

# Producción de café en sistemas agroforestales

Fernando Farfán Valencia



Agroforestería es el nombre genérico para describir un sistema de uso de la tierra en el cual los árboles se combinan temporal y espacialmente con pasturas (uso animal) o cultivos agrícolas; en la agroforestería se mezclan elementos de la agricultura con elementos forestales que se traducen en sistemas de producción sostenibles en la misma unidad de terreno (Durán, 2004).

En términos generales, la agroforestería es un sistema de manejo sostenible de los cultivos y del suelo mediante el cual se busca aumentar los rendimientos en forma continua combinando la producción de las especies arbóreas con cultivos de valor económico, entre los cuales se incluyen pastos para la producción animal, en una forma simultánea o secuencial en la misma unidad de terreno (Durán, 2004; Sánchez, 2003; Torquebiaeu, 2000), con aplicación de prácticas de manejo compatibles con las prácticas culturales de la población local (Duran, 2004).

La importancia relativa y el efecto de las diferentes interacciones entre los árboles de sombra y el café depende de las condiciones del sitio (suelo y clima), la selección del genotipo (especie, variedad y procedencia), las características bajo y sobre el suelo de los árboles y los cultivos, así como de las prácticas de manejo del cultivo principal (Beer *et al.*, 1998). Estas interacciones pueden afectar positiva o negativamente la producción del café (Cietto *et al.*, 1991; Herrera *et al.*, 1997; Ramírez, 1995).

La combinación de árboles y cultivos es una asociación entre entes diferentes que coexisten y comúnmente difieren en rendimientos económicos. En el caso de los cafetales en sistemas agroforestales, sería de los árboles de los cuales se esperaría la menor utilidad. Por tanto, la introducción de estos en los cultivos no debe causar pérdidas en la productividad por máspreciado que sea su servicio ambiental (Wadsworth, 1997). La tarea es conocer, identificar e integrar la forestería y la agricultura a las tecnologías forestales y agronómicas, apoyándose en el conocimiento de tradiciones sociales rurales y las destrezas en las relaciones humanas.

En Colombia, el café es un cultivo que se planta a plena exposición solar pero es común observar plantaciones establecidas con varios tipos y cantidades de cobertura arbórea. Es así como de las 869.158 ha cultivadas con café, cerca del 70% se cultiva bajo algún tipo de sombrío (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1997), dadas las diversas condiciones climáticas y de suelo de nuestras zonas cafeteras. Los árboles de sombrío en los cafetales permiten ejercer un control sobre la economía del agua lo que mitiga los efectos que los períodos de déficit hídrico imponen sobre la producción; también, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, ayudan

a reducir la erosión, reciclan nutrientes y aportan gran cantidad de materia orgánica (Beer, 1987), además incrementan las poblaciones de plantas epífitas y aumentan la diversidad de las especies de aves, entre otros (Kiara y Naged, 1995).

## Definición de sistemas agroforestales

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

Somarrriba (1987) indica que la agroforestería es una forma de uso de la tierra en la que se cumplen las siguientes condiciones fundamentales:

- Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente.
- Al menos una especie es una leñosa perenne.
- Al menos una de las especies tiene fines agrícolas.

La Organización para Estudios Tropicales (1986), la define como “formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales las especies leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal”.

Fassbender (1987) y Torquebiaeu (2000), indican que la Agroforestería son una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan o interactúan árboles con cultivos agrícolas (anuales o perennes), en función del tiempo y del espacio, para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida (Figura 8.1).

Las técnicas agroforestales son una opción para la utilización de tierras en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, basadas en la búsqueda de las prácticas que integren, sobre una misma superficie, diferentes modalidades de producción, con distintas especies y diferentes exigencias de nutrientes, suelos y agua.

## Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de los sistemas agroforestales es necesaria, y busca proveer un marco conceptual

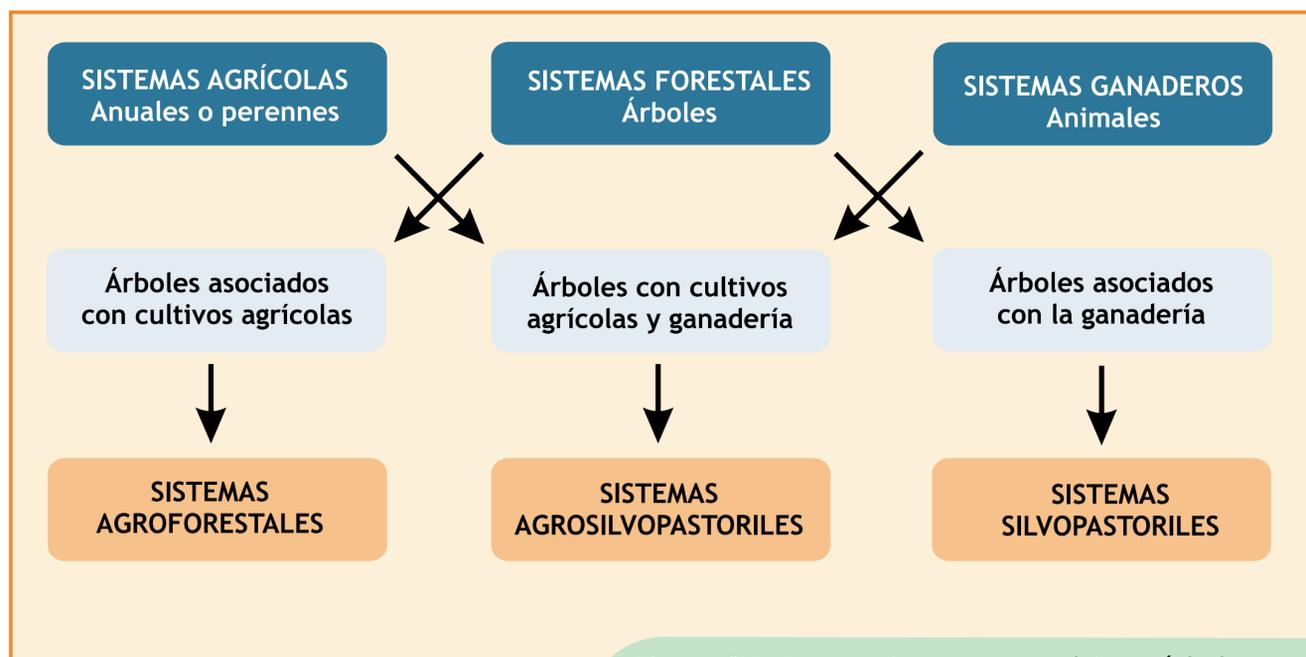


Figura 8.1. Interacciones entre cultivos, árboles y animales

para evaluarlos y desarrollar planes de acción para su mejoramiento. Dada la diversidad de los sistemas agroforestales su clasificación puede ser compleja o simple (Nair, 1985; Fassbender, 1987):

Las clasificaciones complejas se realizan según:

- a. La distribución del componente arbóreo en el tiempo y en el espacio.

En el tiempo la combinación puede ser permanente o temporal.

- La combinación es permanente si se mantiene durante una o más rotaciones el componente forestal. Esto incluye la renovación continua de los cultivos asociados.
- La combinación es temporal si el componente forestal dura menos de una rotación.

En el espacio la combinación puede ser regular (homogénea), irregular (heterogénea), o contigua.

- Regular. Si el componente forestal se halla mezclado entre el cultivo agrícola.
- Irregular. Si el componente forestal está situado al costado o alrededor del cultivo agrícola.

- b. La importancia relativa de sus componentes.

- c. La función de los diferentes componentes dentro del sistema.

- d. Según los objetivos de la producción y las características sociales y económicas que prevalecen.

- Producción de madera para exportación, construcción o leña, uso forrajero en ramoneo, de frutos, etc.

- Protección y servicios: mejoramiento del suelo, establecimiento de sombra, cercos vivos, cortinas rompevientos, etc.

Las clasificaciones simples se basan en las funciones de las asociaciones o las estructuras entre las especies, y pueden dividirse en tres grupos (Figura 8.2):

1. Sistemas agroforestales. Asociaciones de árboles con cultivos agrícolas.
2. Sistemas agrosilvopastoriles. Asociaciones de árboles, cultivos agrícolas y pasturas como alimento de animales.
3. Sistemas silvopastoriles. Asociaciones de árboles con pasturas. Los animales deben estar presentes físicamente cerca de los árboles y dentro del mismo terreno para calificar como tal.

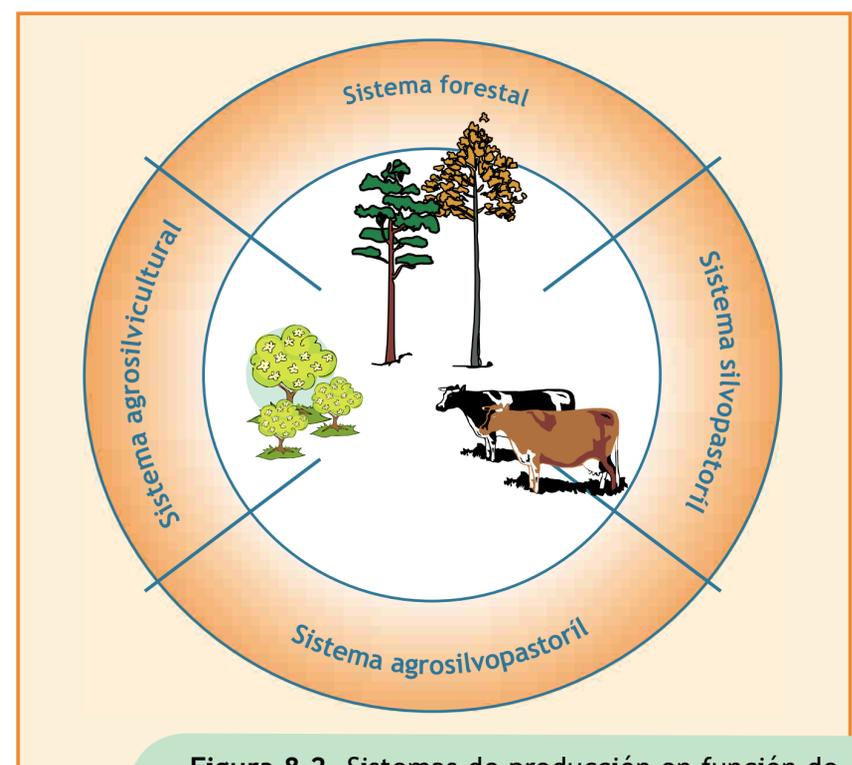


Figura 8.2. Sistemas de producción en función de las asociaciones o estructuras entre las especies.

Una tercera forma de clasificación de los sistemas agroforestales puede basarse en el tipo de componentes incluidos y en la asociación (espacial y temporal) que existe entre los componentes (Figura 8.3). Esta clasificación es descriptiva y al nombrar cada sistema, además de los componentes, se obtiene una idea de su fisonomía y sus principales funciones y objetivos.

## Análisis estructural de los sistemas agroforestales

Sin importar el sistema de clasificación empleado en los sistemas agroforestales, es primordial realizar un análisis simple de los SAF, denominado **análisis estructural de los sistemas**. Este análisis se fundamenta en la presencia, el arreglo y la disposición de los componentes dentro del sistema (Figura 8.4) (Torquebiaeu, 2000). Nuevamente, dentro del análisis estructural se incluyen los sistemas de clasificación simple.

### Presencia

Basada en la presencia de los tres principales componentes agroforestales, árboles, cultivos y pasturas (animales), se definen las siguientes categorías estructurales:

Sistemas agrosilvícolas.  
Sistema silvopastoriles.  
Sistema agrosilvopastoriles.

### Arreglo

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

**Mixto.** Los componentes no están arreglados o dispuestos geoméricamente en el lote, es decir aparecen de manera irregular; como ejemplo, puede mencionarse la caficultura tradicional (Federación Nacional de Cafeteros, 1997), donde no hay arreglo espacial ni del sombrero ni del café, es decir los componentes fueron establecidos en forma deliberada en los lotes (Rice, 1997; Perfecto *et al.*, 1996) (Figura 8.5).

**Zonal.** Los diferentes componentes están arreglados geoméricamente dentro del lote. Para citar como ejemplo, en los cafetales se establece la sombra de una forma sistemática, con arreglos espaciales definidos, buscando un nivel de sombrero óptimo para el café

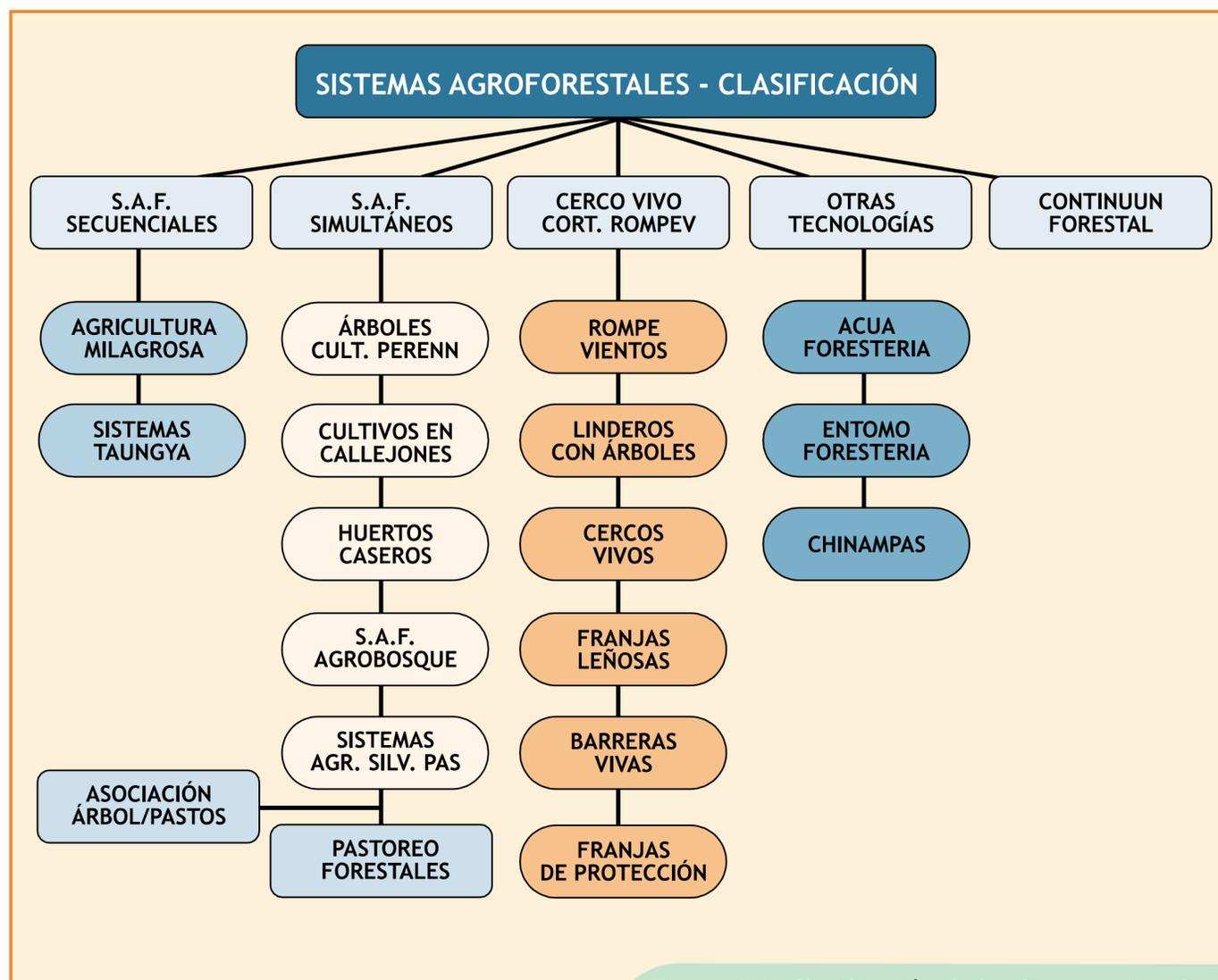


Figura 8.3. Clasificación de los Sistemas Agroforestales - SAF.

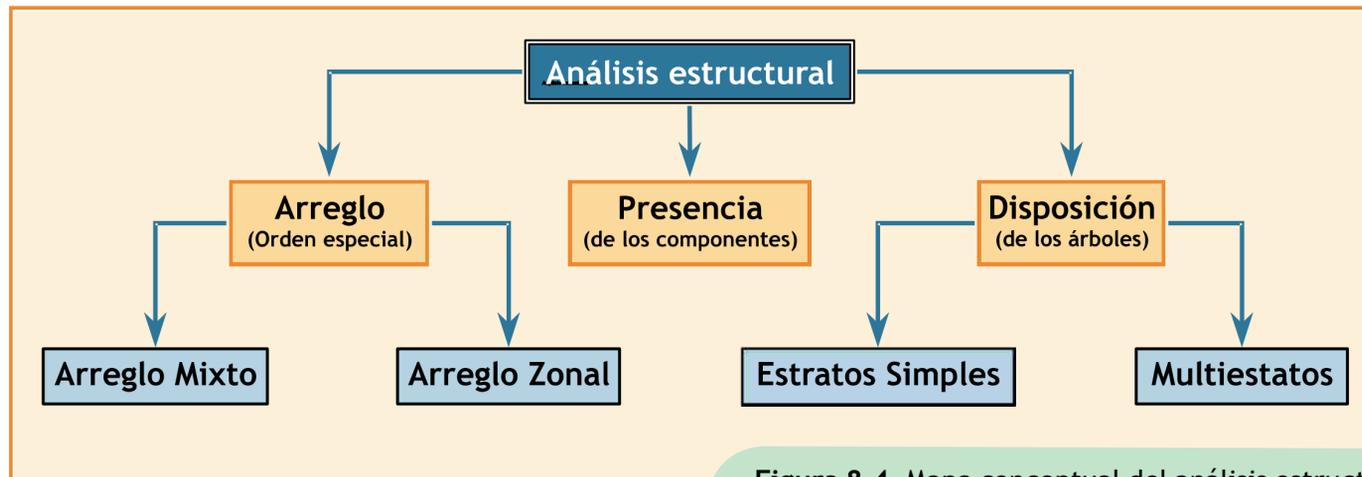


Figura 8.4. Mapa conceptual del análisis estructural de los sistemas agroforestales.

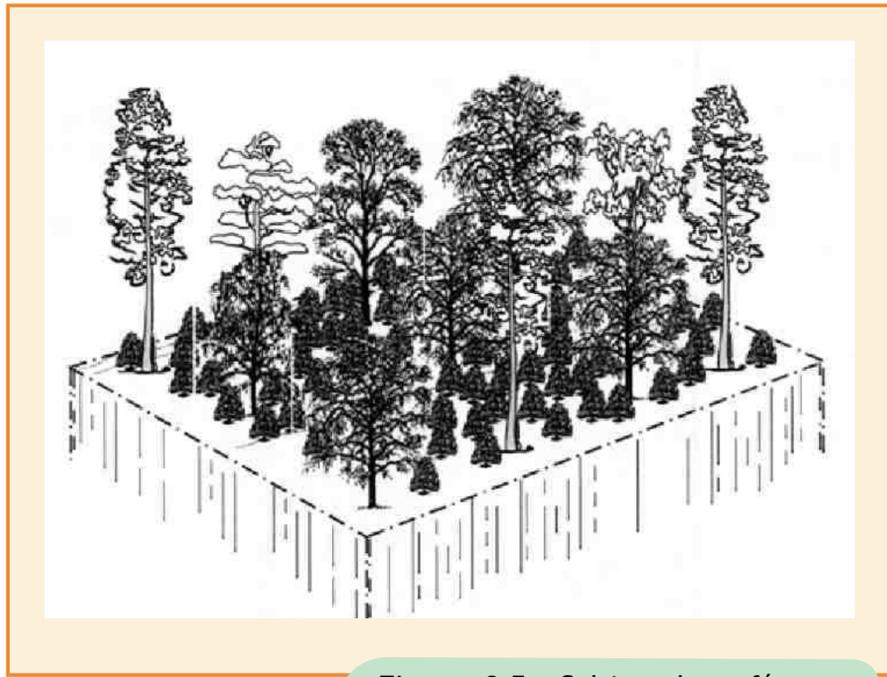


Figura 8.5. Cultivo de café con sombrío tradicional diverso.



Figura 8.6. Cultivo de café con sombrío diverso tecnificado.

(Figura 8.6) (Federación Nacional de Cafeteros, 1997). Las especies arbóreas comúnmente empleadas como sombrío pertenecen a los géneros *Inga*, *Albizia* y *Erythrina* (Rice, 1997; Federación Nacional de Cafeteros, 1958).

## Disposición

La disposición o estratificación de los componentes puede ser simple o estar dispuesta en varios estratos (multiestratos).

**Estratos simples.** Sólo hay una capa de árboles; por ejemplo, café con sombrío solamente de guamo, carbonero o cámbulo, etc (Figura 8.7).

**Multiestratos.** En la disposición estratificada hay varias capas de árboles, en el caso del café el sombrío puede establecerse con diversas especies simultáneamente (Figura 8.8).

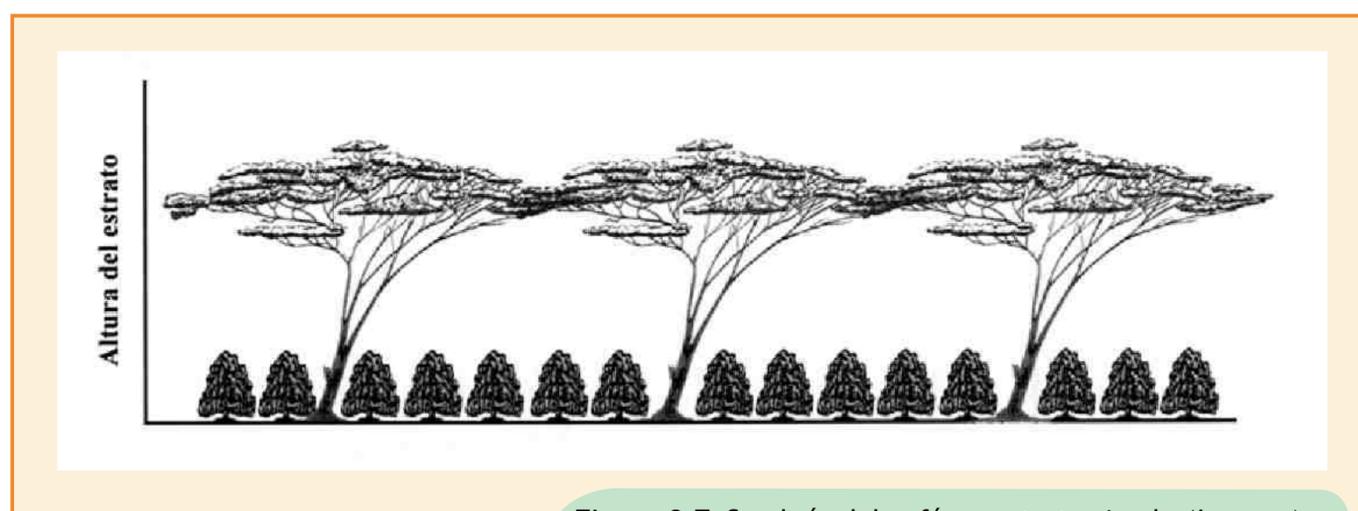


Figura 8.7. Sombrío del café en estrato simple (*Inga* sp.).

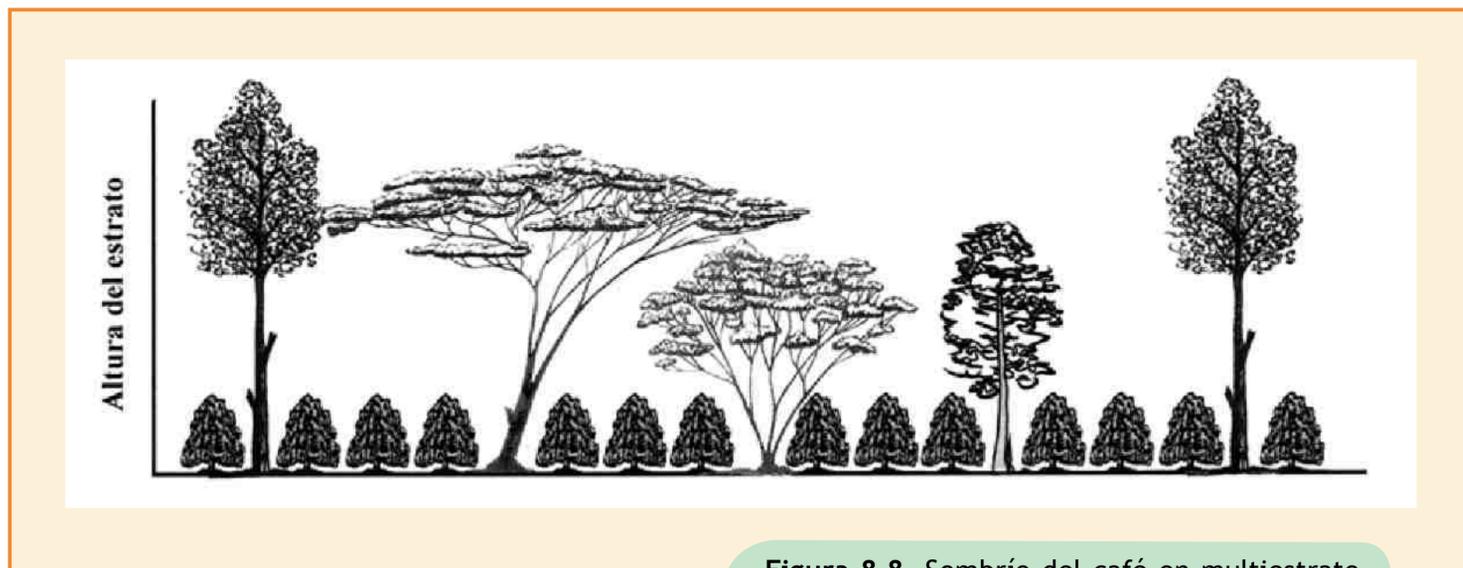


Figura 8.8. Sombrío del café en multiestrato (*Inga* sp. + *Albizia* sp. + *Erythrina* sp., otros).

Existen otras disposiciones de los componentes dentro de los sistemas como:

**Densa.** Los componentes están juntos estrechamente en la parcela.

**Dispersa.** Los componentes están lejos unos de otros.

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

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

## Categorías de los sistemas agroforestales

Después de la clasificación de los sistemas agroforestales, es necesario establecer categorías que reúnan elementos comunes articulados y jerárquicos (Nair, 1985), de manera que se facilite el conocimiento de las funciones de los sistemas. Estas categorías son:

**Sistema agroforestal (Categoría superior).** Asociaciones o arreglos agroforestales conformados por el componente arbóreo y el agrícola de interés económico.

**Tecnología agroforestal (Categoría intermedia).** Arreglo definido de los componentes del sistema con ciertas disposiciones en el espacio y el tiempo.

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

## Sistemas agroforestales

### Componentes abióticos y bióticos de los sistemas

Los componentes abióticos son climáticos, fisiográficos, edafológicos y geológicos, y los bióticos relacionan todos los organismos vivos que participan en los sistemas. El esquema de sistemas (Figura 8.9), ayuda a enfocar la finca como una unidad compleja y dinámica, y a comprender los efectos de los cambios que se introducen en ella; lo que resulta particularmente útil en el estudio y la puesta en práctica de sistemas agroforestales, pues la presencia del componente arbóreo introduce nuevas interacciones y una dinámica diferente.

Las tecnologías agroforestales más comunes son:

**Árboles asociados con cultivos perennes.** Los sistemas agroforestales con café, comunes en las zonas cafeteras colombianas, pueden clasificarse como simultáneos (Organización para Estudios Tropicales, 1986). En contraste con los sistemas agroforestales secuenciales o con interacción cronológica, en los sistemas simultáneos (con interacción directa), los componentes agrícolas y arbóreos se encuentran en el mismo terreno durante toda la duración del sistema. El objetivo principal de los S.A.F. simultáneos es la diversificación de la producción, aunque también pueden lograrse aumentos en la productividad a través de algunas interacciones con el componente arbóreo.

A esta categoría pertenecen todas las combinaciones de árboles y cultivos perennes donde el componente arbóreo crea un piso superior y cubre los cultivos (Figura 8.10). La cubierta del árbol puede ser muy abierta o casi cerrada como los árboles de sombra de algunas

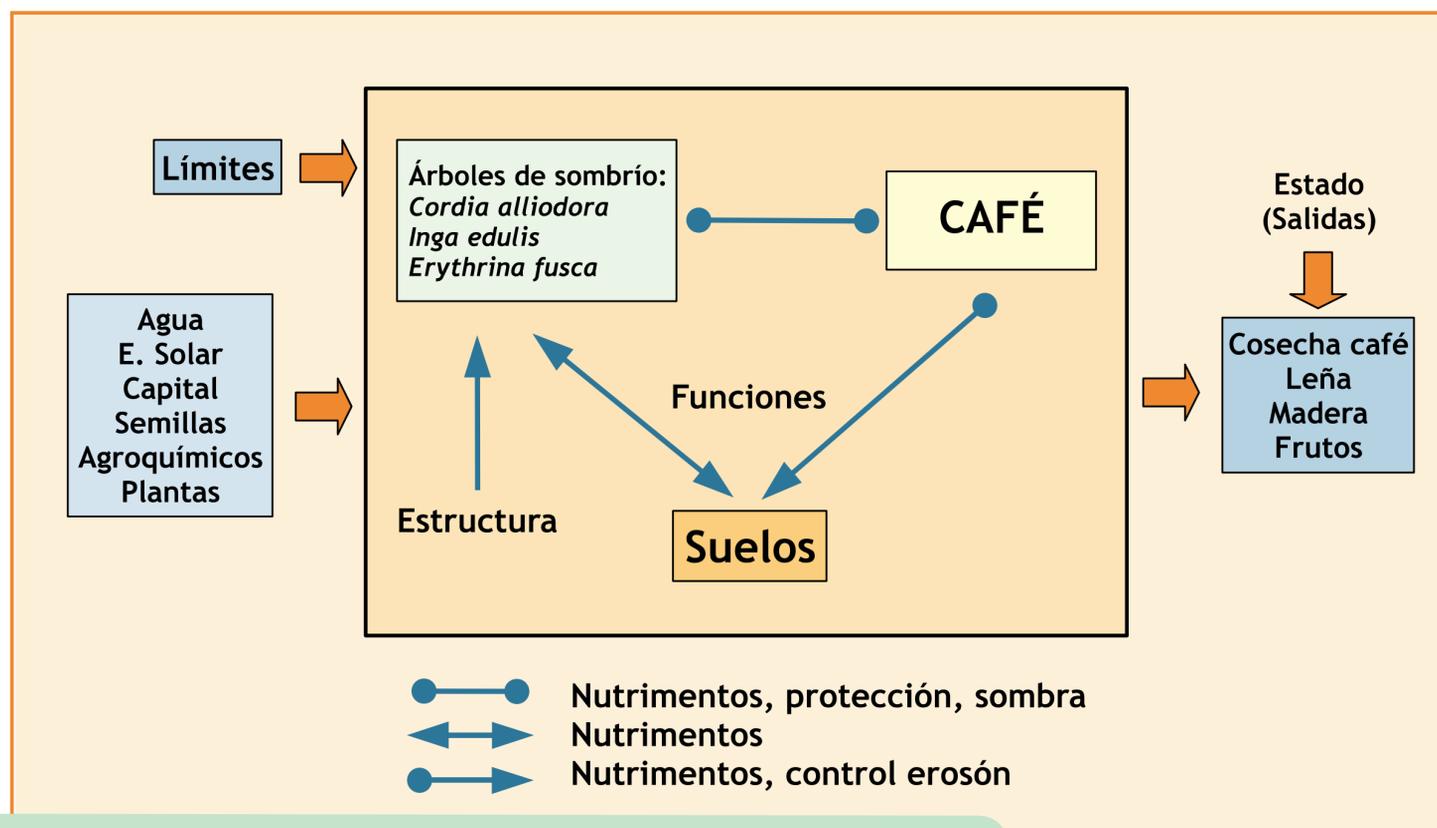


Figura 8.9. Representación esquemática de un sistema agroforestal con café.

plantaciones de café o de cacao. El cultivo del café constituye la base para muchos sistemas simultáneos, especialmente en las tierras altas y fértiles.

Las plantaciones comerciales intensivas en asociación con árboles de múltiples usos, también pertenecen a la categoría de cultivos bajo cubierta arbórea. Entre los casos más conocidos se encuentra el café cultivado bajo sombra de *Erythrina* sp., *Inga* sp. y *Cordia alliodora*, entre otros.

A pesar que el café tiene mayores rendimientos en monocultivo o plantaciones sin el empleo de sombrío, cerca del 70% del área cultivada con café tiene al

menos una especie arbórea para sombra. Esto se debe a diversos factores restrictivos para la producción como deficiencias hídricas, altas temperaturas, alta radiación solar, baja fertilidad de los suelos, entre otros. El uso de árboles como sombrío en cafetales se debe también a la necesidad de obtener otros productos como leña, madera o frutas, es decir, diversificar la plantación de productos necesarios para el autoabastecimiento en la finca (Beer *et al.*, 1989; Beer, 1987; Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

**Árboles en asociación con cultivos anuales (Cultivos en callejones).** Consiste en la asociación de hileras de plantas o cercas de árboles en parcelas donde los cultivos se encuentran en callejones entre los surcos de los árboles (Figura 8.11). En estas asociaciones, las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo son similares a las del caso anterior. Estos sistemas se establecen para especies anuales tolerantes a la sombra, en caso contrario se trataría de sistemas Taungya<sup>1</sup> (Figura 8.3).

El concepto de cultivo en callejón, fue desarrollado en Nigeria, con el fin de tratar de resolver de una manera espacial y simultáneamente con el crecimiento del cultivo el problema de la disminución de la fertilidad del suelo, observado en la agricultura migratoria y tradicionalmente, resuelto con el barbecho.

Aunque se pierde algún espacio por la siembra de árboles, se espera que este sistema se equilibre con un aumento en el rendimiento del cultivo por unidad de

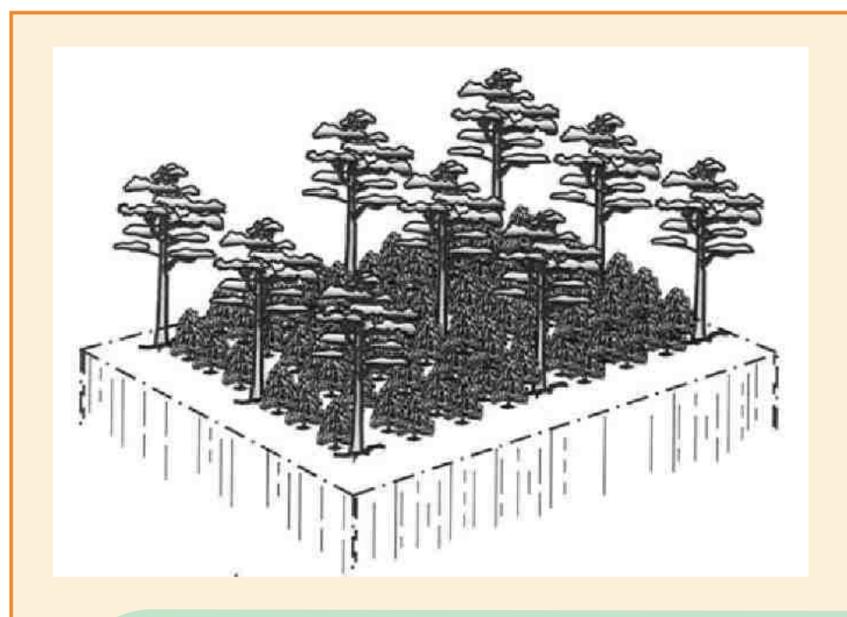


Figura 8.10. Árboles en asociación con cultivos perennes.

<sup>1</sup> Taug: colina y ya: cultivo = cultivo de colina. En los sistemas "Taungya" los árboles y cultivos crecen de manera simultánea durante el período de establecimiento de la plantación forestal (OTS, 1986; Fassbender, 1987; Somarriba, 1987; Torquebiau, 1993; Wadsworth, 2000).

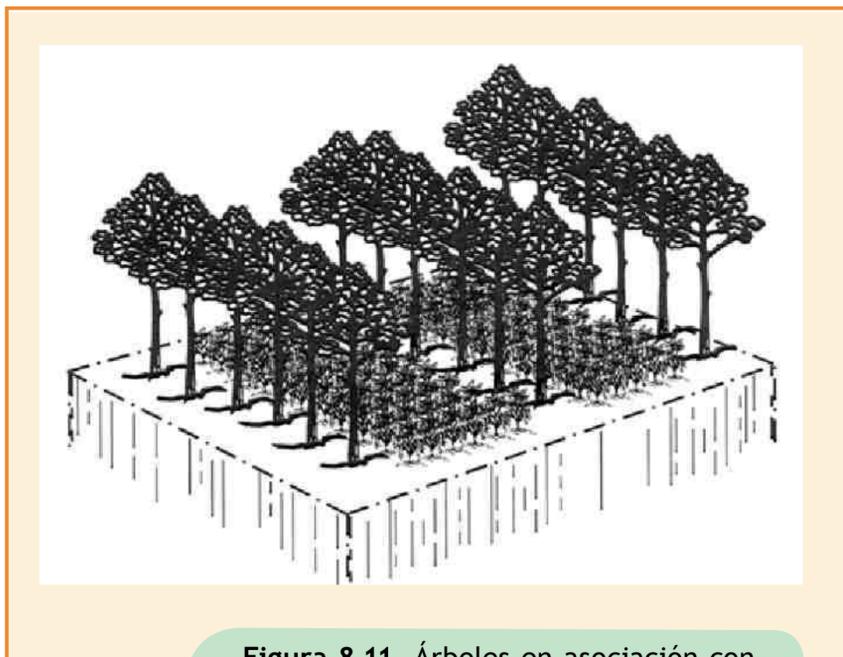


Figura 8.11. Árboles en asociación con cultivos anuales o cultivos en callejón.

área (Van Noordwijk, 2000), obtenido por el efecto de la fertilización del material orgánico proveniente de los árboles.

**Sistemas silvopastoriles.** Estos sistemas y los silvoagrícolas tienen las mismas características estructurales: los árboles cubren el piso inferior constituido por pastos, el piso inferior y algunas veces también el superior está dedicado a la producción animal. (Figura 8.12). La producción de forraje bajo la cubierta arbolada puede dedicarse a los sistemas de corte y carga. En estos sistemas pueden incluirse diferentes tipos de animales silvestres.

Estos sistemas son practicados a diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complemento a la agricultura de subsistencia.

**Cortinas rompevientos.** Son usadas para la protección de cultivos y animales, incluso donde la agricultura es intensiva. Además de jugar un papel protector, los

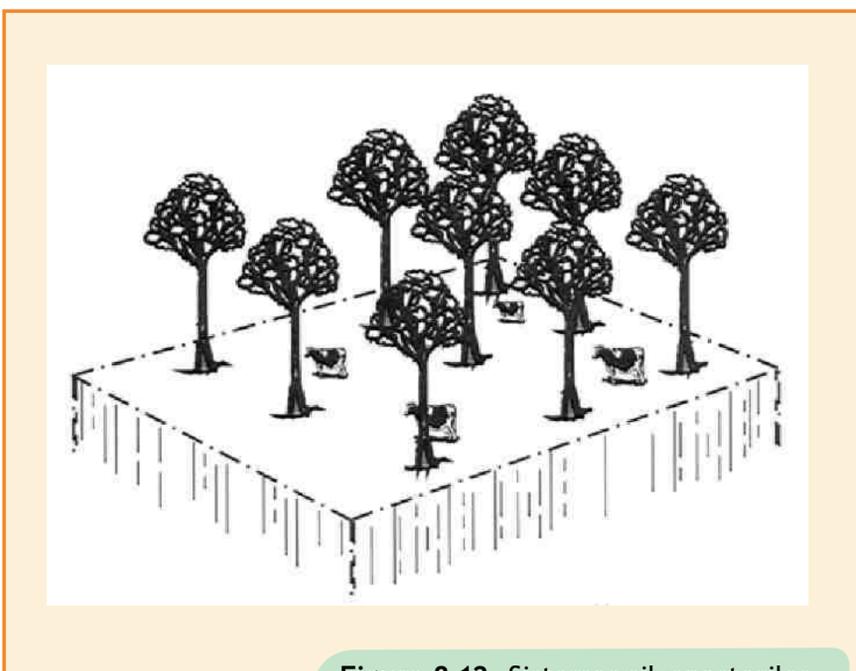


Figura 8.12. Sistemas silvopastoriles.

árboles empleados como cortinas rompevientos producen madera, abono verde, leña y frutos, entre otros (Figura 8.13). Las barreras rompevientos están constituidas por una o varias hileras de árboles.

**Plantaciones con árboles en los linderos.** Se usan para delimitar parcelas o fincas y para separar áreas con diferentes cultivos; también son usados para incorporar árboles a los paisajes agrícolas (Figura 8.14). Los árboles pueden ser explotados con fines comerciales.

**Cercas vivas.** Es una plantación de árboles que sirven de postes para delimitar una propiedad, un lote, etc. El objetivo básico es la delimitación y protección de los terrenos; de los árboles también pueden obtenerse beneficios como producción de leña, forraje, postes y madera. Generalmente unidas con alambre de púas, redes de alambre y tablones (Figura 8.15).

**Agrobosques o fincas forestales.** Esta categoría emplea tecnologías agroforestales derivadas o semejantes a los huertos caseros mixtos<sup>2</sup> (Figura 8.3), y que dan origen

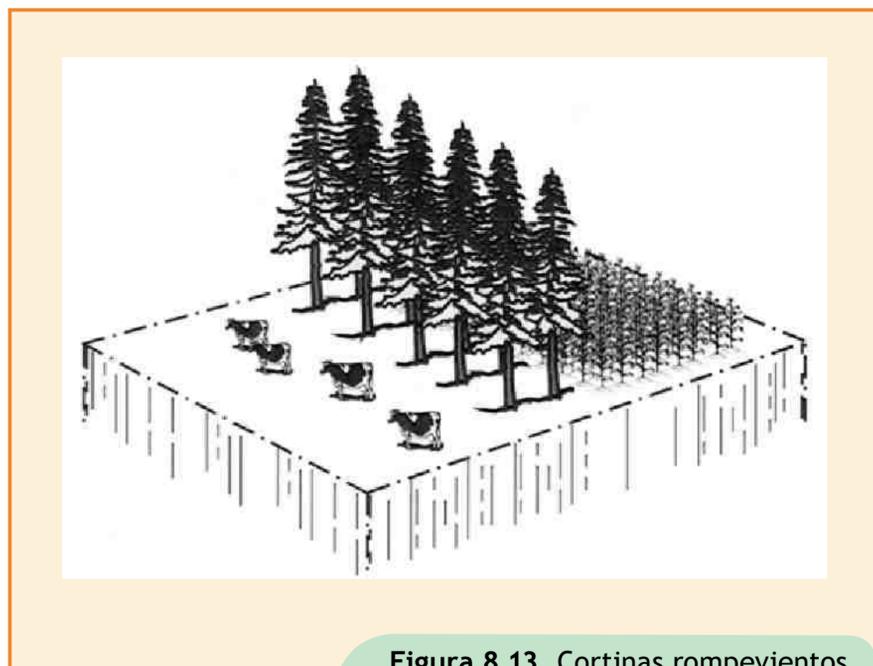


Figura 8.13. Cortinas rompevientos.

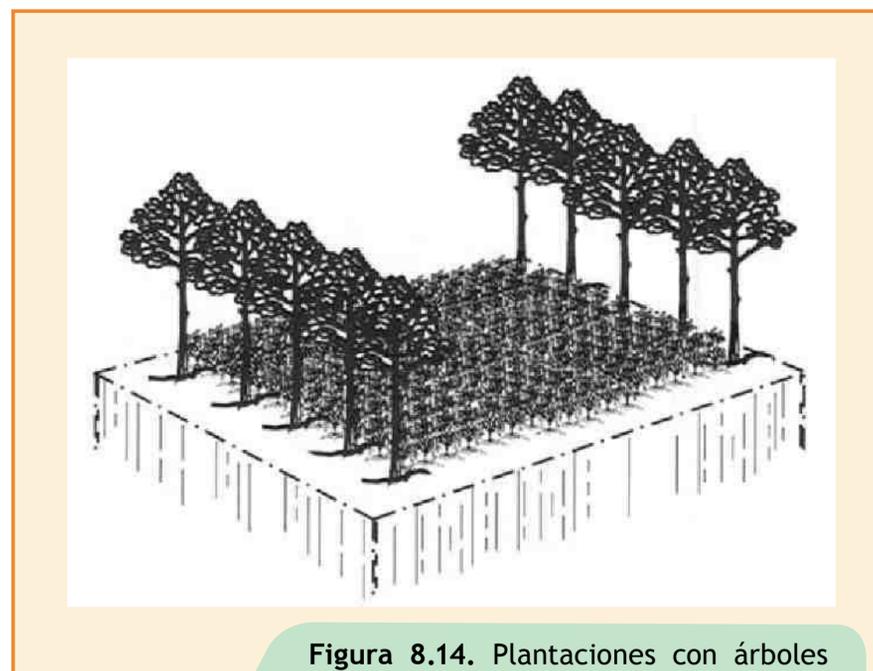


Figura 8.14. Plantaciones con árboles en los linderos.

a cultivos que se asemejan a los bosques, de aquí el nombre de agrobosque.

Frecuentemente, son pequeñas parcelas con una estructura típica de los bosques, debida a la presencia de árboles grandes y por que son generalmente de multiestratos. A menudo existe gran diversidad de especies en un arreglo no zonal de grandes árboles coexistiendo con otros más pequeños y plantas arvenses que son, generalmente, tolerantes a la sombra. En el agrobosque los árboles y los cultivos se manejan individualmente con distintas prácticas.

Otro aspecto importante de los huertos boscosos o agrobosques, es que su estructura, generalmente o algunas veces, cubren áreas muy grandes y por su tamaño y distancia de las fincas están generalmente orientados hacia la explotación como cultivos comerciales mas que hacia cultivos de subsistencia.

Uno de los principales productos de los agrobosques es la madera, aunque también pueden aprovecharse otros productos que generan altos ingresos como caucho y resinas, entre otros. En algunos casos la silvicultura social puede incluirse en la categoría de agrobosques, debido a que es un tipo de plantación silvícola que involucra la participación de la población rural.

Si el propósito tiene un objetivo específico, como producir madera, entonces es a menudo una plantación mono-específica y no un agrobosque (Figura 8.16). Sin embargo, si el bosque social es de usos múltiples (madera, leña, resinas, etc.) o está constituido por diferentes especies, entonces puede pertenecer a la categoría de agrobosque.

## Denominaciones del componente arbóreo de los SAF con café

En los sistemas agroforestales con café pueden encontrarse diversas estructuras formadas por el componente arbóreo, estas denominaciones son diferentes a las mencionadas anteriormente y dependen del arreglo espacial, las especies involucradas y del arreglo espacial del café (Federación Nacional de Cafeteros, 1958; Muschler, 2000; Sylvain, 1977; Rice, 1997; Perfecto *et al.*, 1996; Wilkinson y Elevitch, 2000). Básicamente son tres tipos de estructuras:

## Sombrío diverso tradicional, sombra rústica, policultivo tradicional o caficultura tradicional

Los sistemas agroforestales con estructura diversa o caficultura tradicional, presentan un manejo menos intensificado y se caracterizan por que el café se establece con dos o más especies de sombrío y con poca alteración de la vegetación presente, lo cual da como resultado una alta diversidad de especies en comparación con otros sistemas. Las especies arbóreas empleadas corresponden a los géneros *Inga* sp., *Erythrina* sp. y *Albizia* sp., entre otras, y se establecen deliberadamente en los lotes con café (Figura 8.17) (Rice, 1997; Perfecto *et al.*, 1996).

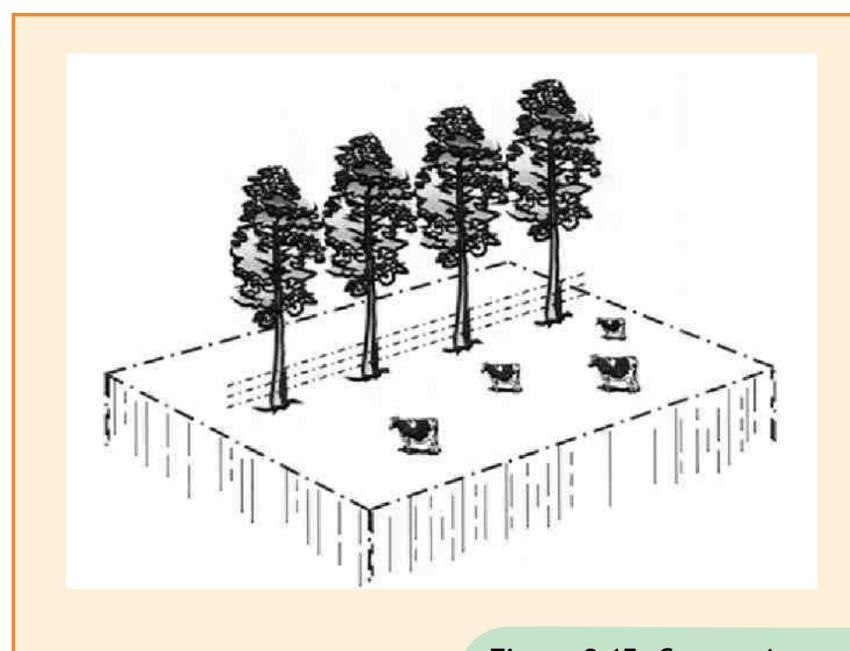


Figura 8.15. Cercas vivas.

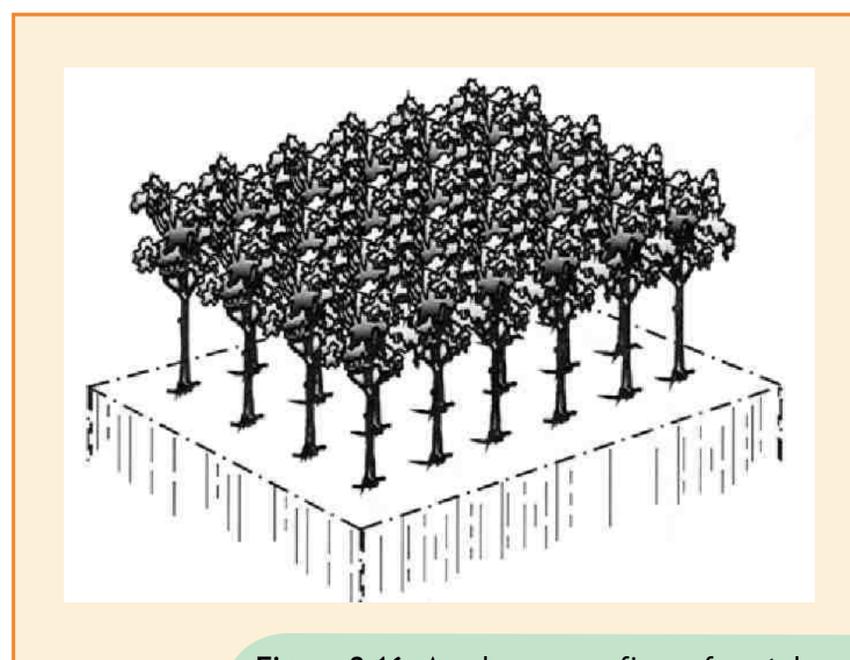


Figura 8.16. Agrobosques o fincas forestales.

<sup>2</sup> Los huertos caseros mixtos o familiares se caracterizan por tener múltiples estratos con gran variedad de árboles, cultivos y algunas veces animales. Son sistemas que producen durante todo el año y juegan un papel primordial en la alimentación básica a nivel familiar. Este tipo de SAF es el más complicado y el más antiguo, ya que involucra especies como árboles frutales, para leña, leguminosas (multipropósito), árboles maderables, animales, cultivos, pastos y plantas ornamentales, entre otros. También involucra árboles y arbustos en asociaciones cercanas con cultivos anuales cultivados intensivamente para la alimentación animal (OTS, 1986; Fassbender, 1987; Somarriba, 1987; Torquebiau, 1993; Wadsworth, 2000).

### Sombrío diverso plantado, policultivo moderno o sombrío tecnificado

En estos sistemas de cultivo el sombrío se establece sistemáticamente con arreglos espaciales definidos, en la búsqueda de un nivel de sombra óptimo para el café (Figura 8.18). Se asemeja al sistema anterior porque emplea dos o más especies arbóreas en su estructura (*Inga* sp., *Albizia* sp., *Erythrina* sp.) (Rice, 1997; Federación Nacional de Cafeteros, 1958).

### Sombrío simple plantado, policultivo moderno, policultivo comercial o sombrío tecnificado

La estructura del componente arbóreo en este sistema de cultivo está compuesta de una sola especie, generalmente *Inga* sp., establecida en arreglos espaciales sistemáticos y/o definidos tanto para la especie de sombra, como para



Figura 8.17. Cultivo de café con sombrío tradicional diverso.



Figura 8.18. Cultivo de café con sombrío diverso tecnificado.

el café, lo cual le confiere la denominación de cultivo tecnificado bajo sombrío (Figura 8.19) (Federación Nacional de Cafeteros, 1958).

## Selección y diseño de sistemas agroforestales con café

### ¿Por qué establecer café con sombrío?

Como una tendencia general en la zona cafetera ocurren dos períodos secos y dos húmedos en el año. Los meses de exceso hídrico son abril - mayo y octubre - noviembre. En las regiones Norte, Sur y Oriente del país la tendencia es la de presentar en el año una sola estación húmeda (Jaramillo, 2005).

En la región cafetera Norte de Colombia (10° 25' Latitud Norte y 73° 34' Longitud Oeste) (Subestación Experimental de Pueblo Bello - Cesar) a pesar que los valores anuales de precipitación son de 1.481 mm y que la cantidad de agua que cae en el primer semestre es el 35% (642 mm) del total anual, ocurre una estación seca pronunciada de enero a abril, con un déficit hídrico de 238 mm (Cenicafé, 2004; Jaramillo, 2005).

En la región Sur (1° 15' Latitud Norte y 77° 29' Longitud Oeste) (Estación Ospina Pérez, Consacá - Nariño), ocurre una precipitación anual de 1.204 mm (Cenicafé, 2004), cantidad que podría ser suficiente si tuviera una distribución uniforme en el año, pero hay una estación seca marcada de julio a septiembre, presentándose un déficit hídrico de 266 mm en tres meses continuos (Tabla 8.1) (Cenicafé, 2004).

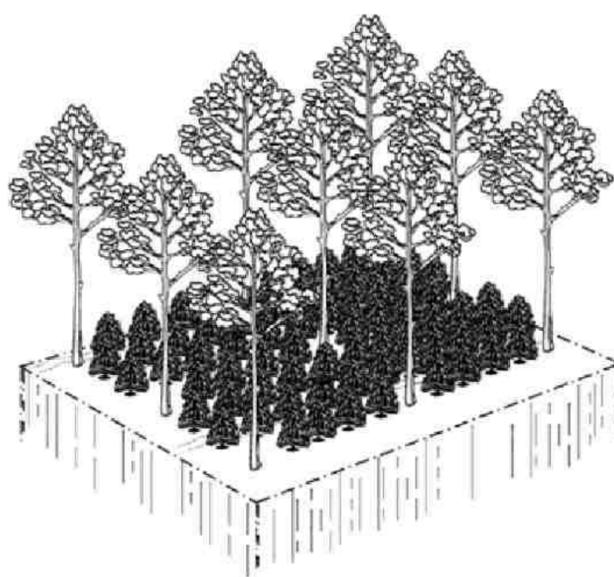


Figura 8.19. Cultivo de café con sombrío de una sola especie y tecnificado.

**Tabla 8.1.** Características climáticas de tres localidades ubicadas en tres regiones cafeteras de Colombia.

Información climática	Zona Norte (Cesar)	Zona Centro (Caldas)	Zona Sur (Nariño)
Estación meteorológica	Pueblo Bello	E. C. Naranjal	Ospina Pérez
Temperatura media	21,0 °C	21,6 °C	19,7 °C
Humedad relativa	75,1%	74,8%	71,2%
Precipitación total	1.481,1 mm	2.322,1 mm	1.203,8 mm
Días con lluvia	119	223	145
Brillo solar	2.441,7	1.829,3	1.812,9
Deficiencia hídrica	238 mm (enero - abril)	-	266 mm (julio - sept.)

El límite de deficiencia hídrica para el café es de 150 mm en tres meses continuos (Camargo y Pereira, 1994); dadas las condiciones impuestas por estas deficiencias hídricas, es común observar, en estas regiones sistemas de cultivo de café bajo cobertura arbórea o en sistemas agroforestales, con el propósito de conservar la humedad del suelo en épocas secas y disminuir los efectos que el déficit hídrico impone sobre el cultivo como: aumentar la tasa de crecimiento, evitar el “marchitamiento” de las plantas y reducir la pérdida de hojas, entre otros (Muschler, 2000; Orozco y Jaramillo, 1978).

Debe establecerse café con árboles si el relieve es fuertemente quebrado con pendientes fuertes (>50%), los suelos son susceptibles a la erosión, poco profundos y poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica, baja fertilidad natural, mal drenaje, baja permeabilidad y baja retención de humedad (Beer *et al.*, 1998).

También es necesario establecer café con sombrío si el objetivo de la producción es la participación en algunos mercados de cafés especiales, por ejemplo: cafés orgánicos, cafés amigables con las aves, cafés aliados de los bosques o cafés de conservación, entre otros.

### Diseño del sistema agroforestal con café

La selección y el diseño del SAF a establecer en la unidad de producción puede resumirse en siete pasos, como se muestra en la Figura 8.20 (Wilkinson *et al.*, 2000; Hagggar *et al.*, 2001).

#### ¿Cuál especie arbórea debe establecerse como sombrío?

Al seleccionar la especie arbórea para emplearla como sombrío del café debe tenerse en cuenta (Organización

para Estudios Tropicales, 1986; Guharay *et al.*, 2001; Muschler, 2000; Perfecto *et al.*, 1996; Wilkinson y Elevitch, 2000):

a. **¿Cuáles servicios y productos se esperan de los árboles?** El diseño de los sistemas de producción con café se inicia con la definición de los objetivos de producción. Debe hacerse un listado de los productos y servicios que espera obtener de los árboles empleados como sombrío en el cafetal, por ejemplo: protección del cultivo, recuperación del suelo, aporte de materia orgánica, reciclaje de nutrientes, conservación de la humedad del suelo, control de la erosión y producción de cafés especiales, entre otros.

b. **Identificar la características del sitio donde se establecerán los árboles.** Características de suelos, condiciones climáticas, altitud, uso y manejo del suelo, y topografía, entre otros. Diferentes investigaciones en Colombia y otros países cafeteros sugieren que el sombrío presenta una serie de ventajas principalmente en climas cálidos y secos, y en suelos con baja retención de humedad y baja fertilidad, condiciones que limitan el crecimiento y desarrollo del cultivo. Es importante considerar que el sombrío no es universalmente benéfico y que en algunas condiciones se registran desventajas asociadas especialmente con la restricción de la incidencia de la radiación solar que es el principal factor determinante de la productividad (Beer *et al.*, 1998; Farfán y Mestre, 2004 a; Hagggar *et al.*, 2001; Jaramillo, 1982; Muschler, 2000; Orozco y Jaramillo 1978). Para apoyar la decisión de cuando es necesaria la sombra en los cafetales deben analizarse varias situaciones:

- **Establecer en cuáles ambientes se espera mayor beneficio de los árboles de sombrío.** De acuerdo a la Figura 8.21, en condiciones ambientales ideales para café, el cultivo a plena exposición solar puede tener un mayor rendimiento que bajo árboles que

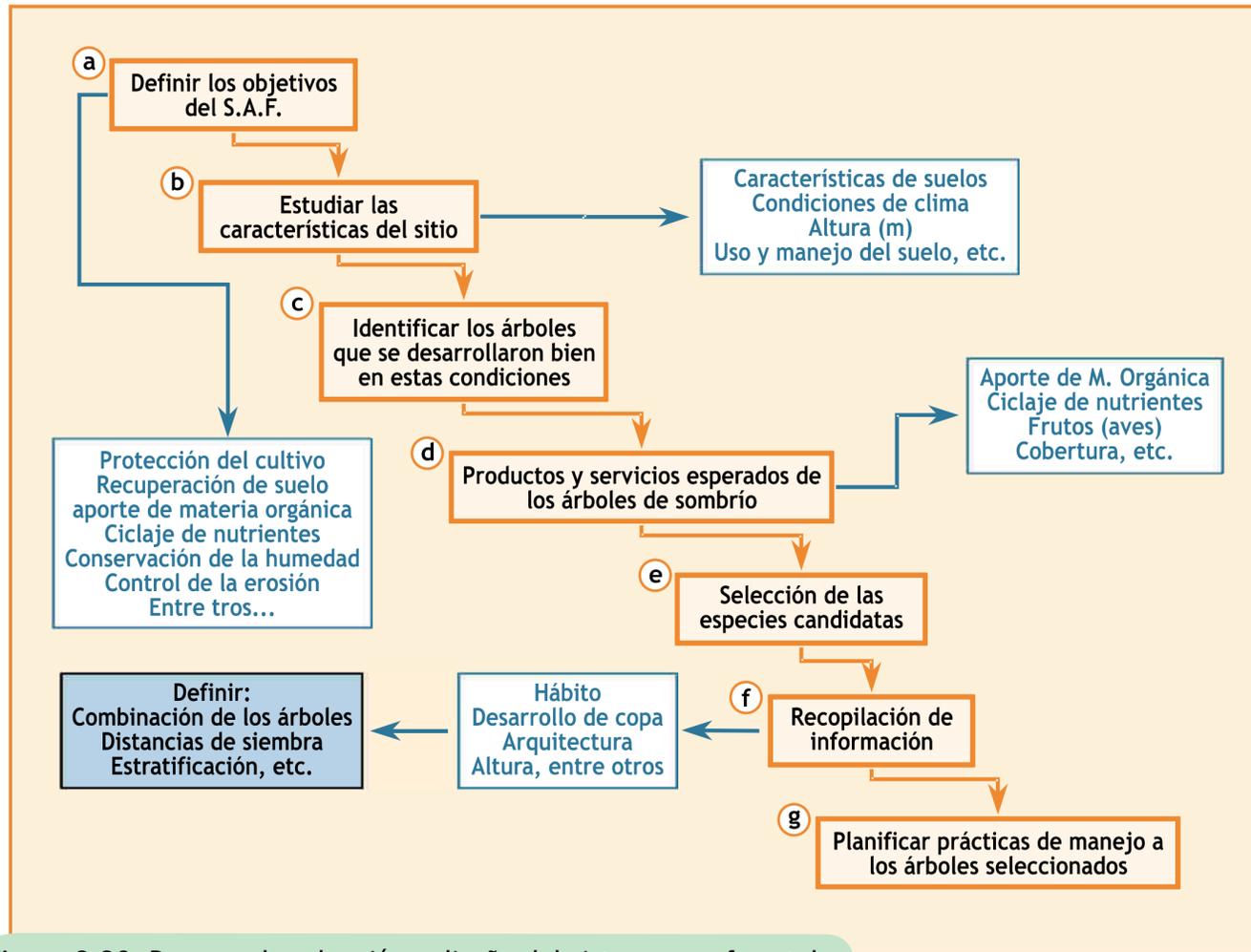


Figura 8.20. Proceso de selección y diseño del sistema agroforestal.

proyectan 50% de sombra; sin embargo, en zonas marginales muy bajas el estrés hídrico y térmico es mayor para las plantas de café y por consiguiente, a largo plazo la producción a plena exposición solar tiende a ser menor que en las altitudes óptimas. Esto obedece a que los árboles de café no toleran los extremos ambientales, los cuales aumentan conforme el cultivo se aleja de la zona óptima (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

En contraste con la situación anterior, en los cafetales establecidos en zonas con deficiencias hídricas y suelos con limitaciones físicas y baja disponibilidad de los nutrimentos necesarios para el desarrollo normal de la planta, el aporte de la sombra puede ser muy importante debido a que los árboles ayudan a moderar el estrés del café sometido a este ambiente, por su efecto de atenuación de las condiciones hídricas y de microclima, al reciclaje de nutrientes y por la acomodación de la planta de café a un nivel de producción compatible con

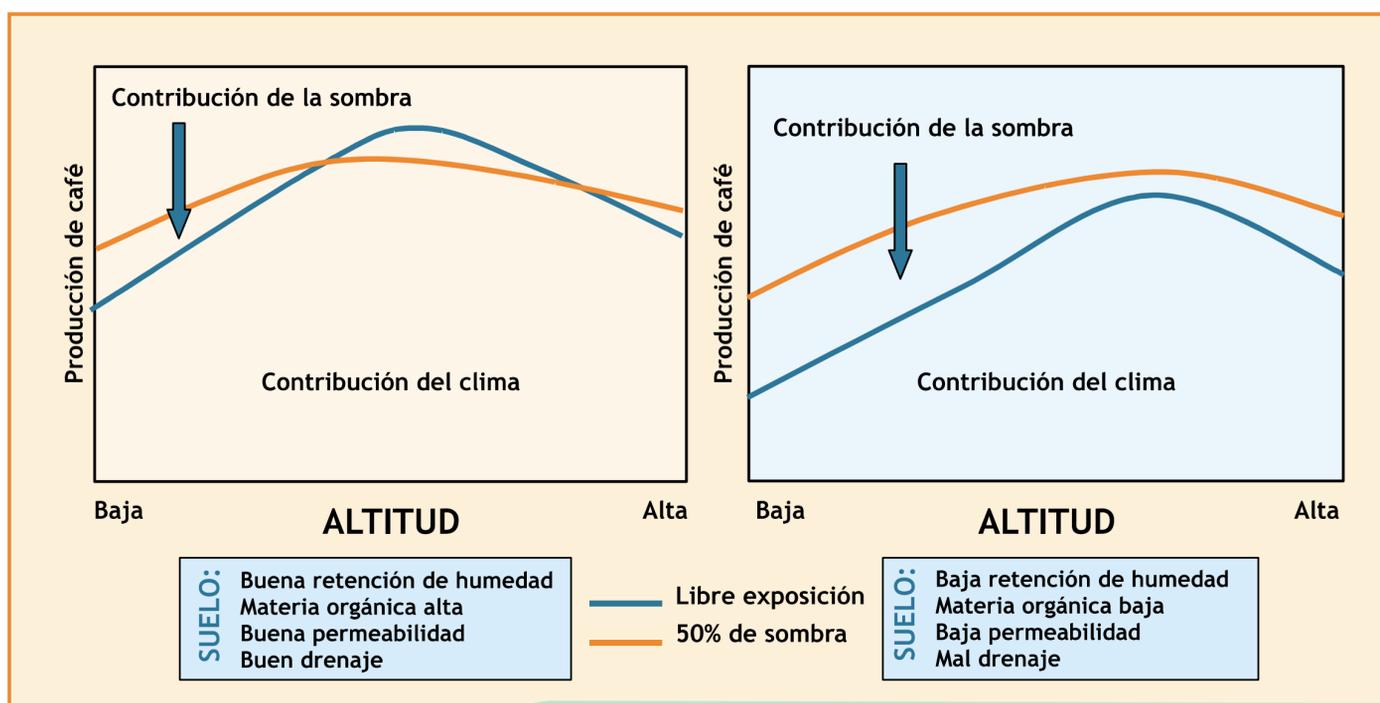


Figura 8.21. Producción de café bajo sombrío y a libre exposición solar en función de la altitud y el tipo de suelo (Tomado de Beer *et al.*, 1998).

los recursos disponibles (agua, luz y nutrimentos) (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

- **Analizar cuáles lotes de la finca reciben mayor beneficio de la asociación con los árboles.** En la finca pueden presentarse variaciones en las condiciones de los lotes que la conforman, por tanto en algunos de estos lotes puede ser útil establecer algún tipo de sombrío o prescindir de este.

**c. Identificar los árboles que se desarrollan adecuadamente en las condiciones de la finca.** Una vez caracterizado el sitio donde se establecerá el SAF es necesario hacer un listado (preselección) de árboles que podrían adaptarse o que se desarrollen bien en estas condiciones. Es importante investigar si existen sitios con ambientes similares y qué especies de árboles se desarrollan allí (Cenicafé, 2004; Cordero *et al.*, 2003). Debe tenerse en cuenta que una misma especie no se desarrolla igual en condiciones diferentes de clima y suelo.

**d. Realizar un listado de las especies a elegir.** Acompañar este listado con toda la información posible acerca de: altura de los árboles, diámetro de la copa, diámetro del tronco, forma de la copa (Figura 8.22), tasa de crecimiento del árbol, permanencia de las hojas en el árbol, forma del tallo, follaje denso o ralo, etc.

**e. Planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados.** De las decisiones tomadas con la información obtenida se planificarán todas las prácticas de manejo de los árboles que fueron seleccionados para conformar el sistema; es decir, definir las prácticas agroforestales (Categoría inferior) (Rice, 1997). Toda esta información facilita el diseño eficiente del sistema de cultivo del café bajo sombrío, el cual permitirá tener rangos de sombrío adecuados y niveles de producción óptimos.

## Distribución y manejo de la sombra

### Desarrollo y forma del dosel de las especies arbóreas empleadas como sombrío

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

La forma del dosel o la corona de los árboles tiene importantes consideraciones al momento de ser

seleccionados para los sistemas agroforestales; algunos árboles tienden a desarrollar el dosel en capas, otros conforman un dosel pequeño y alto, y otros en forma columnar, en contraste con aquellos que desarrollan una copa densa, esparcida o cónica (Figura 8.22). En general, es muy amplia la gama de formas del dosel de los árboles (Wilkinson *et al.*, 2000; Wilkinson y Elevitch, 2000).

El grado o nivel de sombra en el cafetal depende de factores ambientales como la precipitación, las horas luz, la humedad relativa, la nubosidad, como también de la arquitectura o las características de la especie vegetal seleccionada como sombrío (tasa de crecimiento y densidad de copa), de características edáficas y de la competencia por nutrientes y agua que la especie arbórea ejerza sobre el cafetal (Beer *et al.*, 1998; Federación Nacional de Cafeteros, 1958; Guharay *et al.*, 2001; Muschler, 2000; Wilkinson y Elevitch, 2000). En zonas con limitaciones ambientales para el desarrollo del café éste requiere de más sombra y consecuentemente, de un mayor número de árboles o mayor porcentaje de sombra y en condiciones ideales para café, el cultivo puede establecerse a plena exposición solar o con un menor número de árboles por hectárea o un menor grado de sombrío.

### Distribución de la sombra

En sistemas de café con sombrío, es común observar algunas áreas con muy poca sombra y otras con demasiado sombrío, o que el cultivo en su totalidad presente poco sombrío en su inicio o demasiada sombra en estados avanzados de desarrollo de los árboles. Este hecho está determinado por las dos dimensiones de la sombra: la intensidad del sombrío, relacionada con el grado de sombrío, el nivel de sombra o el porcentaje de cobertura; y la distribución de la sombra (Figura 8.23), la cual depende de la estructura del árbol, de su arquitectura, de la forma y el desarrollo de las copas, la distancias de siembra y del manejo dado a los árboles, entre otros (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 2000).

Como ejemplo práctico; con bajas densidades de siembra de los árboles o en los primeros años de desarrollo de los mismos o con la selección de una especie inadecuada para el sitio de establecimiento del sombrío del café, o un manejo excesivo de los árboles, o con ataques de plagas en determinadas épocas del año, pueden obtenerse niveles de sombreado deficientes o muy bajos para el desarrollo del cultivo (sombrío del 10 al 20%) en lugares que así lo requiera; igualmente con densidades altas de siembra de los árboles o debido a su mal manejo (sin podas de mantenimiento y sin podas de formación), o una inadecuada distribución de los árboles en el campo, en corto tiempo se presentarán niveles de sombreado excesivos (>50%) limitantes para la producción del café (Figura 8.23).

Por tanto es requisito básico en los sistemas de cultivo de café con sombrío determinar el porcentaje de sombrío óptimo o grado de sombreado adecuado, el cual dependiendo de la localidad y de las necesidades del cultivo, será el reflejo de las reducciones o incrementos de la producción al establecer el café en asocio con árboles.

En estudios desarrollados por Farfán (2003), en la Estación Central Naranjal y la Subestación Experimental Pueblo Bello, se establecieron cafetales con sombrío de guamo santafereño (*Inga edulis*), en tres distancias de siembra 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m (278, 123 y 70 árboles de guamo.ha<sup>-1</sup>), y se realizaron mediciones

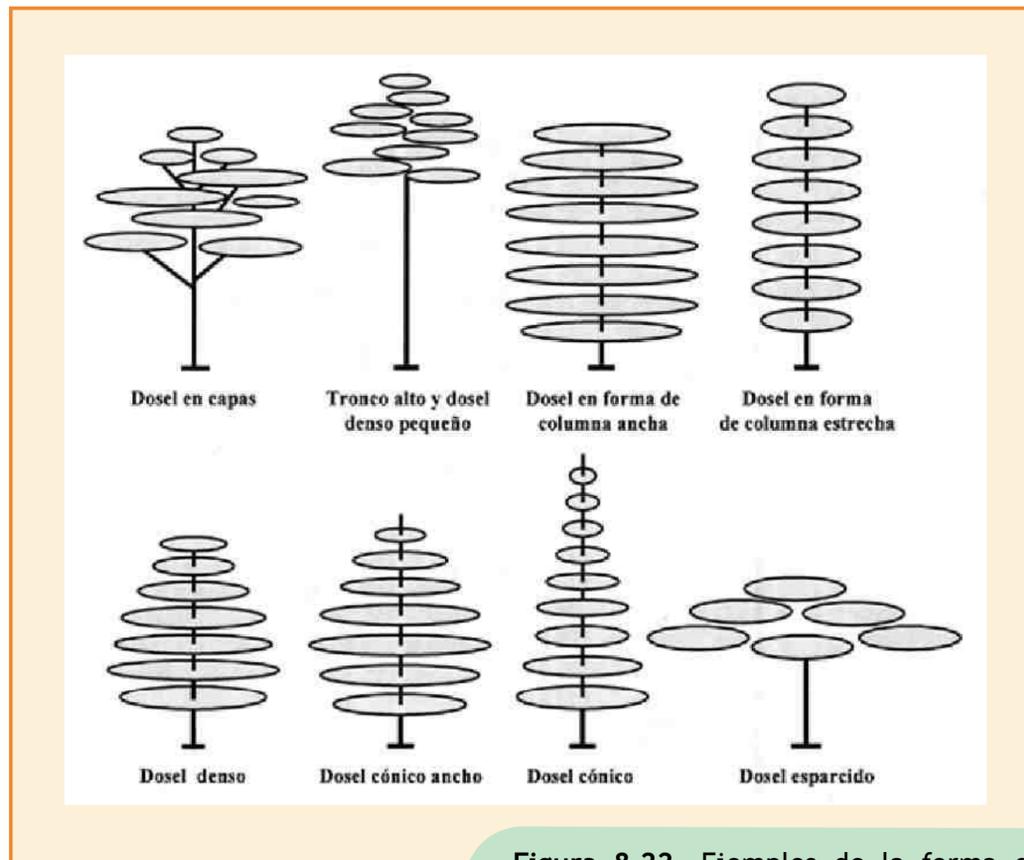


Figura 8.22. Ejemplos de la forma de la copa de árboles a emplear como sombrío del café.

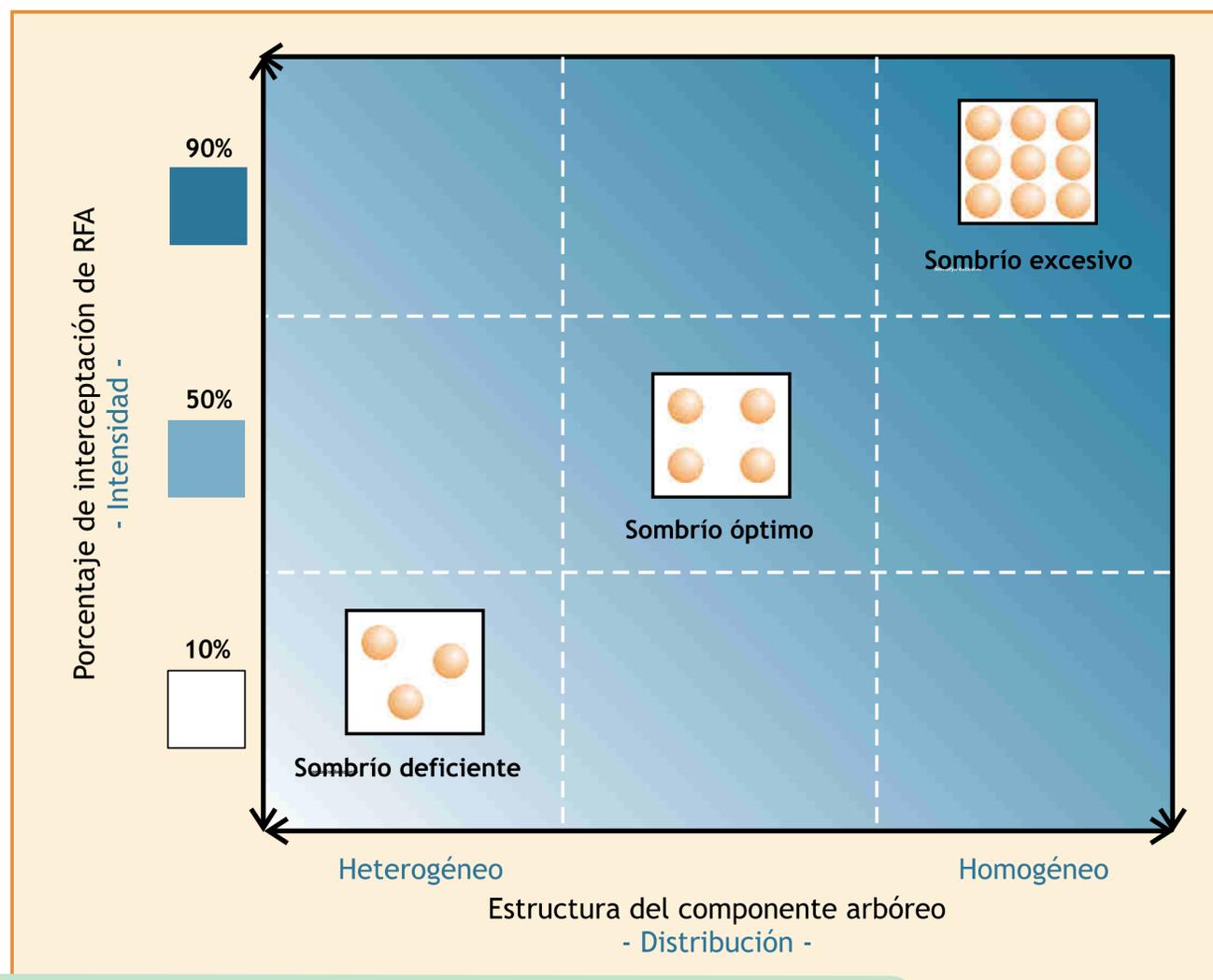


Figura 8.23. Patrón de sombra: Las dos dimensiones de la sombra (intensidad y distribución), definen las zonas de sombrío óptimo del café (Adaptado de Muschler, 2000).

del porcentaje de sombrío de los árboles desde los 3 hasta los 5 años de edad en Naranjal y desde los 2 hasta los 5 años en Pueblo Bello (Figura 8.24).

En la Estación Central Naranjal, a los tres años de establecido el sombrío de guamo a 6,0 x 6,0 m, los niveles de sombra fueron superiores al 50% (sombrío denso), mientras que con los árboles establecidos a 9,0 x 9,0 m (123 guamos.ha<sup>-1</sup>) el sombrío fue adecuado y a 12,0 x 12,0 m (70 guamos.ha<sup>-1</sup>) se observó que éste era ralo o heterogéneo. Al cuarto año de edad de los árboles en los cafetales establecidos con 278 y 123 guamos.ha<sup>-1</sup>, el grado de sombra fue superior al 50% (sombrío homogéneo), mientras que con 70 plantas.ha<sup>-1</sup> el porcentaje de sombra fue adecuado para el café. A los cinco años, el grado de sombra fue homogéneo e igual para las tres densidades de siembra del sombrío (70%) (Farfán, 2003).

En la Subestación Pueblo Bello, se observó que a los dos y tres años de establecido el sombrío de guamo, los niveles de sombra con 278 y 123 árboles.ha<sup>-1</sup> fueron adecuados para el desarrollo del cafetal y con 70 guamos.ha<sup>-1</sup> el sombrío fue ralo o heterogéneo. A los cuatro años sólo con el sombrío a 12,0 x 12,0 m se obtuvo el nivel de sombra adecuado, y con 278 y 123 árboles.ha<sup>-1</sup> se superó el 50% de sombrío (sombrío denso). Finalmente, al quinto año, bajo las tres distancias de siembra del guamo toda la sombra era densa (>55%) (Figura 8.24) (Farfán, 2003).

En otro estudio realizado en la Subestación Experimental Pueblo bello, se establecieron cinco especies leguminosas como sombrío del café, a distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m (278, 123 y 70 árboles.ha<sup>-1</sup>), y se realizaron mediciones del grado de sombra desde los dos hasta los cinco años de edad de los árboles (Farfán *et al.*, 2003) (Figura 8.25).

Con el guamo santafereño establecido a 6,0 x 6,0 m, se obtuvo solamente el 30% de sombra a los dos años, y a partir del tercero la proyección de la sombra fue superior al 50%. Con 123 árboles.ha<sup>-1</sup> se registró una densa intensidad de sombra (>50%) desde los dos años, y con 70 plantas.ha<sup>-1</sup> un grado de sombra bajo a los dos años y adecuado al quinto año (Farfán, 2003).

El sombrío de cámbulos establecido a 6,0 x 6,0 m proyectó un grado de sombra adecuado en el segundo y el tercer año de edad, pero excesivo tanto al cuarto como al quinto año. Con 123 y 70 árboles.ha<sup>-1</sup> el grado de sombra fue adecuado en el primer caso y bajo o ralo en el segundo, durante todo el ciclo evaluado.

El porcentaje de sombra dado por el carbonero fue excesivo, prácticamente desde los dos años, cuando éste se estableció con 278 y 123 plantas.ha<sup>-1</sup>, mientras que al establecerlo a 12,0 x 12,0 m se obtuvo un nivel de sombra mayor del 50% a partir del quinto año de edad.

Con frijol rojo y leucaena la proyección de la sombra se mantuvo entre adecuada y baja durante los cuatro años de evaluaciones y con las tres densidades (Farfán, 2003).

## Interacciones árbol-suelo-cultivo

En algunas ocasiones el empleo de árboles como sombrío del café presenta ventajas y desventajas relacionadas con su desarrollo y su fisiología, que están especialmente asociadas a la interceptación de la radiación solar. Estas ventajas y desventajas también son denominadas como interacciones, las cuales, dependiendo del sistema,

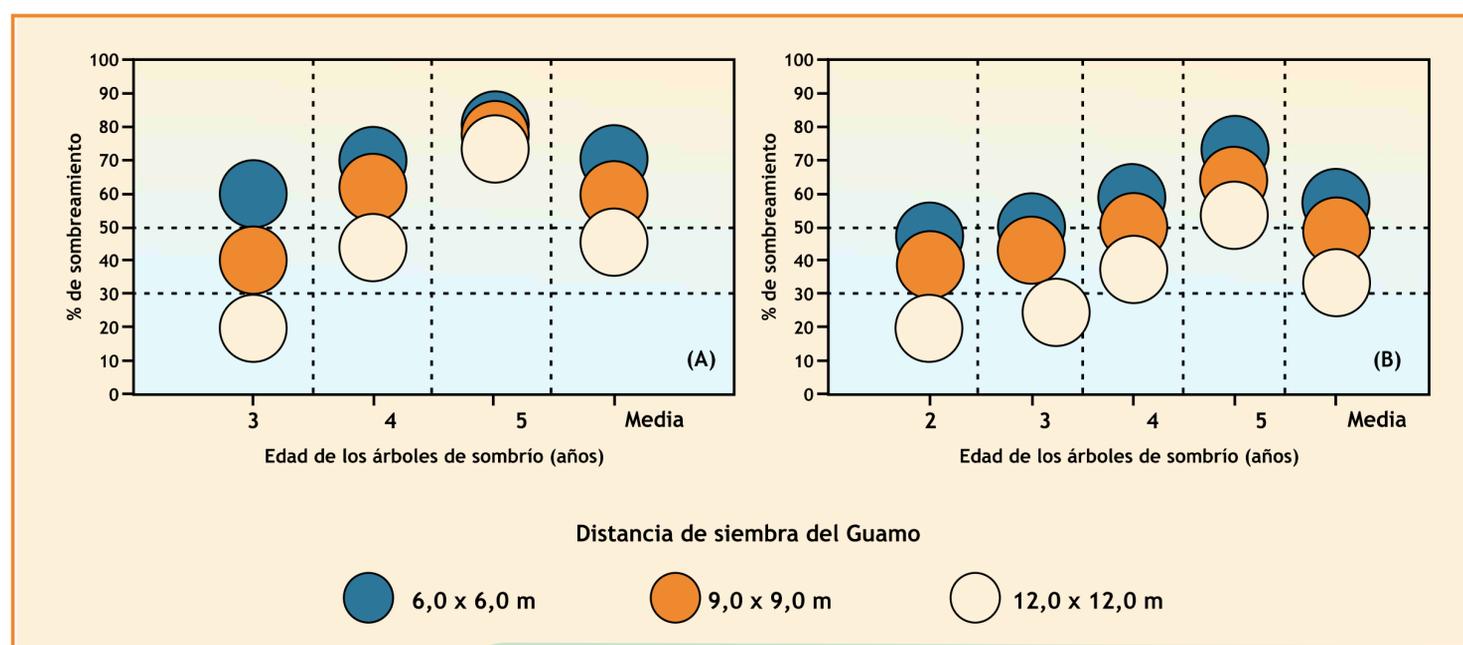


Figura 8.24. Patrón de distribución del sombrío de *Inga edulis* en tres densidades de siembra y en dos localidades diferentes: (A) Estación Central Naranjal-Chinchiná, (B) Subestación Experimental de Pueblo Bello-Cesar (Farfán, 2003).

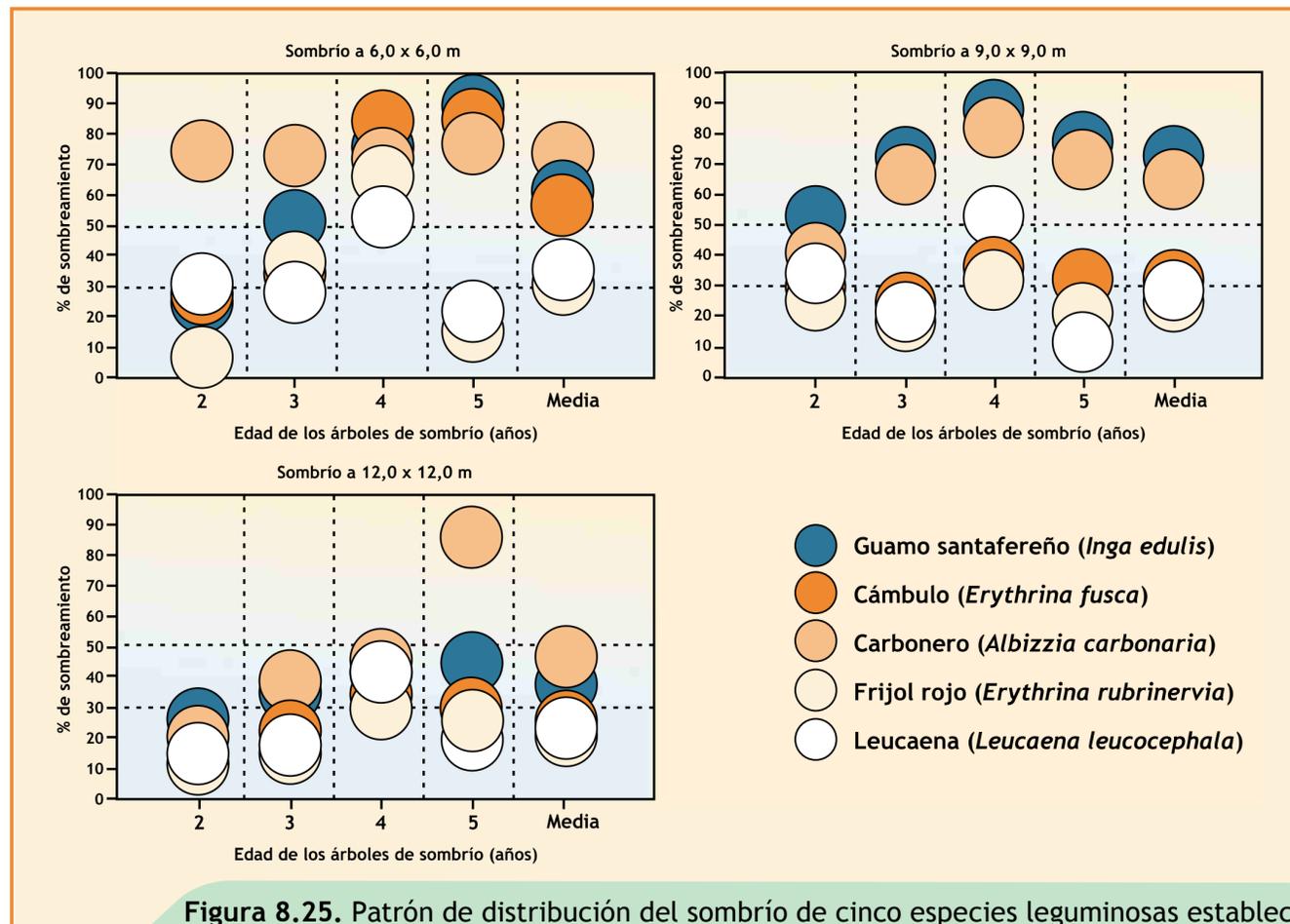


Figura 8.25. Patrón de distribución del sombrío de cinco especies leguminosas establecidas a tres densidades de siembra en la Subestación Experimental de Pueblo Bello (Cesar) (Farfán, 2003).

pueden ser positivas, neutras o negativas (Beer *et al.*, 1998; Beer, 1987; Federación Nacional de Cafeteros, 1958; Guharay *et al.*, 2001; Haggard *et al.*, 2001; Van Noordwijk, 2000; Ong y Huxley, 1996). Cuando la interacción es positiva hay complementariedad entre los componentes (Figura 8.26a), si es negativa ocurre competencia (Figura 8.26c) y cuando no se afecta ninguno de los componentes se dice que hay suplementariedad (Figura 8.26b). En sistemas agroforestales, una especie arbórea de sombra puede incrementar, disminuir o no tener efecto alguno sobre la productividad del cultivo asociado (Anderson, 1993). En la Tabla 8.2 se presenta un análisis de las posibles interacciones entre dos poblaciones (A y B).

### Interacciones positivas

En la interacción entre el sombrío y el café pueden observarse las siguientes interacciones positivas:

### Reciclaje de nutrientes. Puede basarse en:

- La toma de nutrientes por las raíces del árbol en las capas superficiales del suelo, sin entrar en competencia con el cultivo.
- Las raíces de los árboles pueden tomar nutrientes lixiviados a las capas profundas del suelo, y posteriormente éstos pueden ser devueltos a las superficiales.
- Los árboles que toman nutrientes de las capas profundas del suelo, pueden actuar como “bomba de nutrientes”.

**Producción de residuos vegetales.** Si los residuos vegetales son de buena calidad (baja relación C:N, bajos contenidos de lignina y polifenoles), estos se descomponen

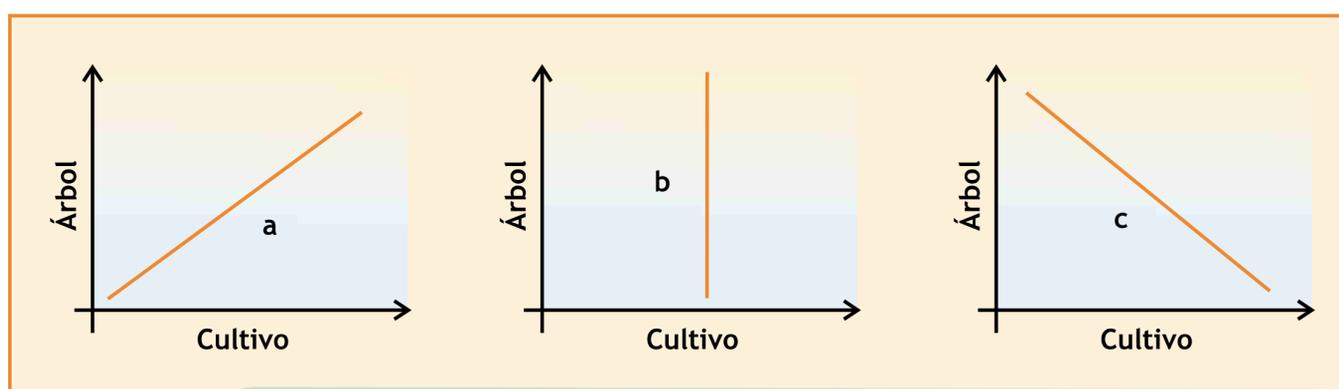


Figura 8.26. Esquema de la relación árbol-cultivo en sistemas agroforestales (a) Complemento entre especies; (b) Suplemento y (c) Competencia entre especies (Van Noordwijk, 2000).

Tabla 8.2. Análisis de las interacciones entre dos poblaciones A y B (Van Noordwijk, 2000).

Tipo de interacción	Efecto de la interacción		Naturaleza de la interacción	Ejemplo en SAF
	A	B		
Mutualismo	+	+	Interacción favorable a las dos poblaciones	Micorrizas, Rhizobium, Leguminosas
Facilitación	+	0	Interacción favorable para A, pero no obligatoriamente. B no es afectada	Cortinas rompevientos, árboles de sombra, cultivos en callejones
Comensalismo	+	0	Interacción obligatoria para A. B no es afectada	Árboles para soporte de la vid, rastrojos mejorados
Neutralismo	0	0	Ninguna de las poblaciones es afectada	Árboles dispersos
Parasitismo/ predación	+	-	Interacción obligatoria para A. B es inhibida	Plagas y enfermedades
Amensalismo	-	0	A es inhibida. B no es afectada	Alelopatía
Competencia e interferencia	-	-	Ambas poblaciones son inhibidas	Cultivos en callejones mal manejados

0: No hay interacción significativa; +: Favorable para la población en mención (crecimiento, supervivencia, reproducción, etc.); -: Desventaja para la población en cuestión.

rápidamente y los nutrientes estarán disponibles para el cultivo y los árboles.

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

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

**Control de arvenses.** El sombrío brindado por los árboles y el cultivo contribuyen a la reducción en el número y el porcentaje de cobertura de arvenses.

**Reducción de plagas y enfermedades.** La combinación de árboles y cultivos reduce la presión de plagas y enfermedades, y facilita el establecimiento de controladores biológicos.

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

**A largo plazo,** el efecto combinado de árboles-cultivo, reduce los procesos erosivos, mantienen la estructura del suelo y conservan los contenidos de materia orgánica. Además, el sistema radical de los árboles puede mejorar el drenaje y la aireación del suelo, debido a que remueven los excesos de humedad del suelo.

**Diversificación de la producción.** Producción de frutas, explotación de la madera, aprovechamiento de árboles para la producción de otros cultivos por ejemplo flores y pimienta.

**Adicionalmente,** se incrementa la humedad del sistema de producción por interceptación horizontal (neblina), se promueve la actividad de organismos benéficos, se reduce la utilización de productos químicos, sirven como refugio de aves migratorias, ofrecen oportunidades de investigación en biodiversidad, dan la oportunidad para participar en mercados de cafés especiales: amigables con las aves, cafés de conservación y cafés orgánicos, entre otros.

### Interacciones negativas

- La caída natural de ramas y árboles pueden afectar las plantas del cultivo.
- La defoliación inesperada de los árboles de sombra, causada por insectos o enfermedades, puede dejar desprotegidas las plantas.

- Se requiere mano de obra adicional para otras labores, como las podas.
- Los árboles pueden ser un obstáculo para el establecimiento de estructuras contra la erosión.
- Algunos cultivos requieren libre exposición.
- Un sombrío muy denso puede reducir la productividad del cultivo.
- Las raíces de los árboles pueden competir por humedad durante épocas secas y por oxígeno durante épocas húmeda.
- Los árboles de sombra pueden competir por nutrientes con el cafeto.
- Las gotas de lluvia pueden coalescer en el dosel de los árboles, ocasionando una redistribución adversa de la lluvia e incrementando la erosión.
- La producción de frutos y madera puede convertirse en sumidero de nutrientes.
- Tanto los árboles como los cultivos pueden ser hospederos, entre sí, de plagas y enfermedades.

## Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA)

Los estudios de interceptación de la RFA, la cual está comprendida entre 400 y 700 nm de longitud de onda, suministran la base para el manejo práctico de los cultivos, por ejemplo, para seleccionar los árboles por su tamaño, el arreglo espacial del cultivo principal, el número de plantas por hectárea y la optimización de la producción de los asimilados y su conversión. Para planificar el establecimiento de un sistema agroforestal debe buscarse la máxima interceptación de la radiación y su óptima distribución en el follaje e interceptación en los diferentes niveles de la planta (Castillo *et al.*, 2004; Jaramillo *et al.*, 1980; Weaver y Clements, 1944), en nuestro caso del café.

### Factores que afectan la interceptación de RFA.

- **La altitud:** Afecta la nubosidad y la calidad de la luz.
- **La latitud:** Afecta el ángulo de incidencia de la luz y la longitud del día.

- Concentración de partículas atenuantes en el aire.
- Factores inherentes al equipo y las metodologías de evaluación.

### Factores que determinan el grado de interceptación de la RFA.

- Arquitectura de los árboles y del cultivo.
- Heterogeneidad del componente arbóreo: Diversidad, dimensión y orientación.
- El número de estratos verticales.
- Tamaño de las hojas y duración del follaje.
- Índice de área foliar del componente arbóreo y del cultivo.
- Densidad del follaje.
- Ángulo inserción de las ramas y de las hojas.
- Estructura y edad de la hoja.
- Distribución del área foliar.
- Distribución de la RFA en el follaje.
- Arreglo espacial, manejo del sombrío y características del sitio donde fue establecido.

### Interceptación de la RFA por diferentes especies de sombrío en café

En cada una de las ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, se evaluó la interceptación de RFA. Las mediciones de la interceptación de RFA se iniciaron cuando los árboles de sombrío, en cada experimento, tenían entre 2 y 3 años de establecidos y se prolongaron hasta cuando estos cumplieron entre 6 y 7 años. Las evaluaciones se realizaron en las parcelas experimentales o unidades de medición.

Para medir la cantidad de RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café se aplicó la metodología propuesta por Farfán *et al.* (2003), donde cada unidad de medición se dividió en cuadrantes y a éstos se le asignaron puntos de medición, de acuerdo al tamaño de la unidad (Figura 8.27); el punto de medición correspondió al sitio donde está ubicado un árbol de café. Por ejemplo, unidades de medición con el componente arbóreo a 6,0 x 6,0 m estuvieron compuestas de 16 cuadrantes y 25 puntos de medición, aquellas establecidas a 9,0 x 9,0 m, tuvieron 36 cuadrantes y 49 puntos de medición y las parcelas

de árboles a 12,0 x 12,0 m tuvieron 64 cuadrantes y 45 puntos de medición.

Se empleó una barra integradora de medición LI-191 SA (Line Quantun Sensor LICOR Lincoln NE, USA) conectada a un colector de datos LAI 2000; la barra se colocó por encima del cafeto (punto de medición) para efectuar mediciones instantáneas (N° 1 en la Figura 8.28). Para medir la RAF incidente sobre la fronda del componente arbóreo se instaló un sensor LI-190 SA (Line Quantun Sensor LICOR Lincoln NE, USA) en un área descubierta adyacente a la parcela experimental (N° 2 en la Figura 8.28) y se conectó a un registrador automático de datos LI-1000, almacenando información cada minuto; la información contenida en cada uno de los registradores de datos se procesó mediante el software LI-900. Las mediciones se realizaron entre las 11:00 y 13:00 horas, momento en el cual el ángulo de inclinación solar es cercano o igual a los 90°. La orientación de los recorridos para el registro de la información fue de Oriente a Occidente, mas un recorrido de verificación Sur - Norte.

#### Evaluaciones:

a. En el experimento, **Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes**, en el cual el componente arbóreo fue *Inga edulis* establecido a distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m; y el café establecido a 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas.ha<sup>-1</sup>), en la Estación Central Naranjal y en la Subestación Experimental Pueblo Bello, se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Estación Central Naranjal, el porcentaje de interceptación de RFA registrada en cada una de las distancias de siembra del sombrío de *Inga edulis*, durante tres años, mostró que a 6,0 x 6,0 m el porcentaje de interceptación media fue del 70%, a 9,0 x 9,0 m del 60% y a 12,0 x 12,0 m del 45% (Figura 8.29) (Farfán y Mestre, 2004 a).

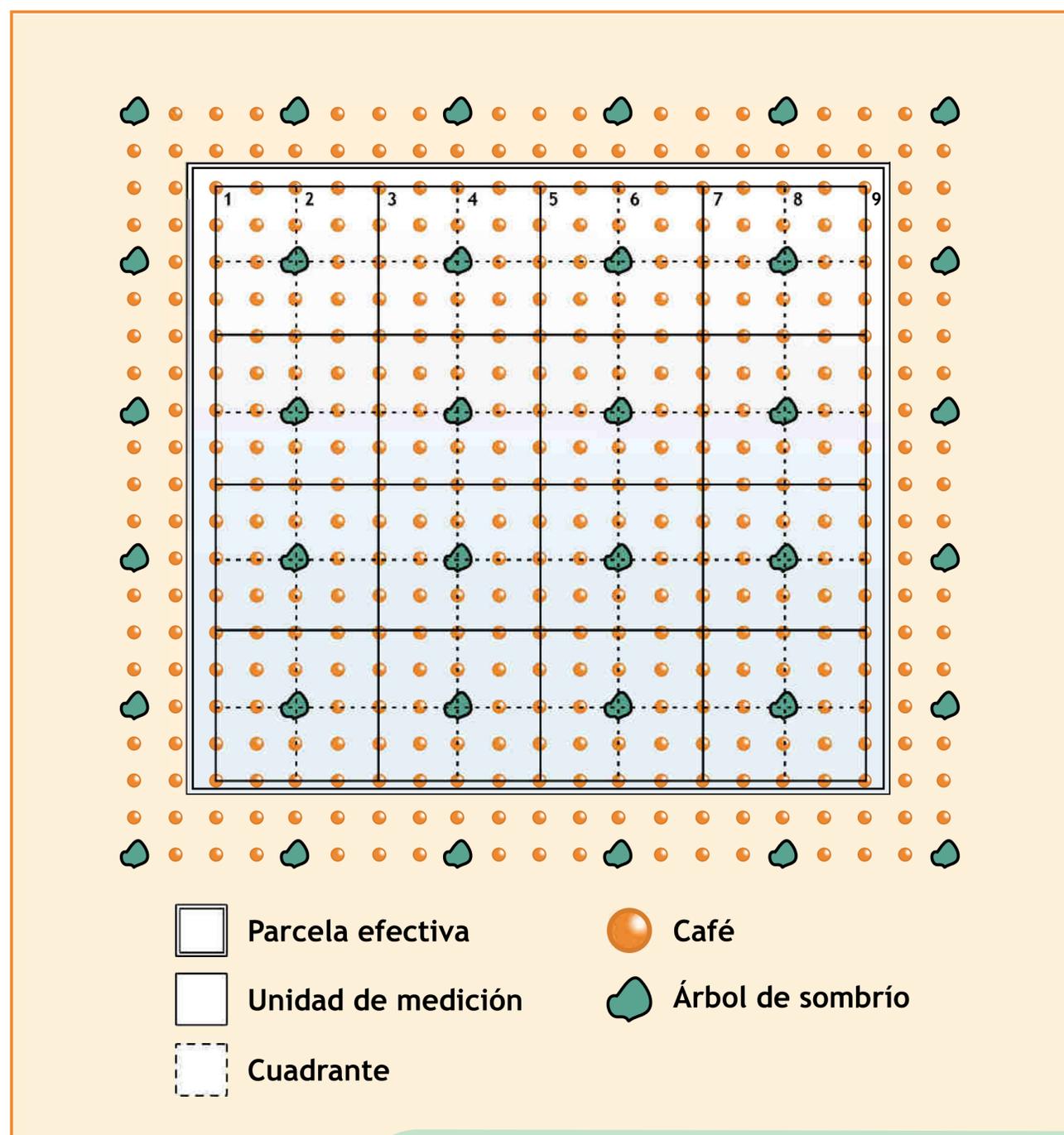


Figura 8.27. Disposición de las plantas de sombrío y café en el campo y numeración secuencial para su medición (Farfán, et al. 2003).

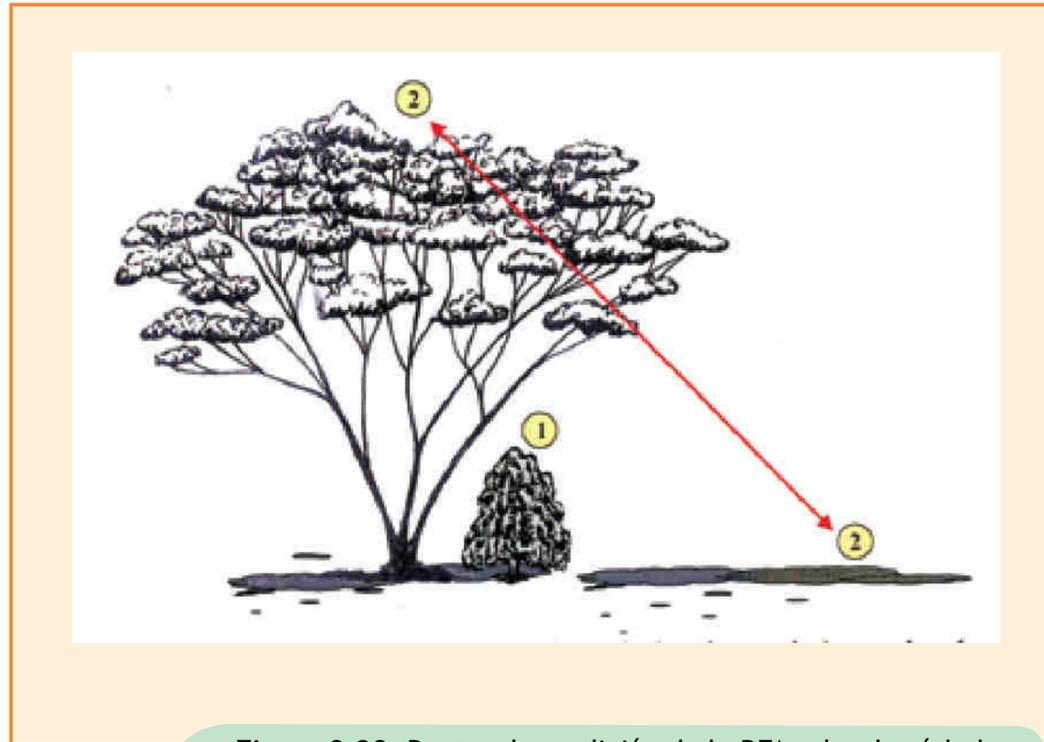


Figura 8.28. Puntos de medición de la RFA sobre los árboles de sombrero y sobre las plantas de café.

En la Subestación Experimental de Pueblo Bello (Cesar), los registros de interceptación de la RFA indican que el nivel de sombrero aumenta con la edad del componente arbóreo. El nivel medio de sombra (1998 a 2001) en que se desarrolló el cultivo del café, fue del 58% con 278 árboles de *Inga*.ha<sup>-1</sup>, del 50% con 123 árboles.ha<sup>-1</sup> y del 34% con 70 árboles.ha<sup>-1</sup> (Figura 8.30) (Farfán y Mestre, 2004 b).

b. En el experimento, **Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrero e influencia en la productividad del café**, los componentes de sombrero se establecieron a distancias de siembra de 6,0 x 6,0 m y el café a 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas.ha<sup>-1</sup>), en la Subestación Experimental Paraguaicito (Quindío).

Las evaluaciones del porcentaje de interceptación de RFA de cada especie de sombrero, durante el período 1998 a 2001, fluctuaron entre 61,0 y 75,7% con *Cordia alliodora* (Figura 8.31a); entre 29,3 y 69% con *Pinus oocarpa* (Figura 8.31b) y entre 58,7 y 58,5% con *Eucalyptus grandis* (Figura 8.31c) (Farfán y Urrego, 2004).

c. En el experimento, **Efecto del sombrero con especies leguminosas a diferentes densidades de siembra sobre la producción de café**. El estudio se realizó en la Subestación Experimental Pueblo Bello, en cafetales establecidos a 1,5 x 1,5 m, con sombrero de *Erythrina fusca* (cámbulo), *Erythrina rubrinervia* (fríjol rojo), *Inga edulis* (guamo santafereño), *Leucaena leucocephala* (leucaena) y *Albizzia carbonaria* (carbonero) establecidos a 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m.

Los porcentajes de sombra en promedio, bajo los cuales se desarrollaron los cafetales en cada subsistema

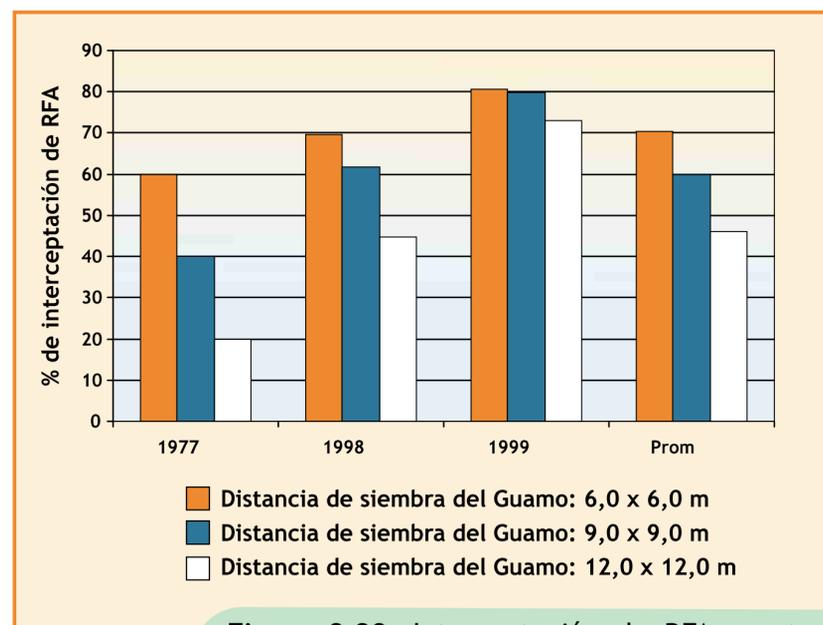


Figura 8.29. Interceptación de RFA, en tres densidades de siembra del sombrero de *Inga edulis*. Estación Central Naranjal, 1997 a 1999.

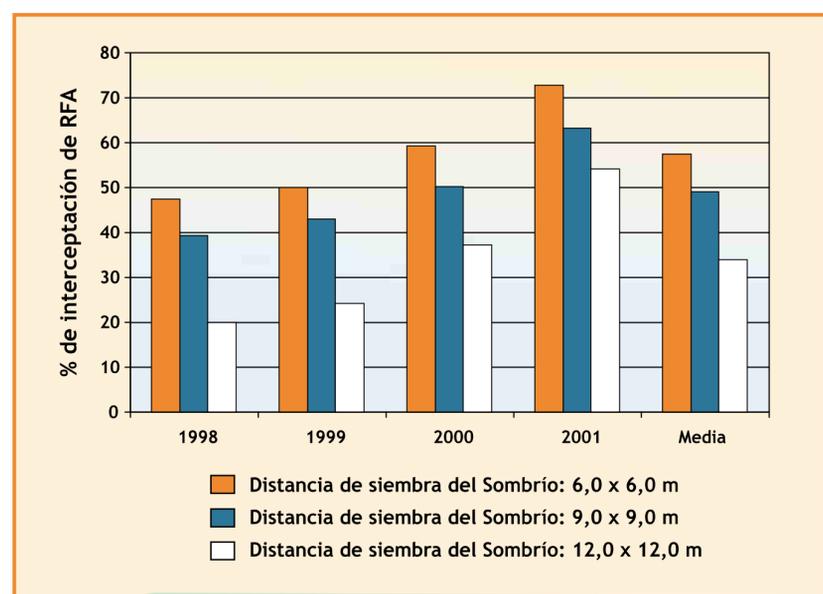
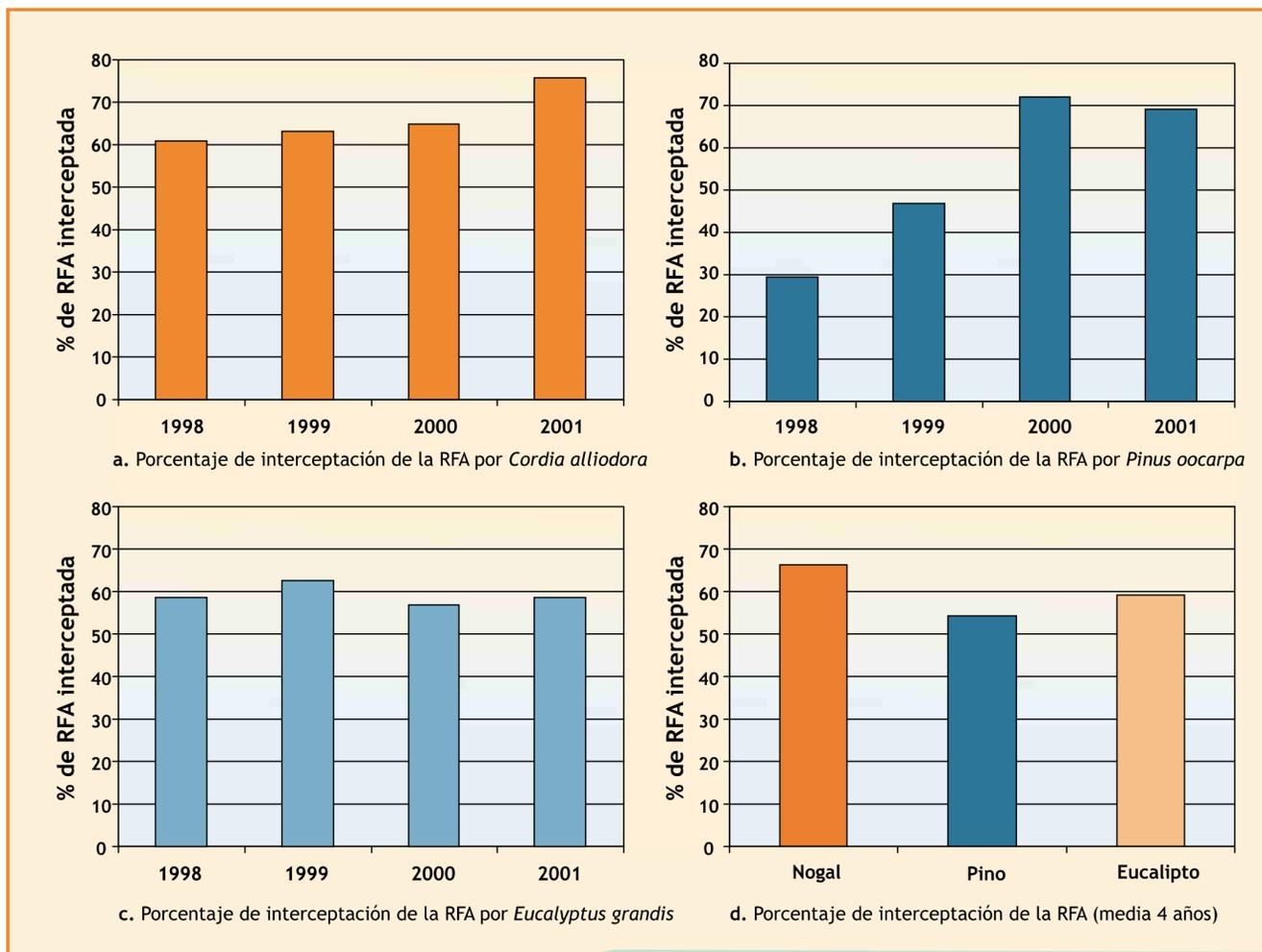


Figura 8.30. Interceptación de RFA, en tres densidades de siembra del sombrero de *Inga* sp Subestación Experimental de Pueblo Bello, 1998 a 2001.



**Figura 8.31.** Porcentaje de Intercepción de RAF de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis* y *Pinus oocarpa*, empleadas como sombrío en café (Farfán y Urrego, 2004).

(Figura 8.32), fueron: con *E. fusca* del 57,6; 29,9 y 25,3%; con *E. rubrinervia* de 32,2; 25,3 y 20,9%; con *I. edulis* del 60,8; 72,5 y 37,4%; con *L. leucocephala* del 35,5; 29,8 y 24,0% y con *A. carbonaria* del 74,6; 65,6 y 47,0%, para las densidades de siembra de 278, 123 y 70 árboles.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Farfán, 2003).

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

Existe un efecto negativo directo entre el incremento en la densidad de siembra de los árboles de sombra y la producción de café. Por tanto, la incidencia de la luz es sustancial y debe mantenerse en límites razonables no mayores al 50% (Beer *et al.*, 1998; Vaz, 1967).

Para la producción y comercialización de algunos cafés especiales como los amigables con las aves, los aliados de los bosques y los cafés de conservación, las normas establecen que el café debe cultivarse estrictamente bajo sombra y que el grado de cobertura o de sombrío no debe ser inferior al 40% (Rainforest Alliance, 2004; Smithsonian Migratory Bird Center, 2001).

De acuerdo con investigaciones realizadas por Cenicafé en la Estación Central Naranjal y Subestaciones

Experimentales de Pueblo Bello, Paraguaicito y El Tambo (Farfán y Mestre, 2004 a; Farfán y Mestre, 2004 b; Farfán y Urrego, 2004), se ha podido determinar que al sembrar café con árboles de sombrío, el grado de cobertura o de sombra debe estar entre el 35 y 45%. Porcentajes de sombra por encima del 45% afectan negativamente la producción del café (Tabla 8.3).

## ¿Cuándo iniciar la regulación del sombrío?

Es importante determinar el momento en que debe regularse el sombrío para mantener los porcentajes de sombra dentro de los rangos óptimos, para evitar la reducción de la producción del café (Siebert, 2002). Para cumplir con este propósito, además de tener presente las condiciones ambientales, de suelos, la arquitectura de las especies arbóreas y la densidad de siembra, entre otros, es fundamental llevar los registros de la producción anual de café y de las evaluaciones de los porcentajes de cobertura del sombrío para establecer las correlaciones entre estas dos variables y determinar el año de inicio del manejo de los árboles de sombra.

Se citan como ejemplos los resultados presentados por Farfán y Mestre (2004 a, 2004 b), en la Estación Central Naranjal (Chinchiná - Caldas) y en la Subestación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar).

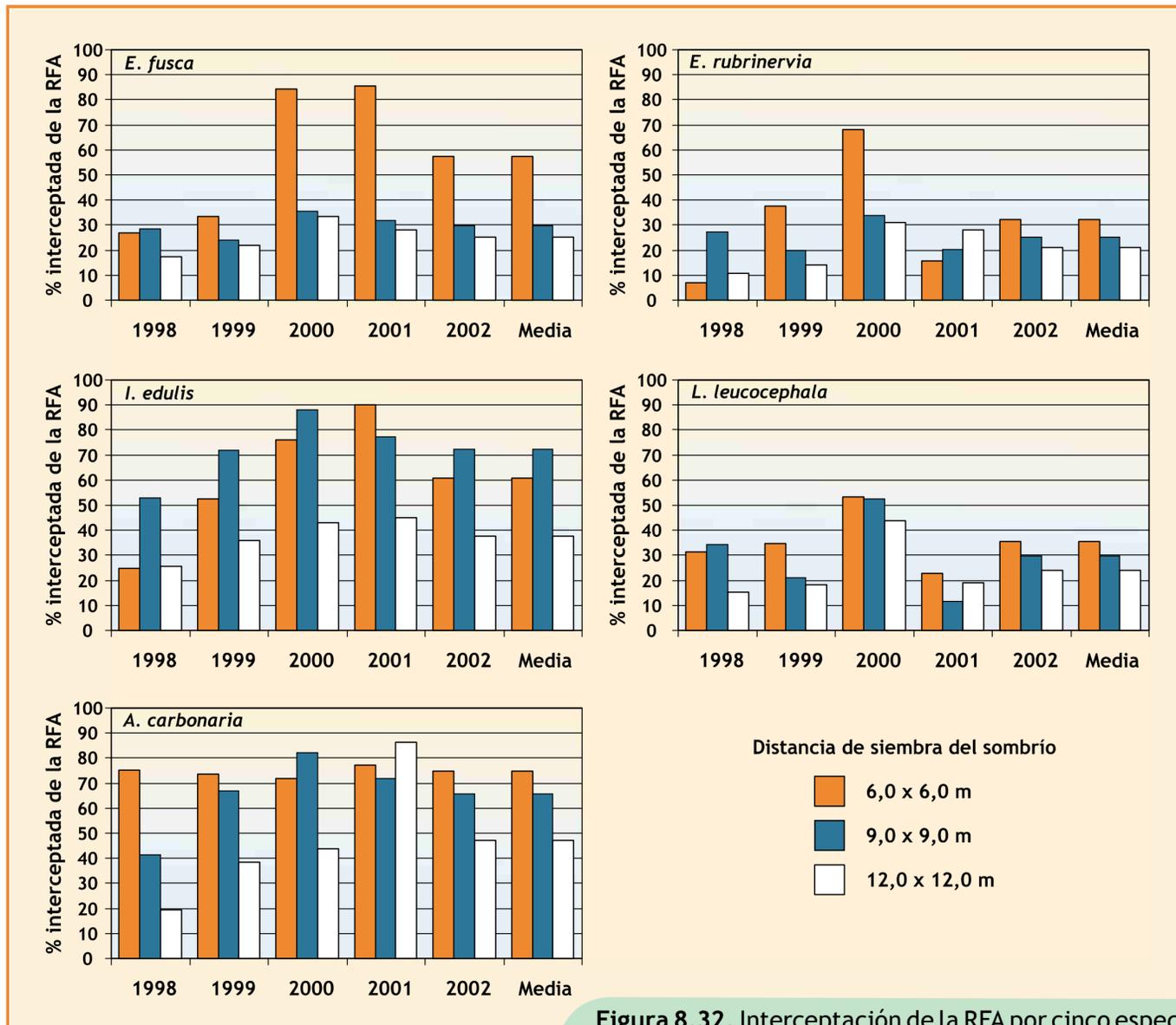


Figura 8.32. Interceptación de la RFA por cinco especies leguminosas, en tres densidades de siembra en el período 2000 a 2001, en la Subestación Experimental de Pueblo Bello (Farfán, 2003).

Tabla 8.3. Comportamiento productivo del café y su respuesta a diferentes grados de sombra con guamo santafereño (*Inga edulis*), en dos localidades de la zona cafetera colombiana (Farfán y Mestre, 2004(a) y 2004 (b)).

Estación Central Naranjal, Chinchiná (Caldas)		
Distancia de siembra del sombrío	Porcentaje de sombra (%)	Producción del cafetal (kg cps.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )
Guamo santafereño a 12,0 x 12,0 m	45%	2.419
Guamo santafereño a 9,0 x 9,0 m	60%	1.606
Guamo santafereño a 6,0 x 6,0 m	70%	959
Cambio en la densidad de siembra	Incremento en el % de sombra	Reducción de la producción (%)
Pasar de 70 a 123 guamos.ha <sup>-1</sup>	15%	50,0
Pasar de 123 a 270 guamos.ha <sup>-1</sup>	10%	67,4
Pasar de 70 a 270 guamos.ha <sup>-1</sup>	25%	152,0
Subestación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar)		
Distancia de siembra del sombrío	Porcentaje de sombra (%)	Producción del cafetal (kg cps.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )
Guamo santafereño a 12,0 x 12,0 m	34%	1.617
Guamo santafereño a 9,0 x 9,0 m	50%	1.455
Guamo santafereño a 6,0 x 6,0 m	58%	1.026
Cambio en la densidad de siembra	Incremento en el % de sombra	Reducción de la producción (%)
Pasar de 70 a 123 guamos.ha <sup>-1</sup>	16%	11,1
Pasar de 123 a 270 guamos.ha <sup>-1</sup>	8%	41,9
Pasar de 70 a 270 guamos.ha <sup>-1</sup>	24%	57,7

La distribución del sombrío o la luminosidad del café puede resumirse así:

Porcentaje de sombreamiento			
0%	Menor del 35%	Entre el 35% y 45%	Mayor del 45%
Libre exposición solar	Sombrío ralo o heterogéneo	Sombrío óptimo o adecuado	Sombrío denso u homogéneo

- Estación Central Naranjal.

La Figura 8.33, muestra la producción anual del café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>), con sombrío de *Inga edulis* en tres densidades de siembra (70, 123 y 278 árboles.ha<sup>-1</sup>), en la Estación Central Naranjal, desde 1996 hasta 1999.

Caramori *et al.* (1995), indican que existe una respuesta cuadrática de la producción de café como una función de la distancia de siembra de los árboles de sombrío. En este estudio, el análisis mediante el ajuste de ecuaciones lineales simples (Figura 8.33), indica que la estabilización y mínima producción del café bajo las tres densidades de siembra del sombrío, como efecto de la nivelación de la sombra en los tres sistemas de siembra evaluados ocurrió al 5° año de establecimiento del sombrío (1999) (Figura 8.33d); y que es en el año 4° de plantados los árboles cuando debe regularse el sombrío, para las condiciones donde se desarrolló el estudio.

- Subestación Experimental Pueblo Bello

En la Figura 8.34, se presenta la producción anual del café en kilogramos de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>, con sombrío de *Inga sp.*, en tres densidades de siembra, en (a) 1997, (b) 1998, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2001, (f) 2002 y (g) 2003, en la Subestación Experimental de Pueblo Bello.

El análisis mediante el ajuste de ecuaciones lineales simples (Figura 8.34), muestra una reducción de la producción de café cercana al 57,0%, en el subsistema con 70 árboles de *Inga sp* por ha en el año 2000 (Figura 8.34d), y con tendencia a mantener esta producción hacia el año 2001, a pesar de presentarse significancia estadística (p<0,05) al comparar la producción media bajo las tres densidades de siembra del sombrío. Por tanto, se puede inferir, de acuerdo a las condiciones climáticas y a las condiciones en esta localidad que al cuarto año de establecidos los árboles de *Inga sp.* debe regularse el sombrío para evitar reducciones en la producción.

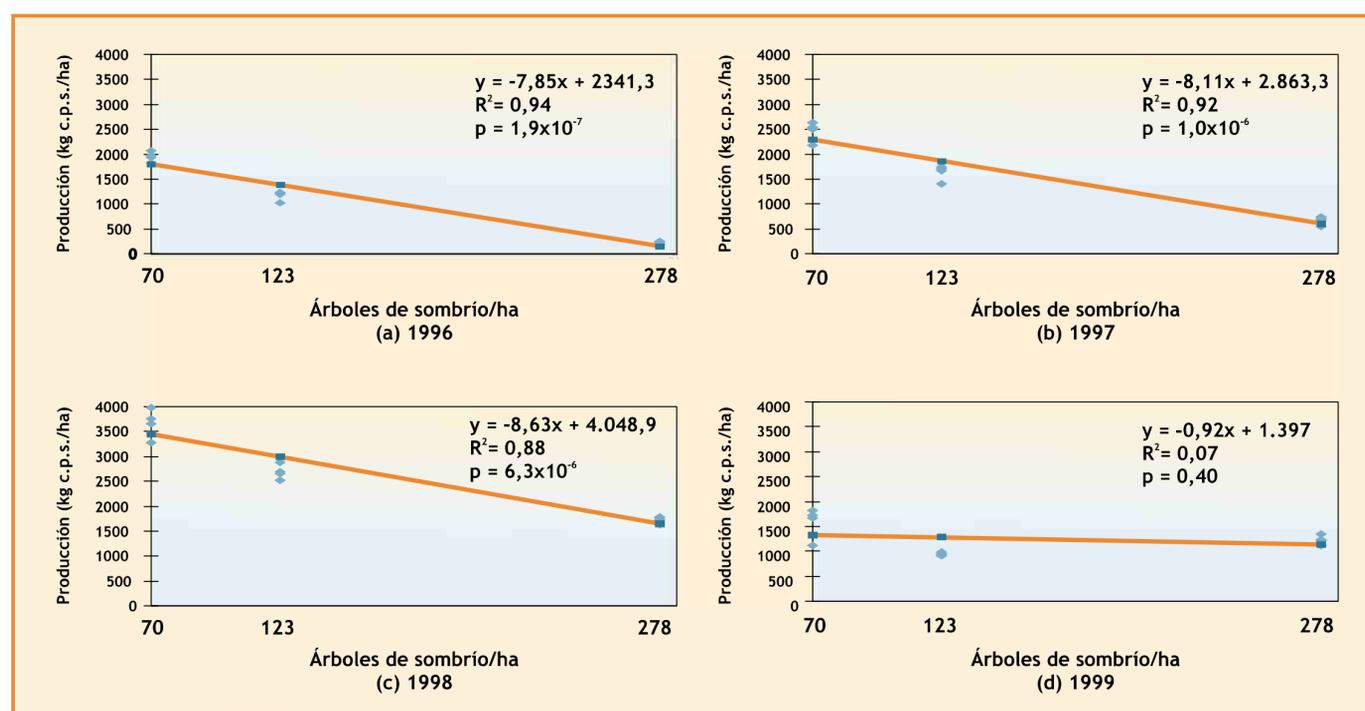


Figura 8.33. Producción anual del café bajo sombrío de *Inga edulis* en tres densidades de siembra. (a) 1996, (b) 1997, (c) 1998 y (d) 1999. Estación Central Naranjal (Farfán y Mestre, 2004(a)).

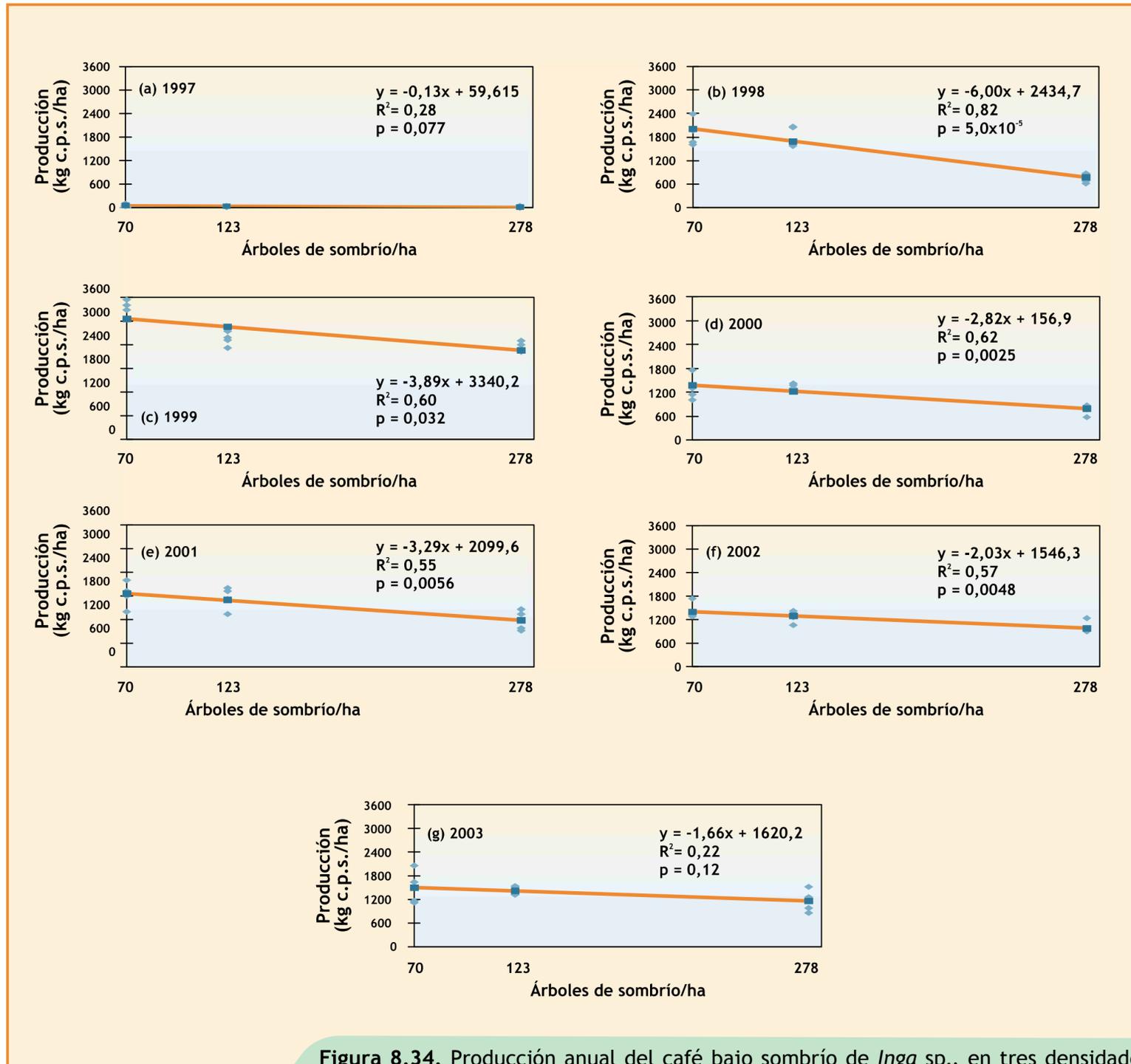


Figura 8.34. Producción anual del café bajo sombrío de *Inga* sp., en tres densidades de siembra en la Subestación Experimental Pueblo Bello. (a) 1997, (b) 1998, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2001, (f) 2002 y (g) 2003 (Farfán y Mestre, 2004(b)).

## Efecto de la sombra sobre la producción de café

La fronda o copa de los árboles de sombrío afecta negativamente la cantidad y la calidad de luz disponible para los cultivos. Para café, el límite de sombra aceptable está entre el 40 y el 70%.

La sombra no es universalmente benéfica, y las necesidades de utilizarla están en función del clima. Así mismo, bajo sombrío ocurre una reducción de la producción del café, la cual es compensada con un incremento en la longevidad del cultivo (Beer *et al.*, 1998; Perfecto *et al.*, 1996; Sivetz, 2001; Soto *et al.*, 2000).

Algunos de los resultados obtenidos en Cenicafe en estudios de la producción de café bajo árboles de sombrío se presentan a continuación:

## Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes

**Sistema agroforestal:** Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

**Componente arbóreo:** *Inga edulis* (Guamo Santaferenseño)

**Estructura:** Simple

**Arreglos espaciales:** Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m; 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m)

**Arreglo espacial del café:** 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas. ha<sup>-1</sup>)

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

**Tratamientos:** Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra del componente arbóreo y cuatro niveles de fertilización del café.

**Localización:** Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas) Subestación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar)

**Resultados.** En la Tabla 8.4, se presentan los promedios de las producciones de café, en kilogramos de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, en la Estación Central Naranjal, durante 4 cosechas y Subestación Experimental Pueblo Bello, durante 7 cosechas.

**Estación Central Naranjal.** Los análisis estadísticos realizados (Tukey al 5%) para comparar los promedios generales obtenidos en los subsistemas 1, 2 y 3 (959,1; 1.605,6 y 2.419,3 kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>), indican que entre los tres hubo diferencia significativa (Tabla 8.4). La máxima producción de café se obtuvo con el sombrío de *Inga edulis* plantado a 12,0 x 12,0 m, con un promedio de producción 50,7% mayor que la obtenida con el componente arbóreo a 9,0 x 9,0 m, y 152,2% mayor que la registrada con esta misma especie sembrada a 6,0 x 6,0 m. La producción media de café con sombrío establecido a 9,0 x 9,0m fue 67,4% mayor que la obtenida con el sombrío plantado a 6,0 x 6,0 m, debido a la reducción de la sombra.

Puede concluirse, que pasar de una distancia de siembra del sombrío de 6,0 x 6,0 m a 9,0 x 9,0 m significa aumentar la producción de café en 67,4% y al ampliarla a una distancia de 12,0 x 12,0 m la producción aumenta en 152%. Pasar de una distancia de 9,0 x 9,0 m a una de 12,0 x 12,0 m significa aumentar la producción en un 50,0% (Farfán y Mestre, 2004 a).

**Subestación Experimental de Pueblo bello.** La prueba de comparación (Tukey al 5%) de los subsistemas 1, 2 y 3 (1.025,8; 1.455,2 y 1.617,3 kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>, respectivamente), mostró que entre estas tres medias hay diferencias significativas (letras mayúsculas en la Tabla 8.4). La mayor producción se obtuvo con el componente arbóreo establecido con 70 árboles por hectárea, esta producción fue 11,1% más alta que la obtenida con sombrío plantado con 123 árboles.ha<sup>-1</sup> y 57,7% superior a la producción registrada con sombrío de 278 árboles.ha<sup>-1</sup>. La diferencia en producción a 9,0 x 9,0 m vs. 6,0 x 6,0 m fue del 41,9% a favor del primero.

**Tabla 8.4.** Producción de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, en las Estaciones Experimentales Naranjal y Pueblo Bello (Farfán y Mestre, 2004(a) y 2004 (b)).

Fertilización	E.C. Naranjal	S.E. Pueblo Bello
<b>Distancia de siembra del sombrío 6,0 m x 6,0 m</b>		
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
<b>Distancia de siembra del sombrío 9,0 m x 9,0 m</b>		
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
<b>Distancia de siembra del sombrío 12,0 m x 12,0 m</b>		
0	2.101,8 a	1.439,6 b
25%	2.487,1 a	1.618,7 b
50%	2.562,6 a	1.443,1 b
75%	2.525,6 a	1.967,7 a
Media	2.419,3 A	1.617,3 A
C. V. (%)	13,4	14,1

\* Medias con letra diferente indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%

Pasar de una distancia de siembra del sombrío de 6,0 x 6,0 m a 9,0 x 9,0 m significa aumentar en 41,9% la producción de café, y al ampliarla a una distancia de 12,0 x 12,0 m aumenta la producción en 57,7%. Cuando se pasa de una distancia del sombrío de 9,0 x 9,0 m a una de 12,0 x 12,0 m significa aumentar la producción en un 11,1% (Farfán y Mestre, 2004 b).

### Respuesta del café bajo sombra a la fertilización (Mestre, 1996)

**Sistema agroforestal:** Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

**Componente arbóreo:** *Inga edulis* (Guamo Santaferenseño)

**Estructura:** Simple

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

**Arreglo espacial del café:** 2,0 x 2,0 m (2.500 plantas por hectárea) y 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas por hectárea)

**Tratamientos:** Niveles del fertilizante: 0, 200, 400 y 600 g por planta.año<sup>-1</sup> de un fertilizante completo.

**Localización:** Estación Central Naranjal

Subestación Experimental Supía (Caldas)

Subestación Experimental El Rosario (Antioquia)

Subestación Experimental Líbano (Tolima)

Subestación Experimental Albán (Valle)

Subestación Experimental Paraguaicito (Quindío)

**Resultados.** En la Tabla 8.5, se observan los promedio de producción de café en arrobas (@) de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, en las seis localidades evaluadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Mestre (1996), puede concluirse que en cafetales bajo sombra no se justifica aplicar más de 200 gramos de fertilizante completo del grado 17-6-18-2 por planta y por año (500 kg.ha<sup>-1</sup>); cantidad con la cual se suministra a las plantas los elementos N, P y K y las dosis similares a aquellas con las cuales se obtuvieron los mejores resultados en la seis localidades del ensayo.

Los resultados obtenidos, hacen referencia a cafetales bajo las mismas condiciones de sombra en las cuales se realizó el experimento. Así mismo, cabe resaltar que la

respuesta del café puede favorecerse con un manejo de la densidad del sombrío en la plantación mediante podas de los árboles, que permitan la recirculación del aire y una mayor penetración de la luz. Además, de promover la formación de nuevo crecimiento vegetativo al intervenir los árboles de café, utilizando los distintos sistemas de poda conocidos.

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

**Sistema agroforestal:** Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

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

**Estructura:** Diversa

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

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

**Tratamientos:** Los tratamientos fueron: (I) Café a libre exposición; (II) café con sombrío de nogal; (III) Café con sombrío de pino y (IV) café con sombrío de eucalipto.

**Localización:** Subestación Experimental Paraguaicito (Buenavista, Quindío)

**Resultados.** En la Tabla 8.6 se presenta la producción de café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), promedio de seis cosechas, en la Subestación Experimental Paraguaicito.

El análisis de producción media de 6 cosechas, de los cuatro tratamientos (2.193,5; 1.337,1; 1.840,1 y 1.865,9 kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), mostró que no hay diferencia significativa entre las medias de las producciones de café obtenidas bajo cobertura arbórea con nogal, pino y eucalipto; tampoco es evidente esta diferencia entre la media de la producción registrada en café a libre exposición y café bajo cobertura de pino y eucalipto. Hubo diferencia significativa entre el promedio de la producción del café a libre exposición y el café con sombrío de nogal, siendo ésta del 39,0%

**Tabla 8.5.** Promedio de la producción de café bajo sombrío de *Inga edulis* como respuesta a la fertilización (Mestre, 1996).

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

**Tabla 8.6.** Producción media de café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) con sombrío de tres especies forestales y a libre exposición solar en la Subestación Experimental Paraguaicito (Farfán y Urrego, 2004).

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

Medias con letra diferente indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%.

a favor del primero, con un promedio de sombra con nogal superior al 60% (Figura 8.22c).

No obstante, si el nivel de sombrío es menor del 60%, como se registró en pino y eucalipto, la reducción en la producción de café con sombra de las dos especies es del 15,5% (1.853,3 kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), comparada con la de café en monocultivo (Farfán y Urrego, 2004).

### Efecto del sombrío con especies leguminosas en diferentes densidades de siembra sobre la producción de café.

**Sistema agroforestal:** Simultáneo (árboles con cultivos perennes).

**Componente arbóreo:** *Erythrina fusca* (cámbulo), *Erythrina rubrinervia* (fríjol rojo), *Inga edulis* (guamo santaferoño), *Leucaena leucocephala* (leucaena), *Albizia carbonaria* (carbonero).

**Estructura:** Simple (dentro de cada sistema).

**Arreglos espaciales:** Zonal o sistemático (6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m).

**Arreglo espacial del café:** 1,5 x 1,5 m (4.500 plantas.ha<sup>-1</sup>).

**Niveles del fertilizante:** La dosis recomendada en el análisis de suelos, aplicados al café en cada distancia de siembra del sombrío.

**Tratamientos:** Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra del componente arbóreo y cinco especies leguminosas.

**Localización:** Subestación Experimental Pueblo Bello.

**Resultados.** En la Tabla 8.7, se observa el promedio de la producción de café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), en la Subestación Experimental de Pueblo Bello (6 cosechas) (Cenicafé, 2004).

**Con sombrío a 6,0 x 6,0 m,** el promedio de la producción en todo el ciclo productivo (1998 a 2003) fue 32,1% mayor con sombrío de *L. leucocephala* en comparación con *E. fusca* e *I. Edulis*. El promedio del porcentaje de cobertura arbórea bajo esta densidad de siembra del sombrío fue del 57,6% con *E. fusca*, 32,2% con *E. rubrinervia*, 60,8% con *I. Edulis*, 35,5% con *L. leucocephala* y 74,6% con *A. carbonaria*.

**Con sombrío a 9,0 x 9,0 m,** no hubo diferencias estadísticas para el promedio de la producción de café en el ciclo productivo (1998 a 2003). El promedio del porcentaje de cobertura arbórea, fue del 29,9% con *E. fusca*, del 25,3% con *E. rubrinervia*, del 72,5% con *I. Edulis*, del 29,9% con *L. leucocephala* y del 65,6% con *A. carbonaria*.

**Con sombrío a 12,0 x 12,0 m,** los análisis estadísticos indican que las especies leguminosas empleadas como

**Tabla 8.7.** Producción media de café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) durante seis cosechas, con sombrío de cinco especies leguminosas en la Subestación Experimental Paraguaicito (Cenicafé, 2004).

Componente arbóreo	Distancia de siembra del sombrío		
	6,0 x 6,0 m	9,0 x 9,0 m	12,0 x 12,0 m
<i>E. fusca</i>	1.927,1 b	3.269,5 a	2.888,1 a
<i>E. rubrinervia</i>	2.354,1 ab	2.930,8 a	3.682,6 a
<i>I. edulis</i>	1.989,5 b	2.681,3 a	3.002,3 a
<i>L. leucocephala</i>	2.588,6 a	2.630,7 a	2.626,6 a
<i>A. carbonaria</i>	2.504,5 ab	2.809,4 a	2.825,6 a

\* Promedios con letras distintas indican diferencias estadísticas según la prueba Duncan al 5%

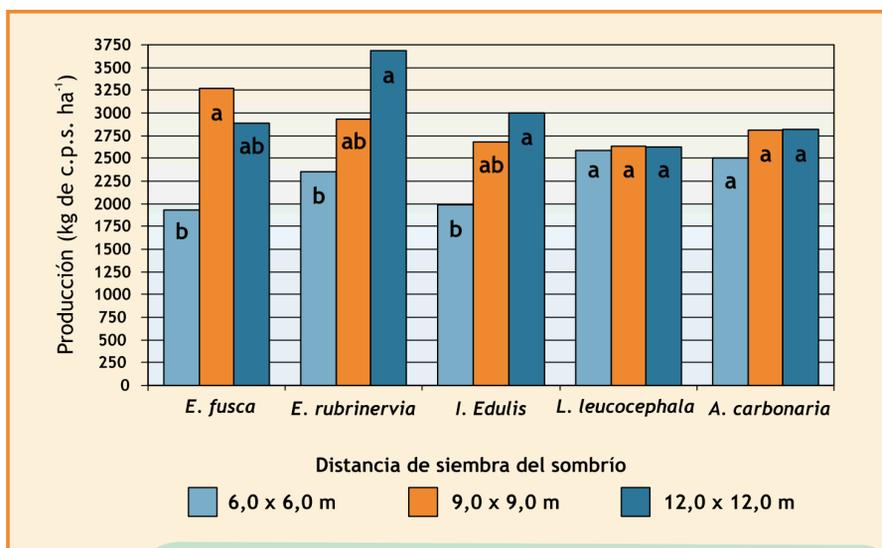
sombrío no tuvieron efecto significativo sobre la producción de café, en los años 1998 a 2002 ni sobre la media de la producción registrada durante el ciclo productivo (1998 a 2003). El promedio del porcentaje de cobertura arbórea bajo esta densidad de siembra del sombrío fue del 25,3% con *E. fusca*, del 20,9% con *E. rubrinervia*, del 37,4% con *I. Edulis*, del 24,0% con *L. leucocephala* y del 47,0% con *A. carbonaria*.

**Análisis de la producción del café, especie de sombrío por distancia de siembra.** En la Figura 8.35, se presenta la producción de café bajo una misma especie de sombrío en diferentes distancias de siembra (Cenicafé, 2004).

***Erythrina fusca*.** La producción de café fue 69,7% superior con 123 plantas.ha<sup>-1</sup> que con 278 árboles de sombrío.ha<sup>-1</sup>; para esta misma especie no hubo diferencia estadística entre las producciones de café con densidades de siembra del sombrío de 278 y 70 árboles.ha<sup>-1</sup>. Con ***Erythrina rubrinervia*** la producción de café fue 56,4% mayor con 70 plantas.ha<sup>-1</sup> que con 278 árboles de sombrío.ha<sup>-1</sup>. Entre las producciones de café con densidades de siembra del sombrío de *E. rubrinervia* a 123 y 278 árboles.ha<sup>-1</sup>, no hubo diferencias estadísticas.

***Inga edulis*.** Con esta especie la producción de café fue 50,9% superior con 70 plantas.ha<sup>-1</sup> que con 278 árboles de sombrío.ha<sup>-1</sup>; entre las producciones de café con densidades de siembra del sombrío de *I. edulis* con 123 y 278 árboles.ha<sup>-1</sup>, no hubo diferencias estadísticas.

Con ***Leucaena leucocephala*** y ***Albizia carbonaria***, la producción de café no es afectada por el incremento en la densidad de siembra (de 70 a 278 árboles.ha<sup>-1</sup>) de ninguna de estas dos especies de sombrío.



**Figura 8.35.** Producción del café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), bajo sombrío de una misma especie en diferentes distancias de siembra (Cenicafé, 2004).

## Sombrío transitorio

**Efecto del intercalamiento del plátano (*Musa* AAB, Simmonds) c.v. dominico hartón sobre la producción del café (*Coffea arabica*, L.)**

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

**Arreglo espacial del café:** 2,0 x 1,0 m (5.000 plantas.ha<sup>-1</sup>)

**Tratamientos:** Los tratamientos estuvieron conformados por un factorial 2<sup>3</sup>, con el Factor A: la fertilización del café, Factor B: intercalamiento de plátano y Factor C: aplicación del mulch de plátano (Tabla 8.8)

**Niveles del fertilizante:**

Dosis recomendada en el análisis de suelos, aplicados al café en cada una de las distancias de siembra del sombrío

**Localización:** Subestación Experimental La Catalina (Risaralda)

**Respuesta en producción del café a la aplicación de fertilizante, al intercalamiento de plátano y a la aplicación de la biomasa seca de plátano.** Los resultados de la producción de café (kg de café pergamino seco.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), se presentan en la Tabla 8.9. En este estudio el análisis de varianza indicó que las interacciones:Fertilización\* Intercalamiento de plátano, Fertilización\* Aplicación de mulch, Intercalamiento de plátano\* Aplicación de mulch y Fertilización\* Intercalamiento de plátano\* Aplicación de mulch, no tuvieron efecto significativo sobre la producción de café ni en cada año de evaluación, ni en la producción media de los cuatro ciclos; lo que indica que los factores fueron independientes entre si.

**Efecto de la aplicación de mulch de plátano sobre la producción de café.** Las diferencias estadísticas se representan con letras minúsculas entre paréntesis en la Tabla 8.9. Los resultados de estos análisis indican que la cobertura vegetal muerta (mulch), producida por el plátano (c.v. Dominico Hartón), no tuvo efecto significativo sobre la producción de café en los años 2000 a 2003, ni en la producción media de las cuatro cosechas de café.

**Efecto del intercalamiento de plátano sobre la producción de café.** Las diferencias estadísticas se representan con letras minúsculas en la Tabla 8.9. Los resultados de los análisis indican que en los años 2000 a 2003 y en la producción media de cuatro ciclos productivos, hubo efecto del intercalamiento de plátano sobre la producción de café, siendo mayores las producciones en el cafetal solo. La producción media del café sin intercalamiento de plátano fue 28,7% mayor que en el sistema café con plátano y el café sin fertilizar, en los dos casos; esta diferencia fue 25,2% más alta en el

**Tabla 8.8.** Descripción de los tratamientos resultantes de la interacción de los factores y niveles evaluados.

Nº	Factor	Descripción
01	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	Café sin fertilizar, sin intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
02	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	Café sin fertilizar, sin intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch
03	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	Café sin fertilizar, con intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
04	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	Café sin fertilizar, con intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch
05	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	Café fertilizado, sin intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
06	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	Café fertilizado, sin intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch
07	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	Café fertilizado, con intercalamiento de plátano y sin aplicación de mulch
08	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	Café fertilizado, con intercalamiento de plátano y con aplicación de mulch

**Tabla 8.9.** Producción de café pergamino seco (kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), en cafetales asociados con plátano en la Subestación Experimental La Catalina. Años 2000 a 2003 (Farfán 2005).

Sistemas de cultivo			Media
Café sin fertilización	Café solo	Sin mulch	2.715,1 B a (a)
		Con mulch	3.000,8 B a (a)
	Café // Plátano	Sin mulch	1.877,8 B b (a)
		Con mulch	2.196,3 B b (a)
Café con fertilización	Café solo	Sin mulch	4.319,7 A a (a)
		Con mulch	4.696,2 A a (a)
	Café // Plátano	Sin mulch	3.312,4 A b (a)
		Con mulch	3.434,0 A b (a)

\* Valores con letra diferente en las columnas indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%.

café solo si es comparada con el café con plátano y el café fertilizado en ambos casos.

**Efecto de la fertilización sobre la producción de café.** Las diferencias estadísticas se representan con letras mayúsculas en la Tabla 8.9. Los resultados indican que la fertilización tuvo un efecto significativo sobre la producción del café, tanto en los años de evaluación 2000 a 2003, como en la producción media de los cuatro años estudiados. El promedio de la producción de café sin fertilizar fue de 2.447,5 kg de cps.ha<sup>-1</sup> y la del café con fertilización de 3.940,5 kg de cps.ha<sup>-1</sup>; los resultados estadísticos permiten inferir que la fertilización incrementó la producción en un 61,0% (Farfán, 2005).

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

De acuerdo con Sylvain (1958), Cassol *et al.* (2004) y Bull (1963), la cobertura vegetal producida por los árboles

de sombra y el mulch aplicado pueden tener un efecto benéfico en la conservación de la humedad en el suelo, ya que indirectamente disminuyen la acción del viento y la temperatura de la capa superficial, lo que da como resultado una menor evaporación, además del aporte de materia orgánica. No obstante, en comunidades arbóreas el número de especies y la cantidad de biomasa producida por las plantas es un determinante importante de las características del ecosistema, y estos dos factores dependen en alto grado de la cantidad y la distribución espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas (Breshears y Barnes, 1999).

Algunos autores sostienen que los árboles de sombra también consumen agua por transpiración y por tanto, pueden competir con el cafeto por ese aspecto. Al establecer una relación entre los resultados de los trabajos de Franco (1952) y Franco e Inforzato (1951), en el Brasil, se encuentra que la transpiración de una planta de *Inga* sp. es equivalente a la transpiración de 10 plantas de café. Según Gutiérrez (1958), Sylvain (1958) y Erenstein (2003), se puede aumentar la disponibilidad de agua en el suelo con el mulch y con las prácticas de conservación que disminuyen la velocidad y la energía de escorrentía, y que aumentan la infiltración.

En Cenicafe se desarrolló una investigación en la cual se evaluó el efecto que dos especies leguminosas empleadas como sombrío, así como su producción de “mulch” y su efecto sobre la disponibilidad y la distribución de agua en el suelo

**Localización:** Subestación Experimental Pueblo Bello  
Subestación Experimental El Tambo

**Sistema agroforestal:** Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

**Componente arbóreo:** *Inga edulis* (Guamo Santefereño) y *Erythrina fusca* (Cámbulo) en Pueblo Bello; en El Tambo se empleó la misma especie de *Inga* y *Erythrina poeppigiana* (Pisamo).

**Estructura:** Diversa

**Arreglo espacial:** Zonal o sistemático (9,0 x 9,0 m)

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

**Tratamientos:** Los tratamientos sobre el suelo fueron: la siembra del café bajo tres niveles de sombra (café al sol, con sombrío de *Inga* sp. y con sombrío de *Erythrina* sp.) y dos tratamientos de cobertura muerta o mulch (sin y con cobertura vegetal muerta).

Para cuantificar la humedad del suelo se utilizó el sistema de “bloques de resistencia eléctrica (Bouyoucos)”. Se emplearon sensores tipo “Soil Block, Model A-71”, que consisten en un bloque de yeso que contiene dos electrodos localizados en el interior del material poroso; los electrodos que pueden ser cilíndricos, de placas lisas o placas perforadas de metal, van unidos a cables eléctricos, los cuales se entierran en el suelo a diferentes profundidades. El principio de su funcionamiento se basa en la conductividad eléctrica, así cuánto más húmedo el suelo mayor es la conductividad, por ejemplo, un suelo saturado tiene una resistencia que varía entre 440 y 450 ohms, en capacidad de campo el valor es de 650 ohms y cuando está próximo al punto de marchitez permanente es de 25.000 ohms (Challenge Agriculture, 1990).

Para registrar y almacenar la información, se empleó un medidor de corriente alterna “Digital Soil Moisture Meter, Model A-75”, el cual es específico para esta finalidad y donde se conectan los cables que unen los electrodos de los Bloques de resistencia eléctrica: Estos registros son expresados en “Porcentajes de agua en el suelo”

El sistema se instaló en enero de 1998 en cada localidad y en cada unidad experimental a tres profundidades del suelo (20, 40 y 80 cm) y distanciados a 2,25; 3,75 y 4,25 m del árbol de sombrío, cuando los árboles tenían 3,5 años de edad. Una vez instalados los sistemas, se inició el registro de la humedad del suelo cada 10 días, durante tres años.

Se realizaron comparaciones de la humedad volumétrica entre los tratamientos en cada localidad. De acuerdo

con el análisis de varianza y las pruebas de comparación (Tukey 5%), de los primeros 20 cm de profundidad del suelo y durante tres años (Tabla 10).

Al comparar la disponibilidad de agua en suelo bajo cada uno de los tratamientos, en todo el período de evaluaciones (enero de 1998 a diciembre de 2000), se encontró que en la S. E. Pueblo Bello, la mayor probabilidad de deficiencias hídricas pueden ocurrir cuando se cultiva el suelo con café bajo sombrío de *Erythrina fusca* y se aplica al suelo cobertura vegetal muerta; de acuerdo con Bussiere y Cellier (1994), el LAI (Leaf Area Index) del mulch tiene una gran influencia sobre la evaporación y la temperatura del suelo, y que a mayor LAI, por ejemplo de 4,0 se limita la evaporación e intercepta mas precipitación que un LAI de 1,0, lo cual afecta la humedad del suelo. El asocio de café con sombrío, puede producir un descenso en la producción del cafeto como consecuencia de la competencia por luz, agua y nutrientes por parte de los árboles (Nicholas, 1988; Schroth *et al.*, 2001).

Opara y Lal (1987), observaron que la aplicación de mulch en la zona de raíces de *Manihot esculenta* y su incorporación en los 10 primeros cm del suelo, forma un “sello superficial” que afecta la tasa de infiltración y por ende, se tiene una menor cantidad de agua disponible en el suelo. Como solución a esta deficiencia, Vicente *et al.* (1969), sugieren que la cobertura muerta en café solo debe aplicarse en algunas áreas cultivadas, en café a libre exposición solar y en períodos de sequía definidos.

En la Subestación Experimental de El Tambo y de acuerdo a los resultados obtenidos se estableció que los árboles de sombrío y la cobertura vegetal muerta no tuvieron efecto sobre la humedad volumétrica del suelo, es decir en SAF con café no se presentaron diferencias hídricas.

En sistemas agroforestales, la cantidad y la distribución espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas, depende en alto grado del número de árboles y de la cantidad de biomasa producida (Breshears y Barnes, 1999).

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

Diversos estudios confirman las bondades de especies leguminosas para ser empleadas como sombrío para el café, pero muy poco o nada se ha estudiado sobre las interacciones biofísicas de sistemas agroforestales los cuales involucran a especies forestales como componente arbóreo, estas especies pueden tener

Tabla 8.10. Comparaciones de la humedad volumétrica (mm), registrada en los tratamientos. Subestaciones Experimentales Pueblo Bello y El Tambo.

Comparación entre tratamientos							
Localidad	1	2	3	4	5	6	C,V,
S. E. de Pueblo Bello	53,7 a	52,7 abc	53,3 ab	52,4 bc	51,7 c	49,4 d	9.0%
S. E. de El Tambo	79,6 a	80,2 a	80,5 a	80,3 a	79,8 a	80,0 a	4.4%

1. Café a libre exposición solar, sin mulch
2. Café a libre exposición solar, con mulch
3. Café con sombrío de *Inga edulis*, sin mulch
4. Café con sombrío de *Inga edulis*, con mulch
5. Café con sombrío de *Erythrina* sp, sin mulch
6. Café con sombrío de *Erythrina* sp, sin mulch

\* promedios con letras distintas indican diferencias estadísticas según la prueba Tukey al 5%

potencial biológico y económico para ser empleadas con los mismos propósitos. Son muchas las especulaciones sobre los efectos que estas especies tendrían sobre los suelos y sobre los cultivos; algunos autores como Chang, *et al.* (2002) y Dijkstra (2001), afirman que éstas utilizan toda el agua del suelo, acidifican y esterilizan el suelo, reducen la biodiversidad y son inhóspitas para la fauna, afectando además el clima. Con el propósito de estudiar cómo interactúan los componentes de un sistema agroforestal, café - especies forestales, y su efecto en los cambios químicos del suelo, en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, se estableció un estudio que permitiera analizar estos cambios al plantar el café bajo sombrío de tres especies de valor comercial.

**Título de la Investigación:** Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de tres especies forestales

**Localización:** Subestación Experimental Paraguaicito

**Sistema agroforestal:** Simultáneo (árboles con cultivos perennes)

**Componente arbóreo:** Nogal cafetero (*Cordia alliodora*), eucalipto (*Eucalyptus grandis*) y pino (*Pinus oocarpa*)

**Estructura:** Diversa

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

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

**Tratamientos:** Los tratamientos fueron la siembra de: (I) Café a libre exposición; (II) Café con sombrío de nogal; (III) Café con sombrío de pino y (IV) Café con sombrío de eucalipto.

**Comparación de los requerimiento del café vs. valores encontrados hasta el año 2005 en los sistemas evaluados.** Los valores para cada variable evaluada al inicio del estudio (1995) y al final de éste (2005), así como

los rangos óptimos reportados por Valencia y Carrillo (1983) para el café, se comparan en la Tabla 8.11.

Al comparar los valores recomendados y los encontrados en el campo experimental, se observó que:

- El pH disminuye en cualquier sistema de cultivo del café. Al final del período, el pH no es limitativo para la productividad del café y, por el contrario, se mantiene dentro de los rangos óptimos definidos para el cultivo.
- Los valores iniciales de materia orgánica y fósforo, se encontraron por debajo de los rangos óptimos establecidos para el desarrollo del café, condición que no obedece al cultivo del café, sólo o en asocio con las especies forestales, sino a las propiedades químicas naturales de los suelos donde se realizó el estudio.
- Los niveles de potasio en el suelo, al final del período, disminuyeron sus concentraciones significativamente (entre el 42% y 59%), en las parcelas establecidas con café y sombrío de especies forestales, y esta disminución fue más crítica con sombrío de pino, donde los valores de potasio estuvieron por debajo del nivel mínimo establecido para café; condición preocupante, dadas las funciones que este elemento cumple en la planta, entre otras: participa en procesos fotosintéticos (p.e., mayor asimilación de CO<sub>2</sub>) y en la formación de glucósidos, mejora la migración de estos hacia los órganos de reserva, lo que influye sobre la calidad del grano; aumenta la elaboración de proteínas a partir del N mineral permitiendo una mejor utilización de los abonos nitrogenados; reduce la transpiración y contribuye a mantener la turgencia celular, dando a la planta cierta resistencia al marchitamiento (Van Noordwijk, 2000; Valencia, 1999).

**Tabla 8.11.** Condiciones físico - químicas de suelos aptos para café, y condiciones medias registradas después de 11 años en los primeros 30 cm de profundidad del suelo (Valencia y Carrillo, 1983).

Característica	Condición de alerta	Condición apta	Problema aparente	Condición registrada*							
				Café		Nogal		Pino		Eucal	
				Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin
pH (unidades)	4,0-4,9	5,0-5,5	>5,6	5,73	5,50	5,80	5,40	5,70	5,40	5,70	5,30
Materia orgánica (%)	9,0-11,4	>11,5		6,48	6,10	6,53	6,80	6,65	7,30	7,50	6,00
Fósforo (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,0-6,0	6,0-14,0	>14,0	1,25	10,0	2,50	6,0	1,25	5,0	3,00	5,0
Potasio (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,0-0,29	0,30-0,40	>0,41	0,54	0,58	1,07	0,46	0,45	0,26	1,04	0,43
Calcio (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,0-1,6	1,6-4,2	>4,2	7,95	5,40	7,68	4,80	5,98	4,20	6,10	4,30
Magnesio (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,0-0,5	0,-1,4	>1,4	1,20	1,00	1,28	1,00	0,90	0,60	1,18	0,90
Aluminio (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )		0,0-1,0	>1,1	0,10	0,20	0,05	0,30	0,08	0,30	0,05	0,30
C.I.C. (cmol <sub>(+)</sub> .kg <sup>-1</sup> )	2.0-5.0	6.0-10		18,0	17,0	16,5	17,0	18,3	15,0	18,3	19,0

\*En los primeros 30 cm de profundidad del suelo y en un período de 10 años

- Las concentraciones de calcio y magnesio disminuyeron en el período de evaluación (10 años), tanto en los suelos establecidos con café como en aquellos con café y especies forestales; sin embargo, al final del período las concentraciones registradas no indicaron limitación aparente para el desarrollo del café.
- Si bien las concentraciones de aluminio aumentaron, éstas en ningún caso llegaron a estar por encima de los niveles máximos tolerables.

#### DE ESTE ESTUDIO SE CONCLUYÓ QUE:

- Para los suelos donde se realizó el estudio, de alta fertilidad natural, las concentraciones de nutrientes observados después de 10 años, a excepción de la parcela en asocio con pino, no afectan las necesidades nutricionales del café.
- Basados en los cambios observados en las concentraciones de las bases cambiables (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>), al final del período, se pone de manifiesto que las especies forestales son grandes consumidoras de nutrientes, principalmente de K<sup>+</sup>.
- La solución a esta situación de competencia impuesta por las especies forestales por el potasio, es mantener con ayuda de los análisis de suelos, por lo menos cada dos años, los contenidos del potasio en el suelo en unos niveles que no afecten los requerimientos nutricionales del café.

## Descripción de algunos árboles utilizados como sombrío del café

(Acero, 1985; Cordero *et al.*, 2003; Cenicafé, 2004; Espinal, 1986; Noguera, 1982; Toro, 2000; Vargas, 2002; CONABIO, 2006; Nair, 1980).

### • *Inga edulis* (Vell) Mart.

Guamo rabo de mico, guamo santafereño, guajinicuil, guabo, guaba chilillo, mecate, guamo, rabo de mono, guamo churimo, guabillo.

**Hábito:** Alcanza alturas hasta 30 m.

**Tallo:** Recto, cilíndrico, con corteza marrón claro.

**DAP:** 30-60 cm.

**Copa:** Densa, ancha, aparasolada. Alcanza diámetros de 15 m.

**Hojas:** Compuestas, de 15 a 25 cm de longitud, de ápice agudo y base obtusa, haz glabro y verde oscuro, con envés pubescente y amarillento.

**Flores:** Blancas.

**Frutos:** Legumbres de 40 a 180 cm de largo. Frutos café verduco, profundamente estriados, carnosos, con numerosas semillas negras en su interior y rodeadas por un arilo blanquecino, algodonoso y comestible.

**Otros caracteres:** Las semillas no requieren de tratamiento pregerminativo.

**Distribución geográfica:** Especie originaria de la Amazonía y se distribuye desde los 26° Sur en Brasil y Ecuador, hasta los 10° Norte en Honduras (América Central). Crece desde los 0 hasta los 1.800 m de altitud, en zonas con precipitaciones de 800 a 1.200 mm anuales, con una estación seca de hasta 4 meses y temperaturas de 20 a 26°C.



Figura 8.36. *Inga edulis* (Vell) Mart. Guamo santafereño (Ilustración tomada de Manual del Cafetero Colombiano, 1958. p 218).

**Otros usos:** Maderable, construcción, artesanal, combustible.

**Aspectos etnobotánicos:** Es común encontrarla a la orilla de caminos y ríos en formaciones de bosque secundario. Tolera suelos semipermeables y con altos contenidos de aluminio. Especie con abundante floración cada cuatro meses. Fructifica en la estación húmeda. El período óptimo para la recolección de frutos es entre julio y agosto. Los frutos se recolectan directamente del árbol o del suelo. Es difícil de trabajar.

**Sistema agroforestal:** Se emplea principalmente como sombrío en cultivos perennes, como en café y cacao. Es de fácil germinación por semilla, rápido crecimiento, posee la capacidad de fijar nitrógeno y se adapta a una amplia variedad de suelos incluyendo los ácidos y mal drenados. Su hojarasca produce abundante materia orgánica lo que contribuye al control de arvenses, la transferencia de nutrientes y la conservación de la humedad del suelo. Es un árbol que tiene la capacidad de atraer hormigas que la defienden contra animales herbívoros y tiene la posibilidad de combinarse con otras especies del mismo género, lo que contribuye a la diversidad genética. Además, tiene gran potencial para emplearse como cultivo en callejones, para

### CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

- Debe establecerse café con árboles de sombrío en zonas donde ocurran deficiencias hídricas en períodos largos, así como en regiones donde el relieve es fuertemente quebrado con pendientes fuertes (>50%), con suelos susceptibles a la erosión, poco profundos y poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad natural. Además que presenten mal drenaje, baja permeabilidad y baja retención de humedad. También es necesario establecer café con sombrío si el objetivo de la producción es la participación en algunos mercados de cafés especiales, por ejemplo: cafés orgánicos, cafés amigables con las aves, cafés aliados de los bosques y cafés de conservación, entre otros.
- Al establecer sistemas agroforestales con café debe tenerse en cuenta: (1)Cuál es el objetivo de plantar árboles de sombrío en el cafetal; (2)Cuál especie arbórea debe establecerse como sombrío; (3) Cuáles servicios y productos se esperan de los árboles; (4) Identificar la características del sitio donde se establecerán los árboles; (5) Establecer en cuáles ambientes se espera mayor beneficio de los árboles de sombrío; (6) Identificar aquellos árboles que se desarrollan bien en las condiciones de la finca; (7) Realizar un listado de las especies a elegir; (8) Planificar las prácticas de manejo de los árboles seleccionados.
- El grado o nivel de sombra depende de parámetros ambientales como la precipitación, las horas luz, la humedad relativa y la nubosidad, entre otros, así como de parámetros edáficos o de la capacidad de competencia por nutrientes y agua, que la especie arbórea pueda tener con el café. En condiciones ideales, el cafetal puede establecerse a plena exposición solar o con un menor número de árboles por hectárea que le proporcionen un menor grado de sombra; sin embargo, en zonas con limitantes para su crecimiento el cafetal requiere de un mayor número de árboles o mayor porcentaje de sombra.
- De acuerdo a la investigaciones realizadas en Cenicafe en la Estación Central Naranjal y las Subestaciones Experimentales de Pueblo Bello, Paraguaicito y El Tambo, ha podido establecerse que al sembrar café con árboles de sombrío, el grado de cobertura o de sombra debe estar entre el 35 y 45%. Porcentajes de sombra por encima del 45% afectan negativamente la producción.
- Es importante determinar el momento en qué debe iniciarse la regulación del sombrío, para mantener los porcentajes de sombra dentro de los rangos óptimos, y así prevenir la reducción de la productividad del café. Cabe resaltar que es el porcentaje de sombra el que afecta la producción del café y no el tipo de sombrío empleado, por tanto, es fundamental tener los registros por año de producción de café y de las evaluaciones de los porcentajes de cobertura para poder establecer las correlaciones entre esta dos variables y determinar el año de inicio del manejo del sombrío.

la producción de leña y para madera de pequeñas dimensiones; plantada en este sistema esta especie ha demostrado ser una de las más adaptables y productivas del género.

**Producción de biomasa:** El guamo santafereño en asociaciones con café como sombrío y establecido a 12,0 x 12,0 m, pueden aportar cerca de 11,0 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de materia seca, 199,0 kg de N; 7,7 de P; 48,9 de K; 158 de Ca y 27,3 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de Mg (Cardona y Sadeghian, 2005).

- **Inga densiflora (Benth).** Guamo macheto

**Hábito:** Árbol de 5 a 8 m de altura

**Tallo:** Recto, ramificado

**DAP:** 10-20 cm.

**Copa:** Copa arbórea un poco extendida.

**Hojas:** Follaje verde oscuro, brillante y denso.

**Flores:** Blancas .

**Frutos:** Vainas verdes, anchas, planas y retorcidas de hasta 40 cm de longitud. En el interior poseen semillas negras cubiertas por una carnosidad o arilo blanco que es comestible.

**Otros caracteres:** La semilla inicia la germinación directamente en el fruto maduro.

**Distribución geográfica:** Nativa de América tropical, se encuentra en las cordilleras de Colombia en altitudes entre 1.000 y 1.500 m y zonas con temperatura entre 19,5 a 22,5 °C.

**Otros usos:** Alimenticio, conservacionista, ornamental y maderable.

**Aspectos etnobotánicos:** Cultivada en el paisaje cultural. Crece bien en suelos profundos, bien aireados y bien drenados. Ha sido una especie apta para la recuperación de suelos y se vende por sus frutos comestibles. Se encontraba asociada a los cafetales como sombrío, pero ha sido desplazada. Son pocos los individuos que se encuentran cultivados.

**Sistema agroforestal:** En sistemas agroforestales además de ser útil como sombrío para el café, puede establecerse como cortina rompimiento. En sistemas agroforestales cumplen las mismas funciones para este género.

**Producción de biomasa:** El guamo macheto establecido como sombrío de café a 6,0 x 6,0 m, aporta cerca de 6,0 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de materia seca, 115,8 kg de N; 3,0 de P; 32,4 de K y 9,0 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de Mg<sup>3</sup>.

- **Erythrina poeppigiana (Walp.) Cook.** Písamo, cachimbo, bucayo, búcaro, cámbulo saivo, cámbulo.

**Hábito:** Árbol mayor de 20 m

**Tallo:** Recto y mayor de 10 m.

**DAP:** 50-100 cm.



Figura 8.37. *Inga densiflora* (Benth). Guamo macheto (Ilustración de Alvaro Fernández, tomada del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). [www.darnis.inbio.ac.cr](http://www.darnis.inbio.ac.cr)).

**Copa:** Extendida, follaje denso que alcanza alturas hasta de 30 m

**Hojas:** Foliolos ovalados con venas prominentes por el envés e impresas en el haz. Hojas alternas trifoliadas.

**Flores:** Flores rojas. Las flores son como gallitos y en algunas regiones se come a manera de legumbre. Vistosa floración roja lo cual la hace inconfundible desde lejos.

**Frutos:** Los frutos son vainas de 10 cm de largo que guardan unas seis semillas de color café - rojizo.

**Otros caracteres:** Espinas en el tallo, inflorescencias péndulas.

**Distribución geográfica:** Originaria de los Andes tropicales, se encuentra cultivado y espontáneo en altitudes de 600 a 1.400 m y zonas con temperaturas de 20,5 a 24,5°C.

**Otros usos:** Conservacionista, ornamental, medicinal y maderable.

**Aspectos etnobotánicos:** Cultivado en el paisaje cultural y espontánea en el lecho de ríos. Su follaje sirve como abono y forraje. Es una especie fijadora de nitrógeno y apta para la recuperación de suelos, además de servir como especie para cercas vivas y sombrío para ganado. La madera es útil para Tablas de pisos. Crece en suelos de textura franco arcillosa a franca, con drenaje regular a algo excesivo. Es poco exigente en

<sup>3</sup> Experimento Fit 1710, Subestación Experimental El Tambo; resultados preliminares agosto de 2004 a agosto de 2005.

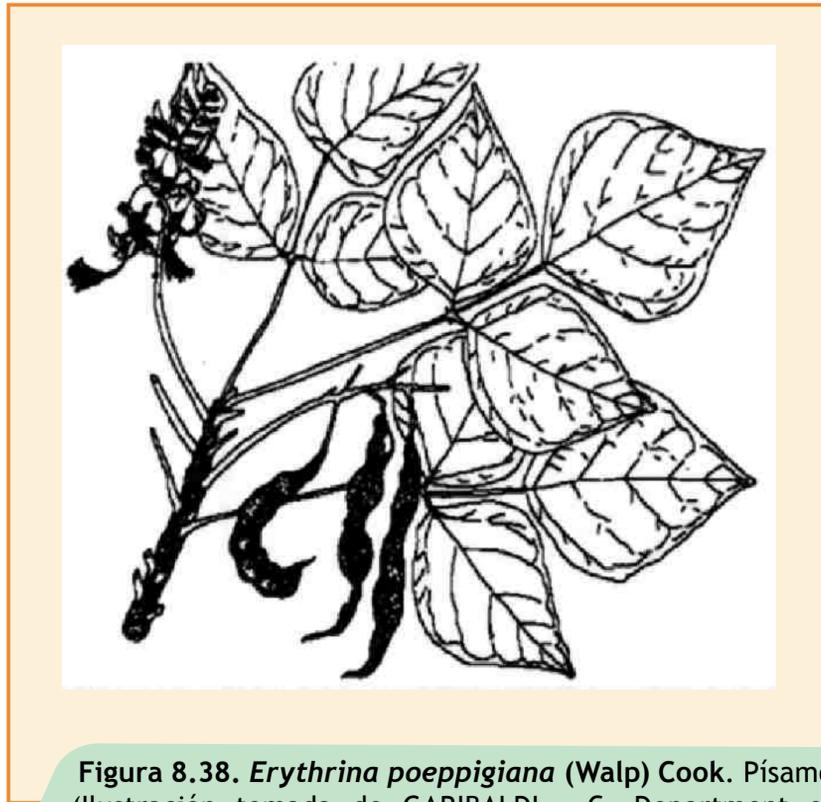


Figura 8.38. *Erythrina poeppigiana* (Walp) Cook. Písamo (Ilustración tomada de GARIBALDI, C. Department of Botany, University of Panamá, Panamá. [www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726](http://www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726))

la fertilidad, se desarrolla también en suelos pobres, arenosos profundos y arcillosos.

**Sistema agroforestal:** Se emplea en sistemas agroforestales de todo tipo: agrosilvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles. En estos sistemas siempre hay evidencia de una mejora de la fertilidad del suelo tras plantar esta especie. En América Central es una de las especies más importantes para sombra en café y cacao. También es valorada por la producción de abono verde y “mulch”, posee gran tolerancia a podas frecuentes durante largo tiempo, lo que permite ajustar la sombra del cultivo principal. Se usa para intercultivos con frijol y maíz, puede cultivarse en asocio con pasto para la producción de forraje y a la vez de separación de potreros. Se emplea frecuentemente en cercas vivas o como sombra o forraje para el ganado y las cabras. En las plantaciones de café proporciona una sombra homogénea y fácilmente manejable, mejora el crecimiento y la producción de café y reduce el establecimiento de las arvenses.

**Producción de biomasa:** Como sombrío, el písamo tiene el potencial de producir 39,1 t de materia seca.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y transferir al suelo 114,8 kg de N.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, 51,4 kg.ha<sup>-1</sup> de P, 237,0 kg de K y 433,5 y 118,4 kg.ha<sup>-1</sup> de Ca y Mg (Fassbender *et al.*, 1988).

- *Erythrina fusca* Willd. Cámbulo, cantagallo, písamo calentano, poró, cachimbo, búcaro.

**Hábito:** Árbol de 10 a 20 m

**Tallo:** Retorcido hasta de 5 m.

**DAP:** 50-100 cm.

**Copa:** Copa arbórea.

**Hojas:** Hojas verde-blancuzcas.

**Flores:** Flores anaranjadas.

**Frutos:** Los frutos son legumbres o frijoles largos y delgados.

**Otros caracteres:** Árbol frondoso, con espinas romas en el tallo principal y agudas en las ramas; corteza rojiza con brillo metálico en las partes jóvenes. Se propaga por estacas.

**Distribución geográfica:** Originario de América tropical y en los lugares donde se encuentra espontáneo forma rodales puros, a lo largo de pantanos y ríos. Crece en zonas con altitudes entre 0 y 1.600 m y temperaturas mayores de 19°C.

**Otros usos:** Alimenticio, conservacionista y maderable.

**Aspectos etnobotánicos:** Cultivado en el paisaje cultural y espontáneo en el bosque mixto. Posee frutos negros y las iguanas los consumen en estado tierno, algunas veces rompen el fruto y consumen las semillas. Estas especies vegetales se han recomendado como sombrío para cafetales; en Costa Rica se utilizan las ramas como combustible, haciendo la poda anual y dejando casi a plena exposición el cafetal. Las características espinosas del tronco, dificultan su transporte, aunque se recomienda su propagación por estacas para evitar dicha proliferación.

**Sistema agroforestal:** En todo el mundo, el uso principal del género *Erythrina* es como árbol de sombra y soporte. Es muy apreciada en América Central como sombra para café y cacao, principalmente



Figura 8.39. *Erythrina fusca* Willd. Cámbulo. (Ilustración tomada de [www.fao.org/.../Publicat/Gutt-shel/x5556e0a.gif](http://www.fao.org/.../Publicat/Gutt-shel/x5556e0a.gif))

por su adaptación a zonas húmedas donde estos cultivos crecen generalmente. Estudios de reciclaje de nutrientes en café y cacao bajo sombra de esta especie han demostrado su valor en Costa Rica, Brasil y Venezuela, y es preferida frente a otras especies por lo rápido de su establecimiento y la gran producción de biomasa. En Costa Rica, *Erythrina fusca* se usa como soporte de diversos cultivos y en ocasiones como cerca viva. Es una especie promisoría para intercultivos con maíz o yuca, pues retiene las hojas durante la estación seca; además de reciclar nitrógeno, fósforo y potasio de la hojarasca y ramillas. En Colombia, donde tradicionalmente se usa como cerca viva, podría tener potencial como especie agroforestal en zonas con lluvias irregulares.

**Producción de biomasa:** Plantada en rodales puros a 2,0 x 2,0 m puede producir cerca de 2,7 toneladas.  $\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  de biomasa y establecida en sistemas agroforestales a 4,0 x 4,0 m puede aportar hasta 30  $\text{t}.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  de materia seca.

- *Erythrina edulis* Triana. Chachafruto, balú, sachapuroto, nupo, chaporuto, poroto.

**Hábito:** Árbol de 5 a 10 m de altura

**Tallo:** Recto de 1 a 3 m

**DAP:** 10-20 cm

**Copa:** Abanicada

**Hojas:** Anchas

**Flores:** Rojas

**Frutos:** Frutos en vainas hasta de 40 cm de longitud. Con semillas suculentas y comestibles

**Otros caracteres:** Tronco espinoso

**Distribución geográfica:** Originario de América tropical. Crece espontáneamente y también como cultivo en zonas con altitudes de 1.400 a 2.000 m y temperaturas entre 17 y 20,5°C.

**Otros usos:** Alimenticio, ornamental y conservacionista.

**Aspectos etnobotánicos:** Planta fijadora de nitrógeno del aire, y que lo almacena en sus raíces en estructuras nodulares. Esta especie se emplea para la alimentación humana y animal, pues tanto las hojas como los frutos son ricos en proteína. Cortando las hojas bajas cada cuatro meses, un árbol puede producir 78 kilogramos de cáscara de fruto y 88 kilogramos de semillas por año como explotación comercial.

**Sistema agroforestal:** Los caficultores siembran esta especie a todo lo largo de cercas o linderos, obteniendo así una cerca viva y una fuente alterna de proteína.

**Producción de biomasa:** Si se tiene como banco de proteína, sembrado a distancias de 60 x 90 cm, se puede recolectar cada 4 meses un promedio de 70 toneladas de forraje verde.  $\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ .



Figura 8.40. *Erythrina edulis* Triana. Chachafruto. (Ilustración tomada de Manual del cafetero Colombiano. FNC, 1958. p 228)

- *Albizzia carbonaria* Br. ex Br. & Wilson. Carbonero gigante, guamucho, pisquín, dormilón, bayeto.

**Hábito:** Árbol de 20 a 30 m

**Tallo:** Recto mayor de 10 m

**DAP:** 50-100 cm

**Copa:** Extendida

**Hojas:** Ralo, permanente

**Flores:** Actinomorfas, bisexuales, inconspicuas en inflorescencias.

**Frutos:** Frutos en legumbres de 8 a 11 cm de largo, anchos, secos y dehiscentes. Posee semillas transversales.

**Otros caracteres:** Corteza desprendible, madera liviana.

**Distribución geográfica:** Originaria de Asia tropical. En Colombia se encuentra cultivada y espontánea en zonas entre 700 - 1.700 m de altitud.

**Otros usos:** Ornamental y maderable.

**Aspectos etnobotánicos:** Cultivado en paisaje cultural, espontáneo en lechos de ríos y bosque mixto. A pesar de ser nativo de Asia tropical, se ha naturalizado tanto en Colombia que aparecen grandes poblaciones de esta especie en áreas degradadas entre 700-1.700 m de altitud, en suelos pobres y bien drenados. Es exigente en luz. junto con el balso, fue la especie arbórea dominante cinco años después del paso de la avalancha del volcán Nevado del Ruiz.

**Sistema agroforestal:** La especie es preferida como sombra para café en partes de la zona Occidental de Costa Rica, porque mantiene las hojas en la estación seca, es una leguminosa con alto contenido en nitrógeno en las hojas (4% de la materia seca). En el resto de Sur y Centroamérica se usa como árbol de sombra en pastos para el ganado.



Figura 8.41. *Albizzia carbonaria* Br. ex Br. & Wilson. Carbonero gigante. (Ilustración tomada de Manual del cafetero Colombiano, 1958. p 224).

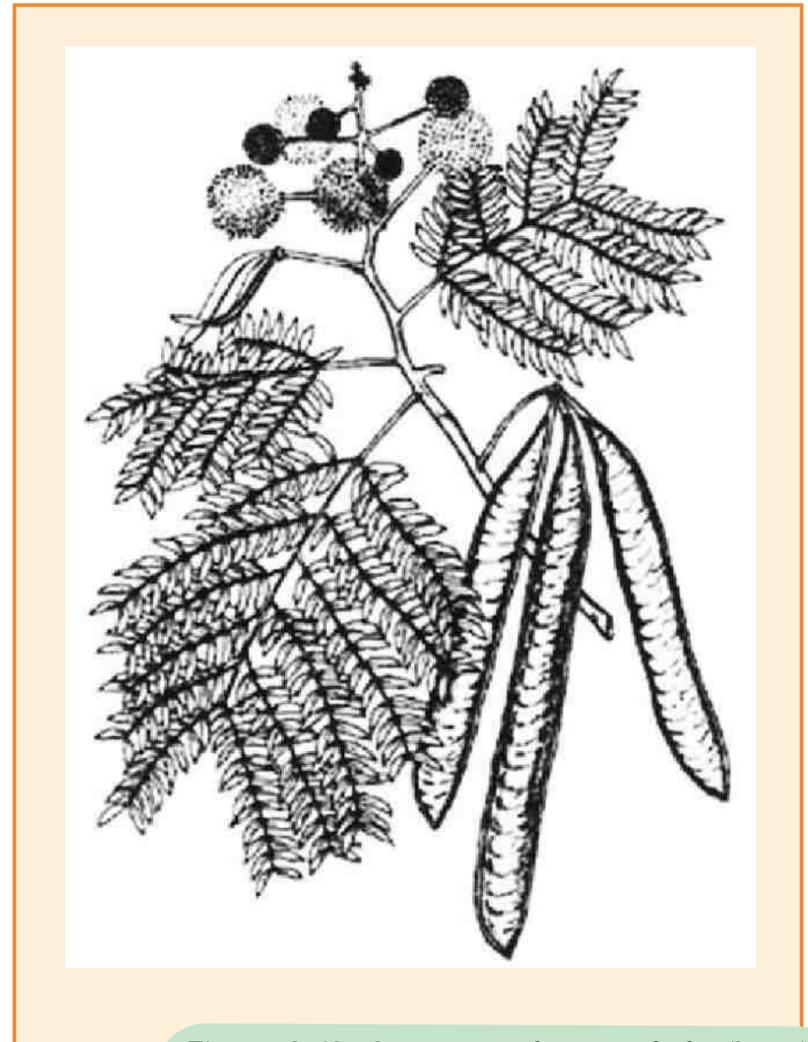


Figura 8.42. *Lueucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Leucaena (Ilustración tomada de [www.tropicalgrasslands.asn.au/.../leucaena.gif](http://www.tropicalgrasslands.asn.au/.../leucaena.gif)).

**Producción de biomasa:** No es una especie productora de una gran cantidad de biomasa, de esta especie se han obtenido a los once meses de edad, hasta 114,5 kg de biomasa verde. Se usa principalmente como sombrío.

- ***Lueucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.** Leucaena, carbonero blanco, acacia blanca, panelo, tamarindillo, acuna, guaje, yaje, uaxin, lead tree, hediendilla, sarcilla, lino criollo, aroma blanca, aroma mansa, kubabul, lepile, bayani, ipil ipil, lamtora, Vi-Vi, acacia forrajera.

**Hábito:** Alcanza alturas desde 5 hasta 20 m

**Tallo:** Corteza lisa o ligeramente fisurada

**DAP:** 15-40 cm

**Copa:** Ligeramente abierta y rala

**Hojas:** Hojas compuestas, bipinnadas y alternas.

**Flores:** Blancas, suavemente perfumadas.

**Frutos:** Vainas aplanadas dehiscentes. Los frutos son de 10 a 20 cm de largo por 2 a 2,5 cm de diámetro, verdes cuando están tiernos y se tornan cafés cuando maduran, poseen de 15 a 25 semillas cada uno.

**Otros caracteres:** Es una especie de crecimiento rápido. Tiene semillas elípticas, aplanadas, pardo brillantes y germinación epígea. Las semillas son ortodoxas.

**Distribución geográfica:** Es originaria de América tropical, desde el sur de México hasta Nicaragua. Ha sido introducida desde Estados Unidos hasta América del Sur; en las Antillas desde Bahamas hasta Tobago y en las islas del Pacífico, Filipinas, Indonesia, Papua-Nueva Guinea, Malasia, Africa Oriental y Occidental.

En América Central se encuentran distintas variedades nativas, clasificadas en tres tipos según su hábito de crecimiento: tipo hawaiano, tipo salvadoreño y tipo peruano. Se adapta bien casi desde el nivel del mar hasta los 800 a 900 m, y a sitios con 600 a 2.300 mm anuales de precipitación, con un período seco de 5 a 6 meses. La temperatura óptima para el buen desarrollo de esta especie varía entre 22 y 29°C.

**Otros usos:** Ornamental, alimenticio, conservacionista y como combustible.

**Aspectos etnobotánicos:** Es espontáneo en lechos de ríos. La leucaena tolera un amplio rango de suelos, desde rocosos hasta arcillosos. No crece bien en suelos ácidos, ni muy pesados, inundados o sobrepastoreados. Su madera es difícil de secar, tiene una densidad básica de 0,59. Puede utilizarse para fabricar mangos de herramientas (palas, picos, martillos), tableros de partículas y de fibras, puntales para minas, postes para cercas y pulpa para papel. La leucaena es excelente para leña y carbón, con un poder calórico de 4.200 a 4.600 kcal/kg, además produce poco humo. Posee un follaje de alta digestibilidad (60-70%), el cual contiene entre 20 y 25% de proteína, caroteno, vitamina K y otros nutrientes. Es una especie muy prolífica y bajo condiciones apropiadas de clima y suelo, es posible que haya producción de semillas en plantaciones con más de tres años.

**Sistema agroforestal:** Se cultiva como árbol de sombra para café, a menudo en asocio con *Inga* sp. y *Erythrina* sp. También se emplea como barrera viva, en linderos o como cercos vivos.

**Producción de biomasa:** La producción de biomasa (peso total de materia seca después de las podas y raleos) es en promedio de 22 toneladas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

- ***Cordia alliodora* (Ruíz Pavón) Oken.** Nogal cafetero, mo, moho, pardillo, canaleta, laurel, solera, nogal, guásimo, vara de humo.

**Hábito:** Árbol de 30 m de altura

**Tallo:** Recto y limpio de ramas en un 60-70%. Cuando el árbol es joven, la corteza es de color pardo oscuro, cubierta de líquenes blancos y no muy fisurada. Los árboles adultos poseen un tallo blanquecino y con fisuras.

**DAP:** 50 a 60 cm

**Copa:** Copa estrecha y subpiramidal, con ramificaciones por pisos, que se van secando a medida que aumenta la altura.

**Hojas:** Hojas verde amarillentas y lustrosas.

**Flores:** De 1 cm de largo y de ancho, con 5 pétalos blancos; cada inflorescencia posee entre 50 y 3.000 flores. Producen néctar y son polinizadas por abejas y otros insectos.

**Frutos:** En forma de drupa o nuez carnosas.

**Otros caracteres:** Propagación por vía asexual o por estacas, también es factible reproducirla por medio de cultivo de tejidos. Las raíces son amplias y profundas, bien desarrolladas; en suelos ricos y profundos, desarrolla una raíz pivotante, pero en suelos superficiales o con regular drenaje, éstas son ramificadas.

**Distribución geográfica:** El nogal es nativo de América tropical, se distribuye desde las Antillas y Sur de México hasta el límite meridional Suramericano, entre los 25° de Latitud Norte, hasta los 25° Sur. En Colombia, se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.900 m, en climas húmedos y muy húmedos. Es común encontrarlo en la zona cafetera, Sur de la Costa Pacífica, Magdalena medio, Nordeste del Chocó, Caquetá y Arauca. Aunque crece en climas secos tropicales, también se desarrolla en los húmedos de 1.500 a 3.000 mm de lluvia al año y con temperaturas entre 18 y 25°C.

**Otros usos:** Conservacionista, maderable, medicinal y para construcciones.

**Aspectos etnobotánicos** Los suelos demasiado pisoteados por el ganado, con deficiente drenaje, inciden bastante para un regular desarrollo de esta especie, razón por la cual no es apta para explotaciones silvopastoriles. La madera del nogal es considerada de buen valor comercial. La durabilidad natural varía de alta a muy alta. Es resistente a los hongos causantes de la pudrición marrón y el durámen es altamente



Figura 8.43. *Cordia alliodora* (Ruíz Pavón) Oken. Nogal cafetero. (Ilustración tomada de: BOSHIER D.H. Oxford Forestry Institute, Oxford, U.K. [www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726](http://www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726)).

resistente al ataque de termitas. La madera también puede utilizarse en la fabricación de instrumentos musicales y molduras de fundición.

**Sistema agroforestal:** El nogal es muy apropiado para plantar en sistemas agroforestales, por tener una copa estrecha, rápido crecimiento, poda natural y producir madera de calidad para ebanistería. Se establece en arreglos agroforestales bajo tres modalidades: en arreglos agroforestales permanentes, como en el caso del asocio con café o cacao; en arreglos agroforestales temporales (tipo taungya), cuando se combina con cultivos agrícolas anuales o semiperennes (maíz, yuca, plátano, banano, caña, arroz, etc); en plantaciones en línea (linderos), para delimitar cultivos como café, práctica común en Risaralda. En sistemas agroforestales con cultivos perennes (café, cacao) no puede manipularse la sombra de un árbol maduro de *C. alliodora* de la misma manera como otro árbol de sombrío, dado que no se alcanza para podar y los raleos no son deseables (excepto en los primeros años), por el daño a los cultivos.

**Producción de biomasa:** En estudios realizados por Urrego y Farfán (2002), el nogal en un sistema agroforestal con café, establecido a 6,0 x 6,0 m produjo en un año 4,0 t de materia orgánica por hectárea y transfirió al suelo 68,0 kg de N, 3,7 kg de P, 39,3 kg de K, 184,5 kg de a y 33,3 kg.ha<sup>-1</sup> de Mg.

- ***Alnus acuminata* Kuntz.** Aliso

**Hábito:** Hasta 30 m de altura

**Tallo:** Tronco cilíndrico a ligeramente ovalado

**DAP:** 35 a 40 cm

**Copa:** Copa estrecha (angosta) y piramidal (en plantaciones), en bosquetes sucesionales tiene formas irregulares.

**Hojas:** Hojas con la lámina ovada, de 6 a 15 cm de largo y 3 a 8 cm de ancho, margen agudamente biserrado; el haz y el envés son glabros en la madurez.

**Flores:** Inflorescencias masculinas en amentos de 5 a 10 cm de largo, generalmente en grupos de tres; las inflorescencias femeninas están conformadas por racimos de tres o cuatro inflorescencias, de 3 a 8 mm de largo en anthesis; conos de 11 a 28 mm de largo y de 8 a 12 mm de diámetro.

**Frutos:** Fruto elíptico a obovado, papiráceo a coriáceo, con el margen alado y estilo persistente. Poseen alas angostas de 2 a 2,3 mm de largo y de 0,2 a 1 mm de ancho, y cuerpo de 1,5 a 3 mm de largo y 1,5 a 1,8 mm de ancho.

**Otros caracteres:** Corteza lisa o ligeramente rugosa, escamosa en individuos viejos, con frecuencia marcada con arrugas transversales o constricciones circundantes.

**Distribución geográfica:** *Alnus acuminata* es nativa desde el Norte de México, a través zonas de montaña en América Central (Guatemala, Costa Rica y Panamá) hasta el Norte de Argentina, generalmente a elevada altitud, 1.200 a -3.200 m.

**Aspectos etnobotánicos:** Coloniza suelos desnudos, expuestos y perturbados, como deslizamientos. Muy sensible a la sequía, por lo que crece en laderas

húmedas, cerca de quebradas y caminos en montañas, normalmente en suelos húmedos a lo largo de cursos de agua y humedales donde forma típicamente densos rodales puros. También se asocia a llanuras de inundación o pendientes de montaña húmedas. Puede adaptarse a climas más secos, aunque aquí se restringe a zonas con abundante humedad del suelo.

**Sistema agroforestal:** *A. acuminata* es una de las primeras especies utilizadas en sistemas agroforestales tradicionales indígenas. Hoy día se utiliza en la recuperación de suelos degradados. En Colombia y Costa Rica se usa asociado con pasturas y pastos de corte. Puede usarse asociado con otras especies como el ciprés en cortinas rompevientos. En Guatemala y Costa Rica se usa en linderos y como sombra para cafetales. La plantación asociada con maíz y frijol contribuye a reducir el costo de establecimiento de la plantación hasta un 60%, lo cual puede resultar rentable para el productor. Se usa en la protección de cuencas hidrográficas para estabilizar laderas, debido a que posee un sistema radical amplio que le permite crecer en suelos poco profundos. En suelos ácidos se usa para cortinas rompevientos, mejora de pastos, sombra para café, y potencialmente en barbecho.

**Producción de biomasa:** Se puede encontrar de modo natural como árboles solitarios en potreros en fincas lecheras de altura. En rodales de 30 años en densidades de 30 árboles por hectárea pueden producir cerca de 18,3 t.ha<sup>-1</sup> de leña seca y 3,6 t.ha<sup>-1</sup> de hojas y ramillas, en total 50 t.ha<sup>-1</sup>.

• *Pseudosamanea guachapele* (H. B. K.) Harms. Iguá, iguá amarillo, falso samán, naumo, roble amarillo.



Figura 8.44. *Alnus acuminata* Kuntz. Aliso. (Ilustración tomada de: BOSHIER D.H. Oxford Forestry Institute, Oxford, U.K. www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726).

**Hábito:** Árbol mayor de 20 m de altura

**Tallo:** Fuste recto, mayor de 10 m

**DAP:** Mayor de 1,0 m

**Copa:** Abanicada

**Hojas:** Alternas, bipinadas de 40 a 60 cm de largo. Follaje denso y permanente

**Flores:** Actinomorfas, bisexuales, inconspicuas en inflorescencia.

**Frutos:** Secos, dehiscentes. El fruto es una legumbre aplanada de forma linear y sedoso-tomentosa (pubescencia corta y densa) de color pardo.

**Otros caracteres:** Madera amarilla. La corteza es de color grisáceo y finamente fisurada.

**Distribución geográfica:** Nativo de América tropical, crece espontáneo y cultivado en zonas de 0 a 1.300 m de altitud, aunque se ha encontrado hasta los 1.200 m, crece mejor por debajo de los 800 m, en sitios con un nivel freático alto. Prefiere suelos fértiles, pero tolera los infértiles y poco profundos.

**Aspectos etnobotánicos:** Árbol de crecimiento rápido, se adapta bien a las regiones cafeteras colombianas y es muy valioso por la calidad de la madera ya que tiene resistencia a plagas. En su rango nativo se

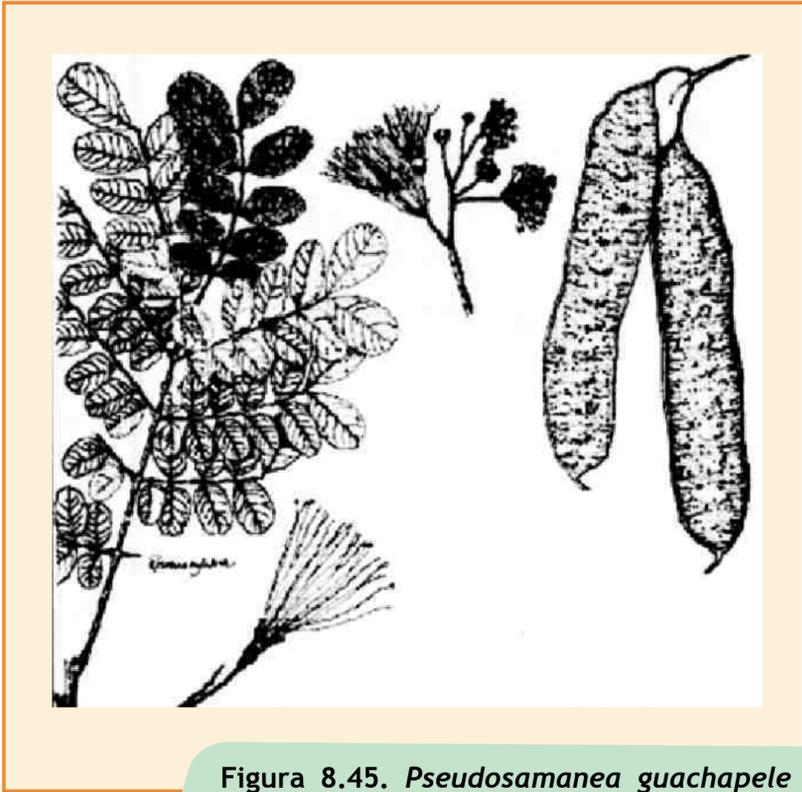


Figura 8.45. *Pseudosamanea guachapele* (H. B. K.) Harms. Iguá; Iguá amarillo; Falso samán; Naumo; Roble amarillo. (Ilustración tomada de: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. 2003, p 510.)

encuentra en elevaciones bajas en áreas húmedas, subhúmedas y secas, a menudo en bosques de galería y en particular a lo largo de cursos de agua. Es una especie pionera, de rápido crecimiento y muy abundante en bosques secos secundarios. Aunque es heliófita tolera sombra parcial de joven. Es algo resistente al fuego, pero no tolera heladas o suelos pesados con mal drenaje. Es muy sensible a vientos, los cuales afectan mucho su supervivencia, forma y crecimiento.

**Sistema agroforestal:** Principalmente se da como árboles grandes, extensos y abiertos en pasturas, así como a veces en solares. En Costa Rica se ha usado en plantaciones de pequeña escala (<200 ha) para madera de aserrío y en El Salvador puede encontrarse como árbol de sombra en cafetales. También se ha cultivado en plantaciones puras y mixtas a diferentes espaciamientos y en diferentes lugares.

**Producción de biomasa:** Las hojas se descomponen rápidamente por lo que pueden usarse también como abono verde para cultivos. Es una especie fijadora de nitrógeno.