El almacenamiento de agua por la parte aérea de la planta fue de 0,3 mm en café a libre exposición solar y de 0,4 mm con sombrío de pino. Las cantidades de nutrimentos que ingresan al suelo en el agua de lavado foliar en los sistemas analizados fueron potasio 85,4 kg.ha-año⁻¹; calcio 41,1 kg.ha-año⁻¹; magnesio 12,0 kg.ha-año⁻¹; nitratos 21,9 kg.ha-año⁻¹. El pH promedio del agua de lavado fue de 6,6; en café con sombrío de eucalipto fue de 6,3 y en café son sombrío

de pino de 6,4. Las cantidades de nutrimento que se movilizaron en el agua de escorrentía presentaron un valor medio de 11,0 kg.ha-año⁻¹ para K, 6,2 kg.ha-año⁻¹ para Ca, 2,5 kg.ha-año⁻¹ para Mg y 3,3 kg.ha-año⁻¹ para nitratos.

Consideraciones prácticas

Los valores de interceptación de lluvia se deben considerar en el manejo de las distancias de siembra de los árboles de sombrío y el café, especialmente en regiones secas o en zonas con distribución de lluvia inadecuada, donde ocurren períodos de deficiencia de agua prolongados, ya que una cobertura densa del sombrío o del café podría disminuir el agua disponible en el suelo para el desarrollo del cultivo (Jaramillo, 2003).

Recomendaciones prácticas

Los sistemas agroforestales con café permiten:

- Una mejor utilización del espacio vertical y mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales del sistema.
- Moderación del microclima dentro del cultivo (Regulación de temperaturas extremas, sombra, menor evapotranspiración y viento).
- Mayor protección contra la erosión por viento y agua (Menos impacto erosivo de las gotas de lluvia y escorrentía superficial).
- Mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles.
- Mantenimiento de la estructura y fertilidad del suelo: aportes de materia orgánica, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (Principalmente en zonas secas).
- Recuperación de suelos degradados.
- Obtención de productos adicionales: Madera, frutos, leña, hojarasca y forraje, entre otros.
- Se puede tener mayor producción y calidad de las cosechas en ambientes marginales.
- Posibilidad de adaptación de la caficultura a las variaciones climáticas.
- Proveer hábitat para mayor biodiversidad.
- Reducir la diseminación y daño por plagas y enfermedades.
- Reducir externalidades ecológicas (Contaminación de suelos).

Literatura citada

- BEER, J.W.; MUSCHLER, R.G.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems* 38:139-164. 1998.
- BEER, J.W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry systems* 5(1):3-13. 1987.
- BEER, J.W.; FASSBENDER, H.W.; HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE: Modelos de los ciclos de la materia orgánica y elementos nutritivos en los sistemas café (*Coffea arabica*, Híbrido de Timor) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró gigante (*Erythrina poeppigiana*). Costa Rica : Avances en la investigación forestal, 1985. p 83-86. (Boletín Técnico No. 147).
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 334).
- CASTILLO R., M.E.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA R., J. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con el área foliar del *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 48(3):182-194. 1997.
- CATIE. Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos. San José de Costa Rica : CATIE : OTS, 1986.
- CENICAFÉ. Base de datos Flora. [En línea]. Chinchiná : CENICAFÉ, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.orton.ac.cr/flora/htm>. Consultado en mayo de 2004.
- CENICAFÉ. Anuario meteorológico cafetero 2002. Chinchiná : CENICAFÉ, 2004. 536 p.
- DURAN V., Y. Sistemas agroforestales. UNAD, 2004. 56 p.
- FARFÁN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Desarrollo de una metodología para medir sombrío en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 54(1):24-34. 2003.
- FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. *Cenicafé* 55(2):161-174. 2004.
- FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetera norte de Colombia. *Cenicafé* 55(3):232-245. 2004.
- FARFÁN V., F.; URREGO, B. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. *Cenicafé* 55(4):317-329. 2004.
- FASSBENDER, H.W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba : CATIE, 1987. 475 p.
- FNC. Sistema de información cafetera: Encuesta nacional cafetera SICA, estadísticas cafeteras informe final. Bogotá : FNC, 1997. 178 p.
- FNC. Manual del cafetero colombiano. 2da. ed. Bogotá : FNC, 1958. 571 p.
- GUHARAY, F.; MONTERROSO, D.; STAVER, C. El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América central. *Agroforestería en las Américas* 8(29):22-29. 2001.
- HAGGAR, J.P.; SCHIBLI, C.; STAVER, C. Cómo manejar árboles de sombra en cafetales. *Agroforestería en las Américas* 8(29):37-41. 2001.
- JARAMILLO R., A. Balance hídrico de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 33(1):15-34. 1982.
- JARAMILLO R., A. Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 192 p.
- JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé* 54(2):134-144. 2003.
- JARAMILLO R., A.; ESCOBAR E., B.; SANTOS, J.M. DOS. Flujos de radiación solar y de energía en cafetales: Concurso nacional de meteorología y climatología. Bogotá : Sociedad colombiana de meteorología, 1980. 28 p.
- MUSCHLER R. Arboles en cafetales. Turrialba : CATIE, 2000. 139 p.
- MESTRE M., A. Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. Chinchiná : CENICAFÉ, 1996. 4 p. (Avances Técnicos No. 231)
- NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry systems* 3(2):97-128. 1985.

- OROZCO, C.F.J.; JARAMILLO, R.A. Comportamiento de introducciones de *Coffea* sometidas a condiciones de déficit de humedad en el suelo. *Cenicafé* 29(3):61-93. 1978.
- PERFECTO I.; RICE R., A.; GREENBERG R.; VAN DER VOORT M.,E. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8):598-608. 1996.
- RAMÍREZ M., L.G. Producción de café bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de Poró. Managua: CONCAFÉ : IICA, 1995. p.v.
- RICE R., A. El café, la conservación ambiental y el comercio en el hemisferio occidental. Washington : SMBC : NRDC, 1997. 51 p.
- SÁNCHEZ L., J.A. La agroforestería y el desarrollo sostenible. FHIA, 2003. 19 p.
- SIVETZ, M. The coffee plant; this evergreen plant needs shade, moisture. *Tea and coffee trade journal* 141(5):16-17;25-26;30-33. 1971.
- SOMARRIBA, E. ¿Qué es agroforestería?. *El Chasqui* 24: 5-13. 1990.
- SOTO P., L.; PERFECTO, I.; CASTILLO H., J.; CABALLERO N., J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. *Agriculture ecosystems and environment* 80(1-2): 61-69. 2000.
- TORQUEBIAEU, E. Conceptos de agroforestería: Una introducción. Chapingo : Universidad Autónoma de Chapingo: ICRAF. 1993. 92 p.
- VAN NOORDWIJK, M.; HAIRIAH, K. URNIATUN. Tree soil crop interactions: Lecture note 2. Bogor : International centre for research in agroforestry, 2000. 12 p.
- WEAVER, J.E.; CLEMENTS, F.E. Ecología vegetal. Buenos Aires : ACME, 1944. 667 p.
- WILKINSON, K.M.; ELEVITCH, C.R.; THAMAN, R.R. Choosing timber species for Pacific island agroforestry: Agroforestry guides for Pacific islands. Holualoa : Permanent agriculture resources, 2000. 25 p.
- WILKINSON, K.M.; ELEVITCH, C.R. Integrating understory crops with tree crops: An introductory guide Pacific island, agroforestry guides for Pacific islands. Holualoa : Permanent agriculture resources, 2000. 23 p.