



Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales - SAF

Fernando Farfán Valencia

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

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



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

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

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

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

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

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

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



Figura 38.

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

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

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

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

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

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

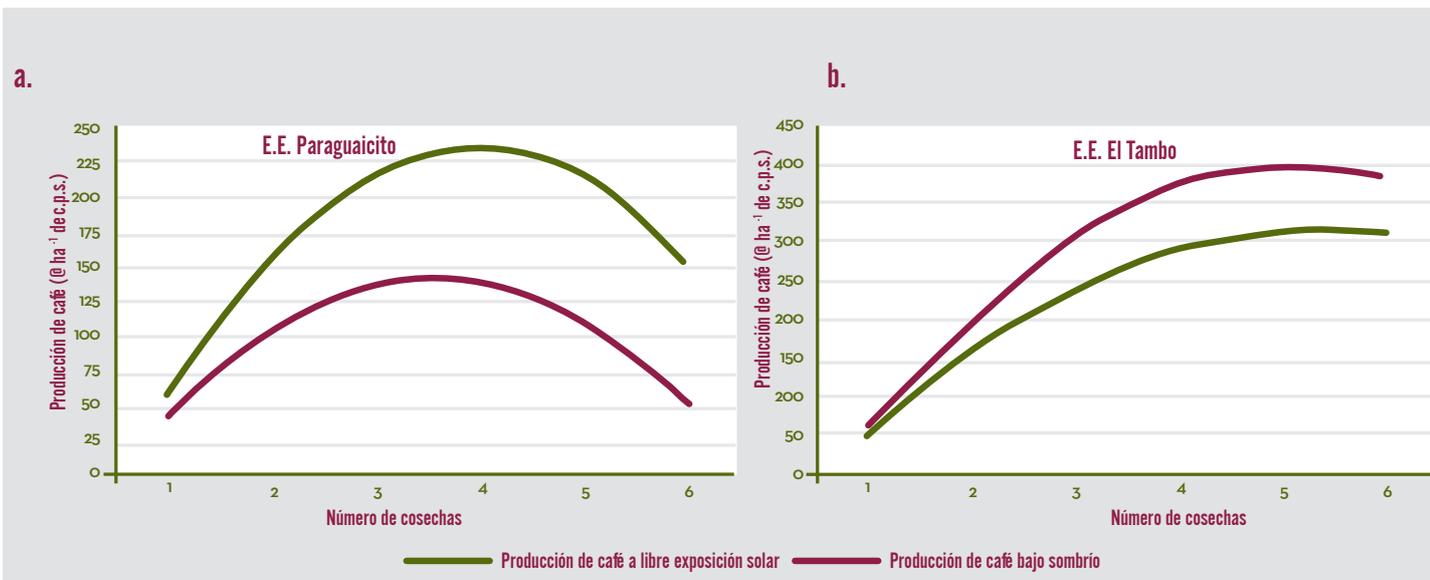


Figura 39.

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



Figura 40.
Sistema agroforestal de café.

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

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

Los árboles como acondicionadores del sitio de cultivo del café

Al comparar los factores climáticos necesarios para el establecimiento del

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

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

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

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

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

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

Variedad de café a establecer en sistemas agroforestales

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

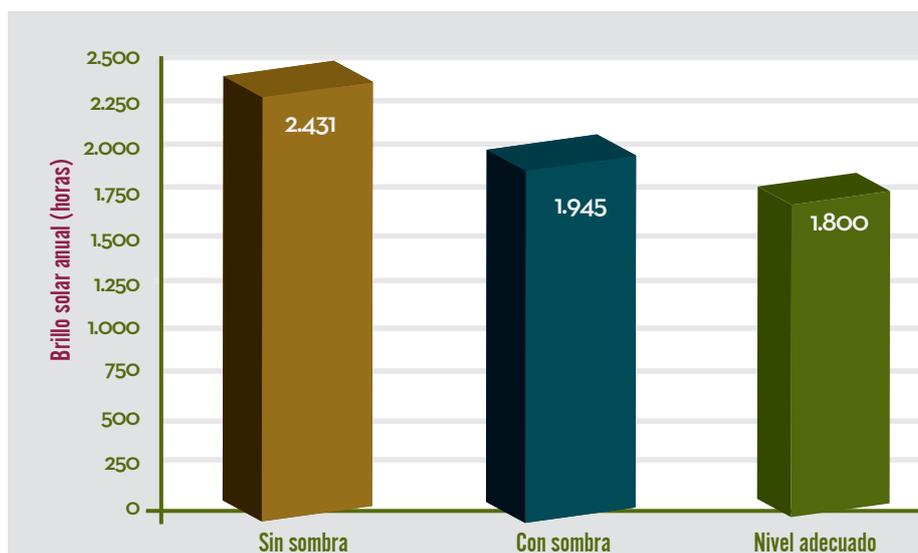


Figura 41. Condiciones de brillo solar anual histórico (horas) en un cultivo de café bajo sombrío. Estación Experimental Pueblo Bello - Cesar

Figura 42.

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

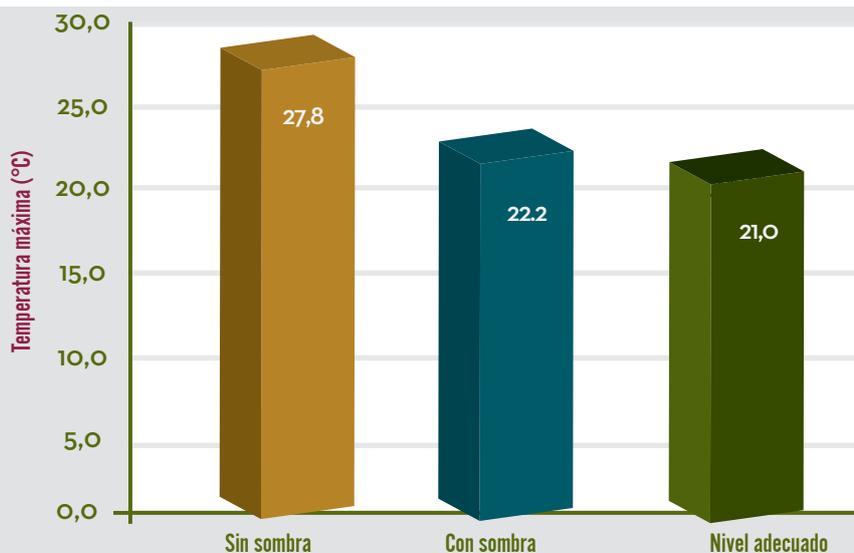
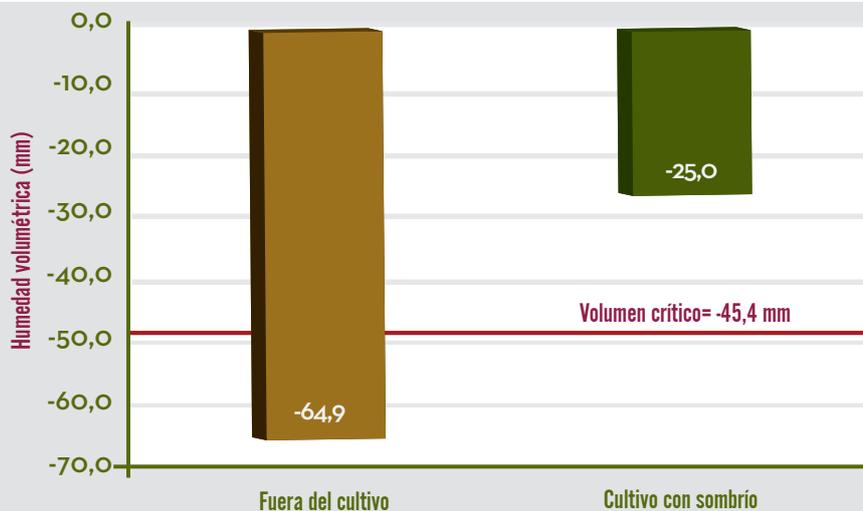


Figura 43.

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



Recomendación práctica

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

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

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

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

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

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

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

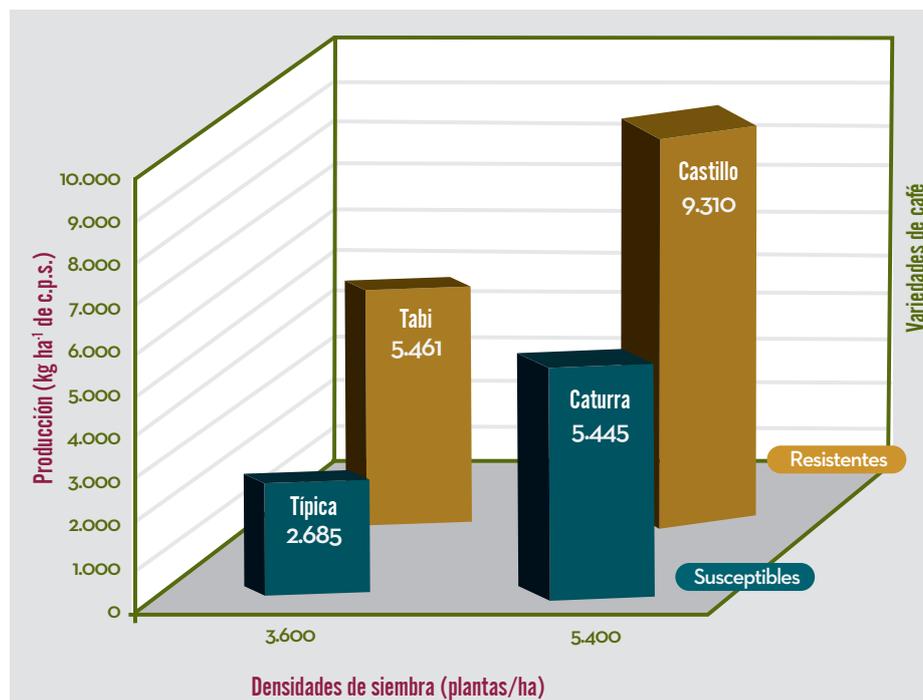


Figura 44. Producción acumulada de cuatro cosechas de dos variedades susceptibles a la roya del cafeto (Típica y Caturra) y dos resistentes a la enfermedad (Tabi y Castillo®). Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas).

Recomendación práctica

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

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

Densidad de siembra del café en SAF

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

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

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

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

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

Los cultivos de café en sistemas agroforestales son una estrategia de

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

Resultados de investigaciones

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

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

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



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

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

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

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

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

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

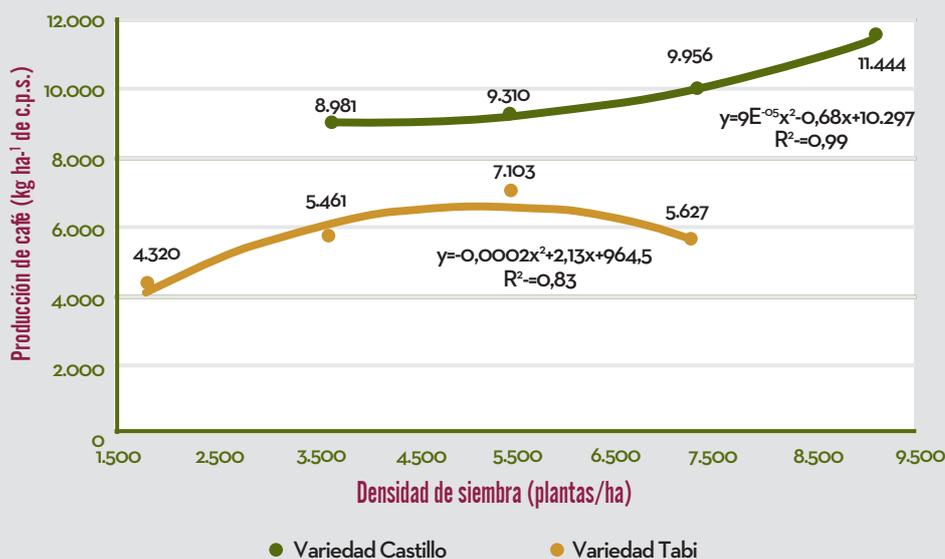


Figura 45. Producción acumulada (cuatro cosechas) de café de las variedades Castillo® y Tabi, en respuesta a la densidad de siembra.

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

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

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

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

Tabla 11.

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

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

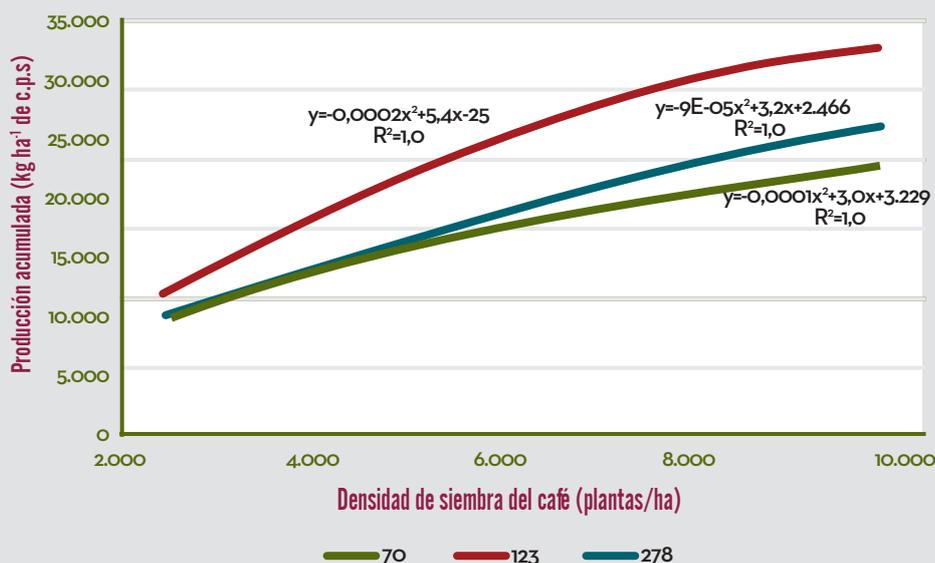


Figura 46. Promedio de producción de café, en tres densidades de siembra, bajo sombrío de *I. edulis*. Finca Las Tapias (El Socorro, Santander).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

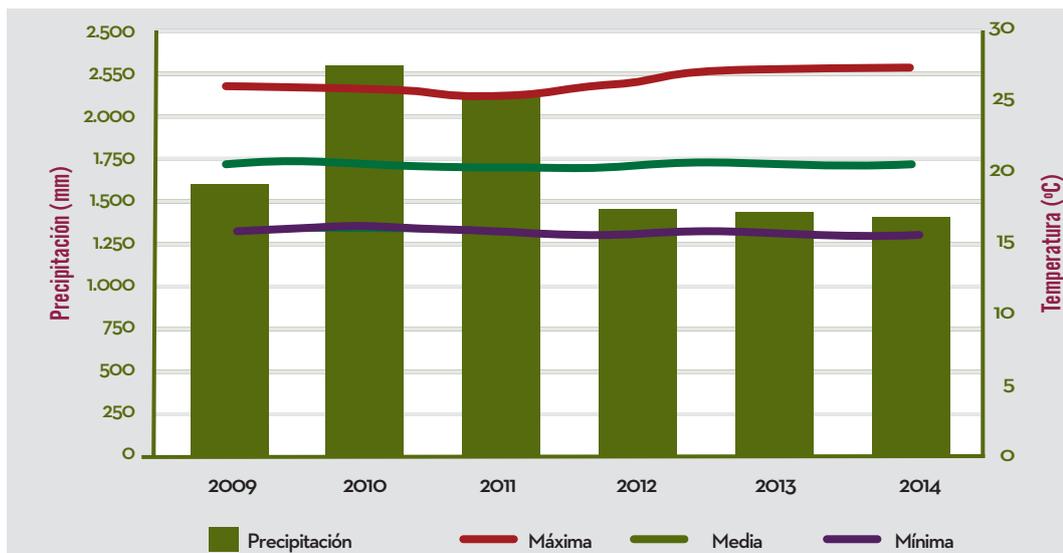


Figura 47. Precipitación y temperatura máxima, media y mínima, promedio anual (2009 a 2014); Estación Alberto Santos, municipio de El Socorro, Santander (Fuente: Anuarios Meteorológicos, Cenicafé 2009 a 2014).

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

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

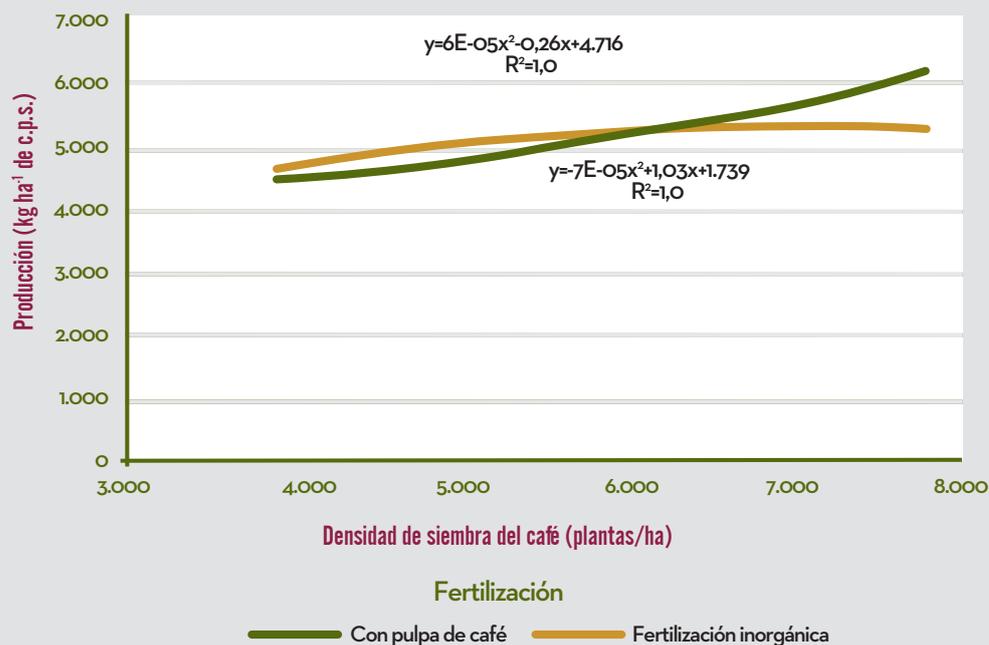
En la Granja Blonay, ubicada en el municipio de Chinácota (Norte de Santander), se evaluó el efecto en la producción, de las dosis de fertilizante aplicado al cultivo, en función de las densidades de siembra del café, en un sistema agroforestal. En el estudio se empleó la variedad de café Castillo® Pueblo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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

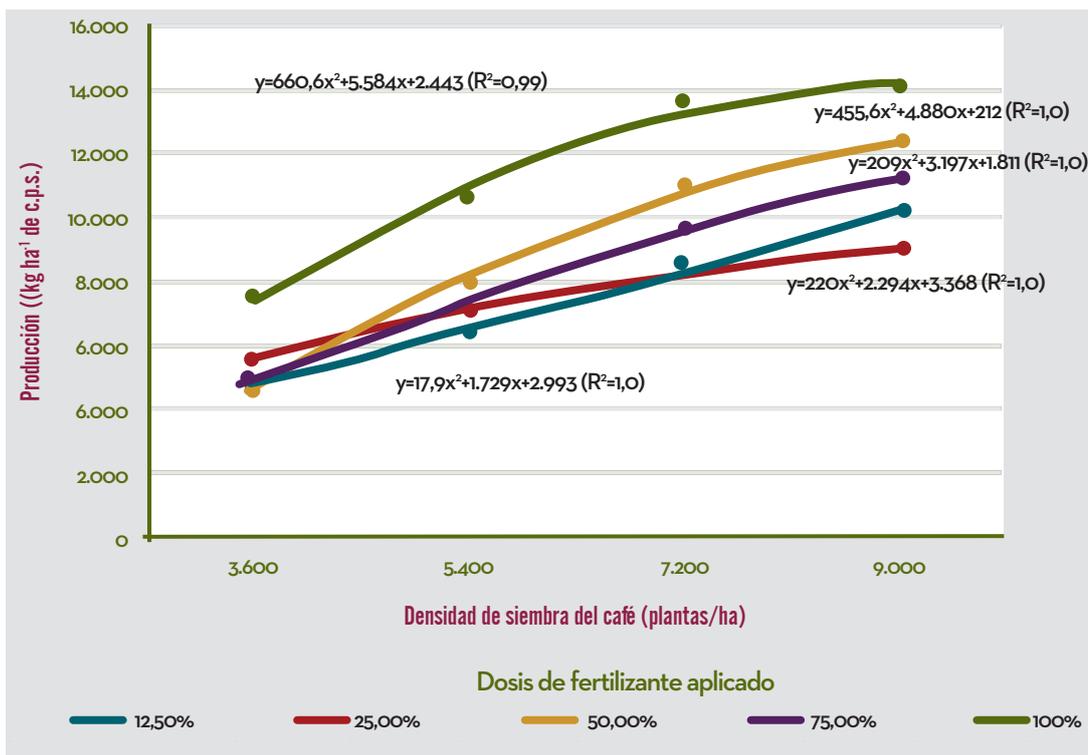


Figura 49. Producción acumulada de seis cosechas (2013 a 2018), del café Variedad Castillo®, en función de la densidad de siembra, Granja Blonay, Norte de Santander.

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

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

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

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

Recomendación práctica

Al incrementar la densidad de siembra:

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

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

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

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

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

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

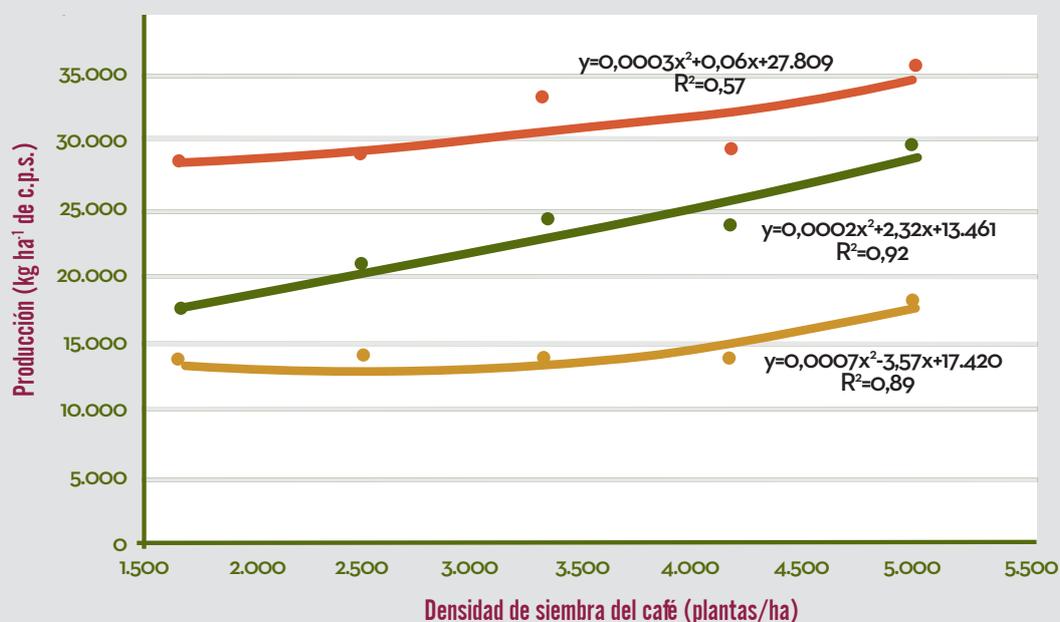


Figura 50. Producción de café variedad Tabi, en respuesta a la densidad de siembra.

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

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

Ciclos, sistemas y épocas de renovación del café en SAF

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

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

Ciclos de renovación del café en SAF

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

Sistemas de renovación del café en SAF

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

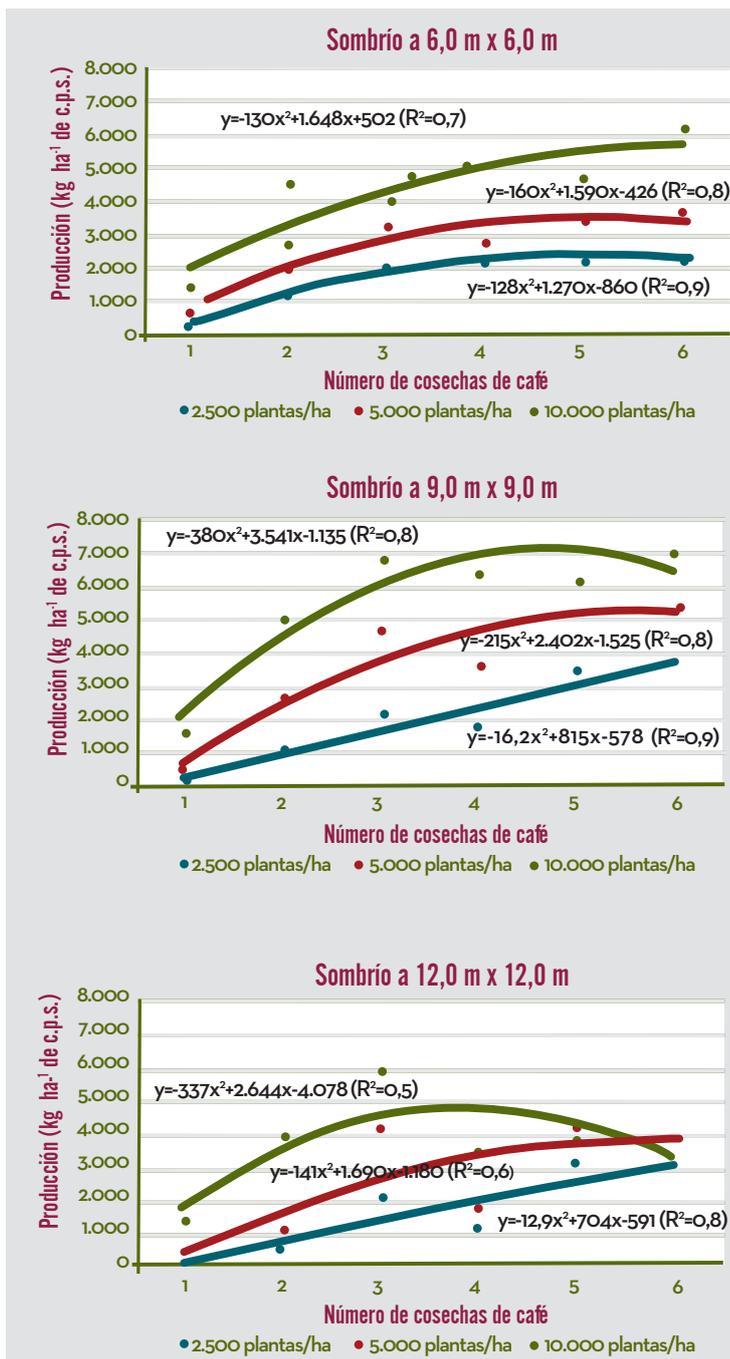


Figura 51.

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

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



Figura 52.

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

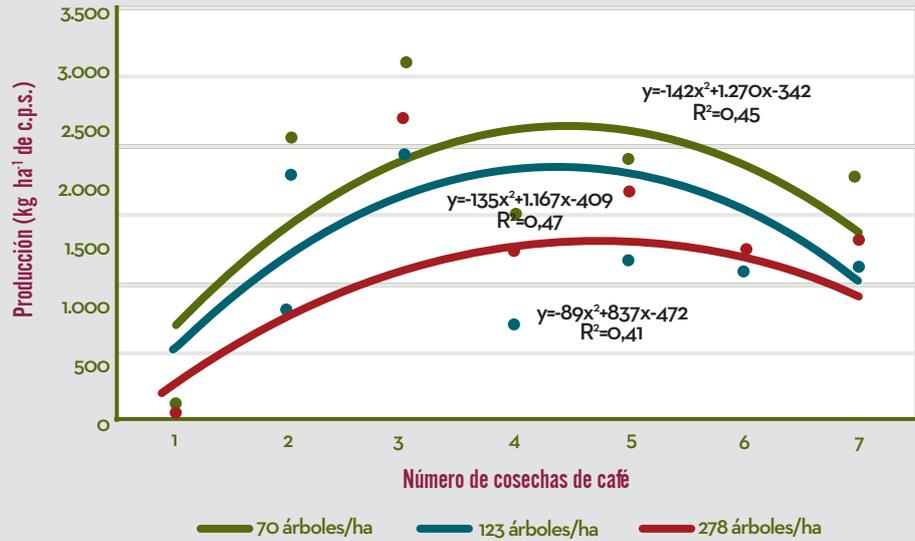
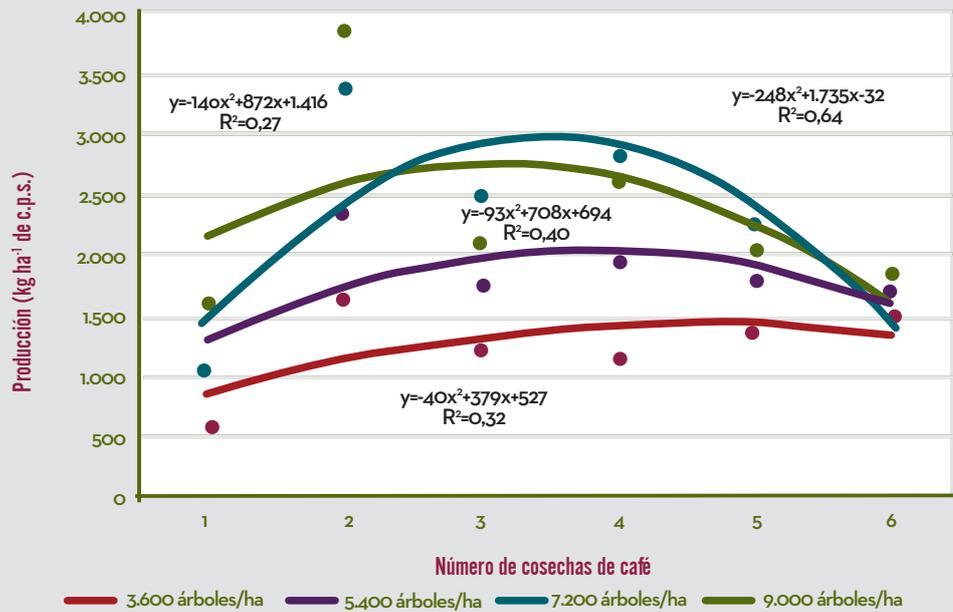


Figura 53.

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



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

zoqueo pueden renovarse cerca de 1.000 plantas anualmente.

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

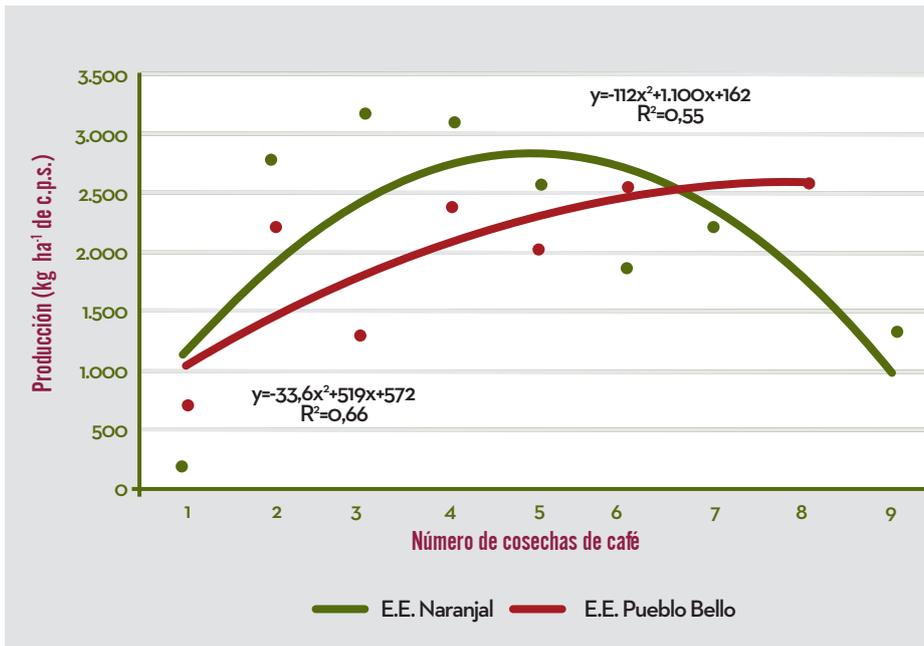


Figura 54. Ciclo para la renovación del café en SAF. Estación Experimental Naranjal (Caldas) y Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).

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

Épocas de renovación del café en SAF

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

Administración de los árboles de sombrío

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

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

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

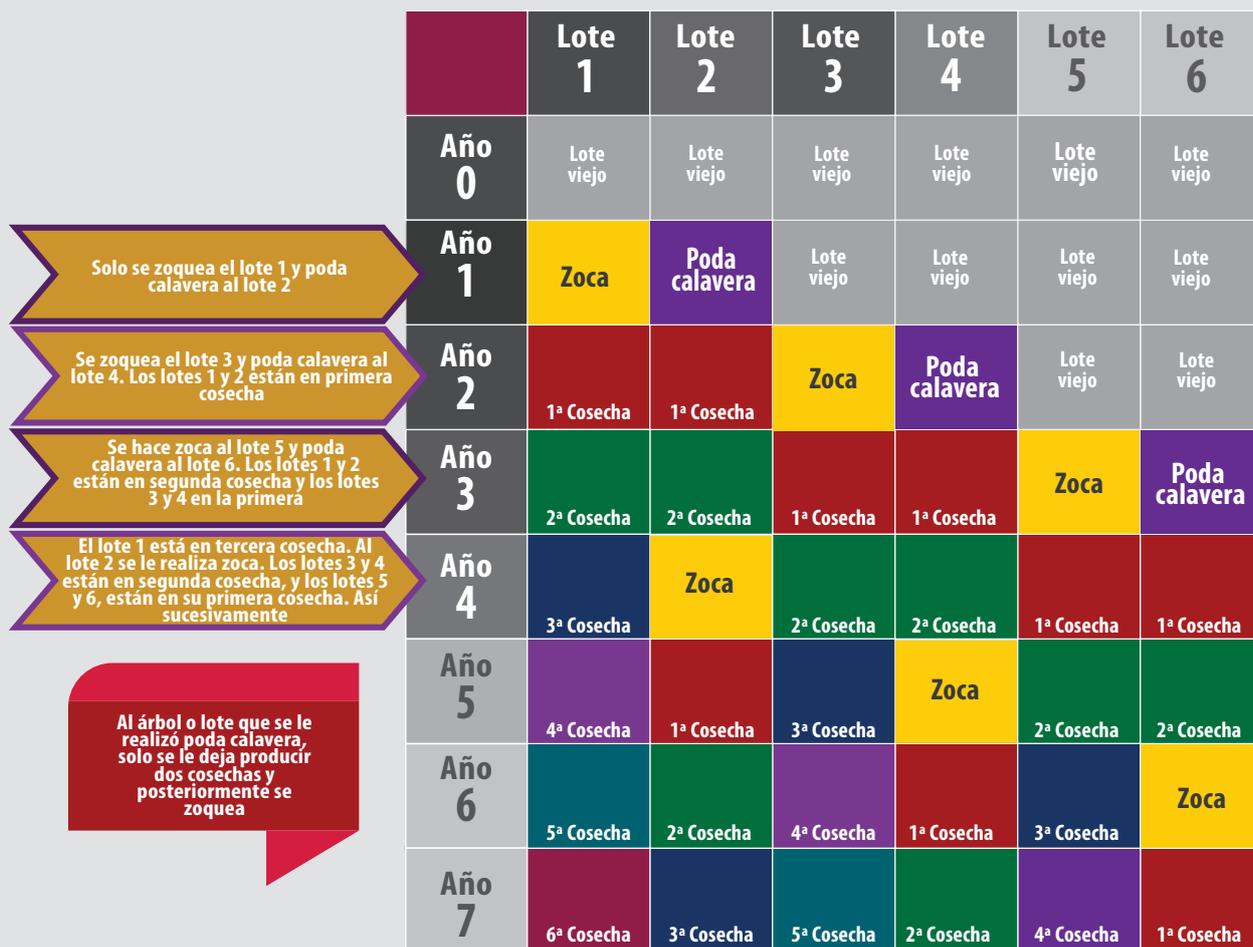


Figura 55. Implementación de un sistema de renovación de café en SAF. Las cosechas se representan en diferentes colores.

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

Sombrío transitorio

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

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

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

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

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

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

■ Cosecha principal ■ Mitaca

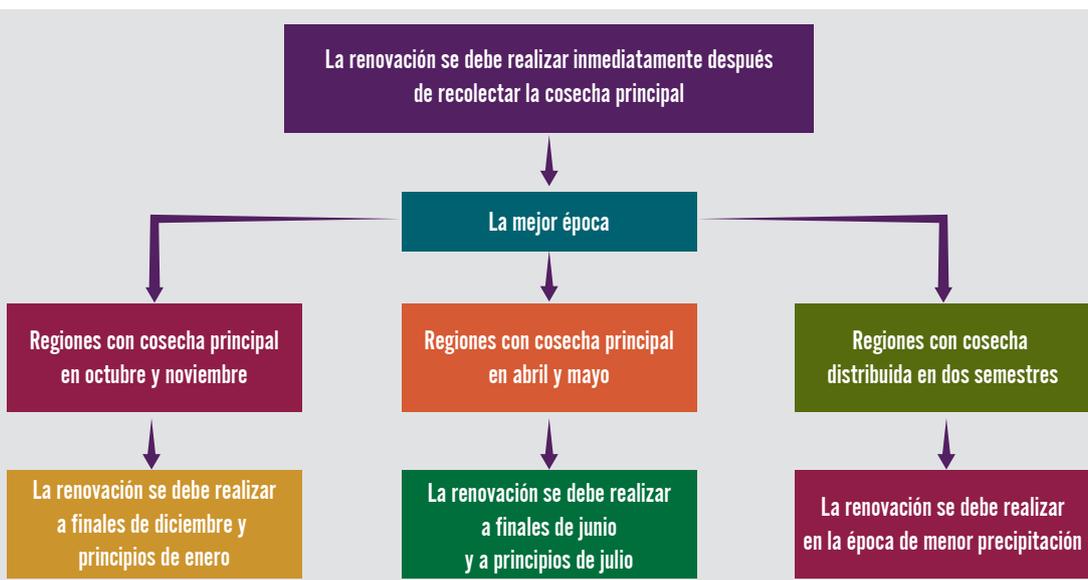


Figura 56.
Épocas de renovación del café en sistemas agroforestales.



cultivo intercalado, después de cumplir la condición de ninguna o mínima competencia, dependerá del manejo que se le haga a dicho cultivo. Para el caso del frijol y maíz se corroboró que estos cultivos no afectan la producción de café, con la ventaja económica por los ingresos que se obtienen al vender la producción de maíz o frijol. De otra parte, se reduce el costo del mantenimiento del lote, porque este se carga a los cultivos intercalados (Moreno y Sánchez 2012).

Características del sombrío transitorio

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

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

Especies a emplear como sombrío transitorio

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

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

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

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

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

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

Tabla 13.

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

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

D. surcos. Distancia entre surcos.

D. plantas. Distancia entre plantas.

D.S.I. Densidad de siembra inicial.

D.S.F. Densidad de siembra final.

* Casos en la Tabla 15

Tabla 14.

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

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

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

Sombrío productivo

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

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

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

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

Producción de madera por las especies forestales

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

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

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

Producción de café como cultivo principal

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

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

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

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

Sombrío permanente

Densidad de siembra de los árboles de sombrío

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

Tabla 15.

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

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

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

E.E. Paraguaicito

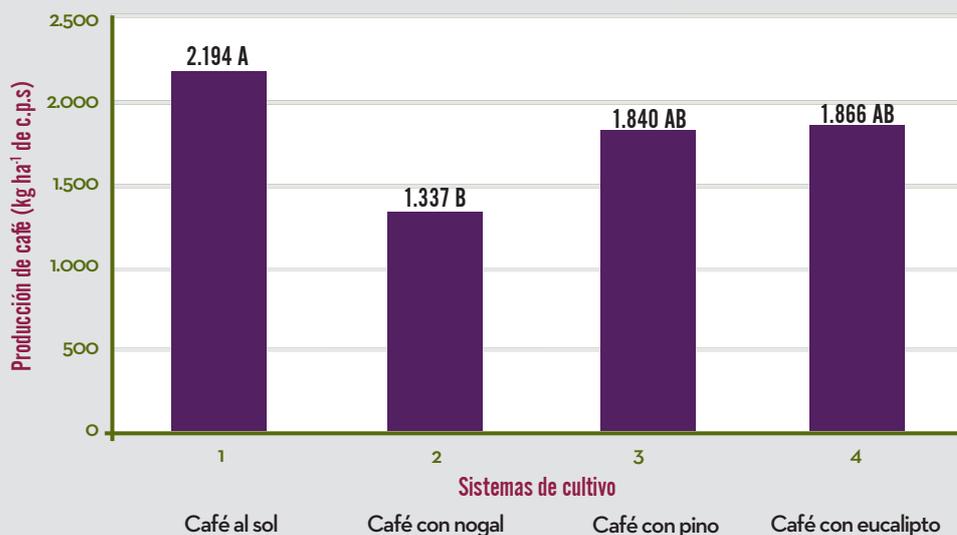


Figura 57.

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

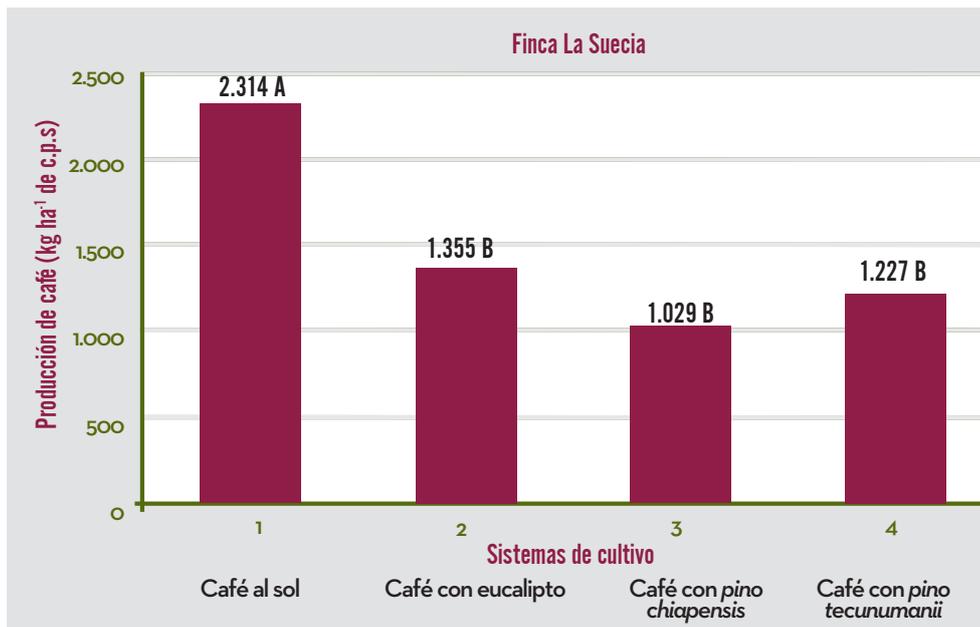


Figura 58. Producción promedio de café (kg ha⁻¹ de c.p.s.) con intercalamiento de especies forestales. Finca La Suecia, El Tambo - Cauca.

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

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

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

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

Tabla 16.

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

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

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

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

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

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

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

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

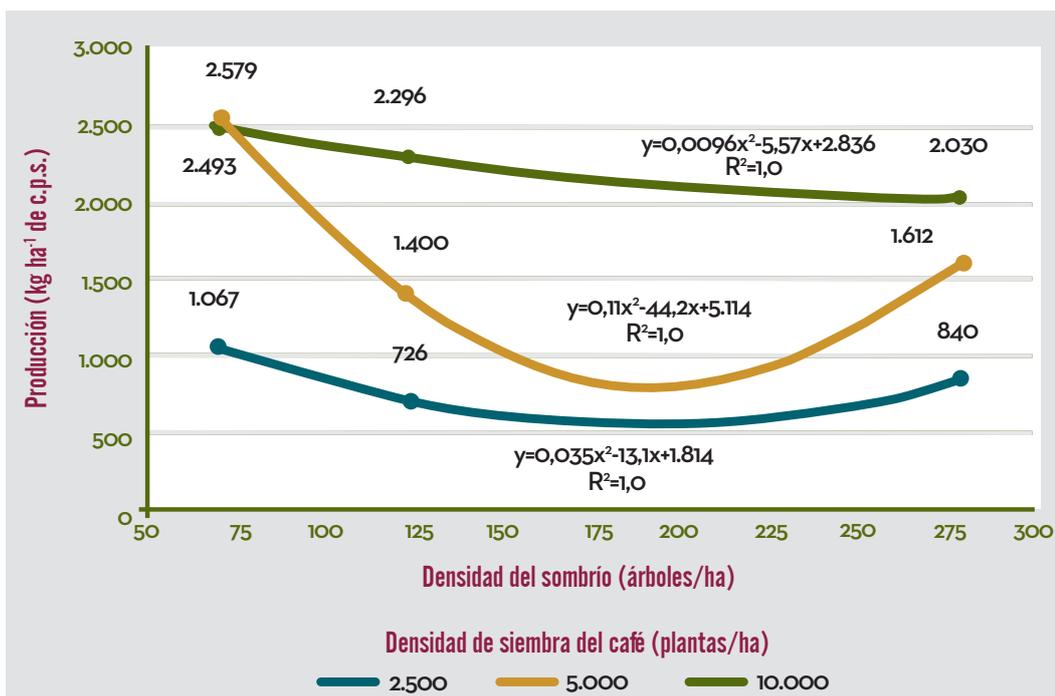


Figura 59. Respuesta en producción del café a tres densidades de siembra, al incremento en el número de árboles de sombrío por hectárea. Estación Experimental Pueblo Bello (Cesar).

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

Mantenimiento de los árboles de sombra

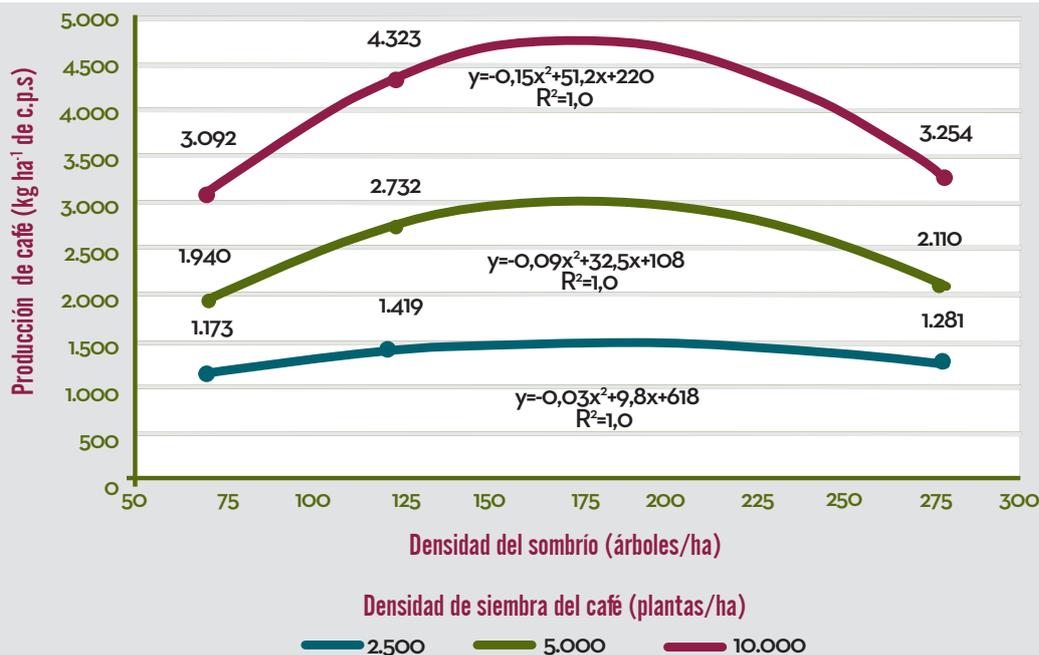
Se considera que el sombrío para un cafetal sin que disminuya su producción debe fluctuar entre 0% y 45%, dependiendo de la zona de cultivo, ya que sus componentes son la suma de un sombrío natural debido a la nubosidad de la región y al sombrío de los árboles; por lo tanto, los porcentajes de sombra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

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

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

Figura 60.

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



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

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

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

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

Con densidades altas de siembra de los árboles de sombrío o debido a su mal manejo (sin podas de mantenimiento y sin podas de formación), o una inadecuada distribución de los árboles en el campo, en corto tiempo se presentarán niveles de sombra excesivos (>50%) limitantes para la producción del café (Farfán, 2007). Son requisitos básicos en los sistemas de cultivo de café con sombrío: (i) determinar el porcentaje de sombrío óptimo o grado de sombra adecuado para cada localidad; (ii) determinar el momento en el que, después de establecidos los árboles, se presentan los niveles de sombra adecuados para el cultivo; (iii) iniciar el

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Paso 3. Seleccionar la rama permanente más baja.

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

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

Podas de mantenimiento de los árboles de sombra

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

Figura 61.

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

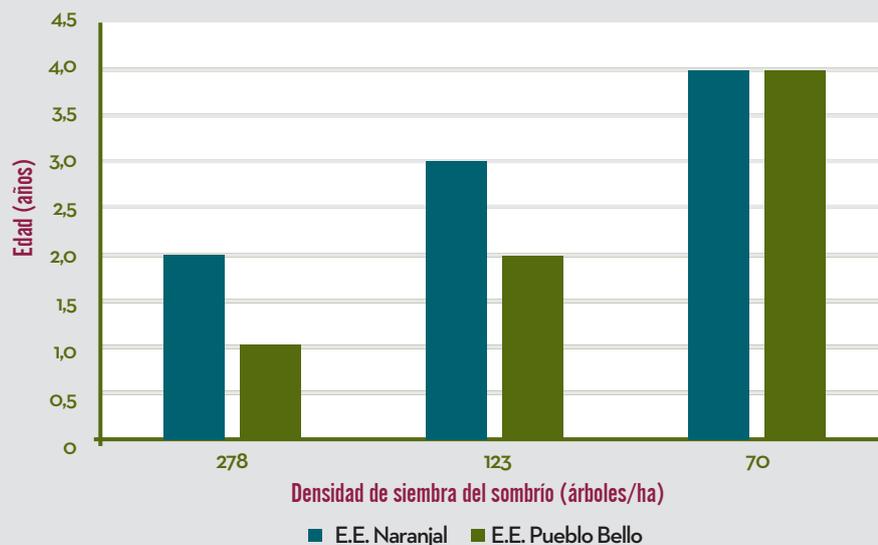


Figura 62.

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

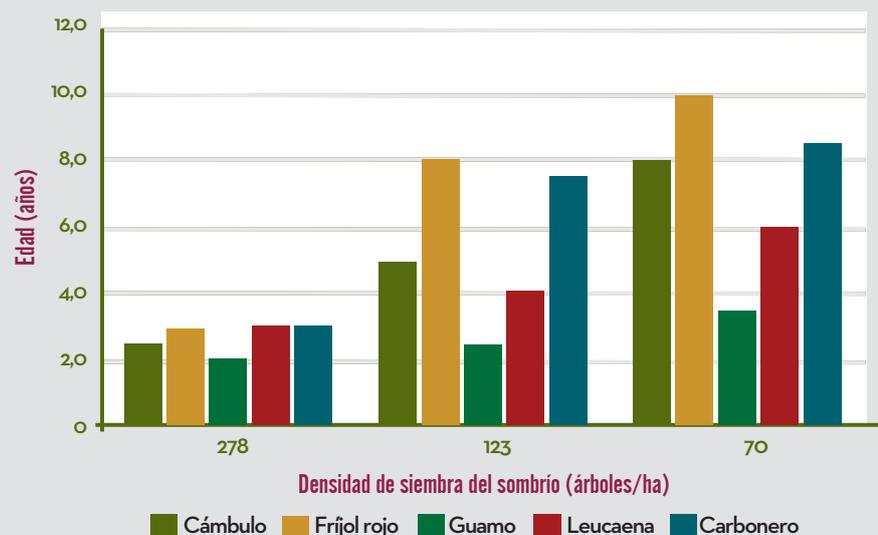


Tabla 17.

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

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

Tabla 18.

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

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

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

Época de regulación de la sombra

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

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

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

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

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

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

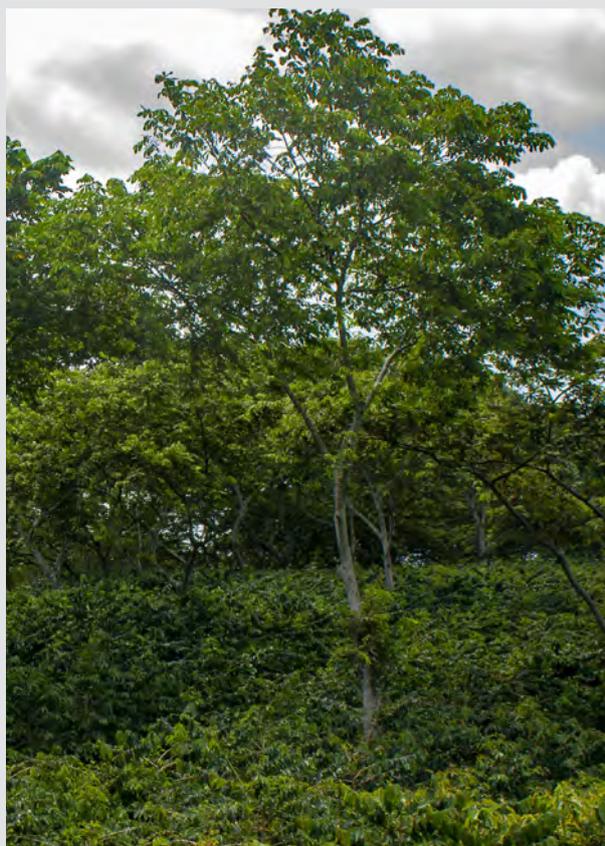


Figura 63.
Árbol de *I. edulis* adecuadamente podado y formado.

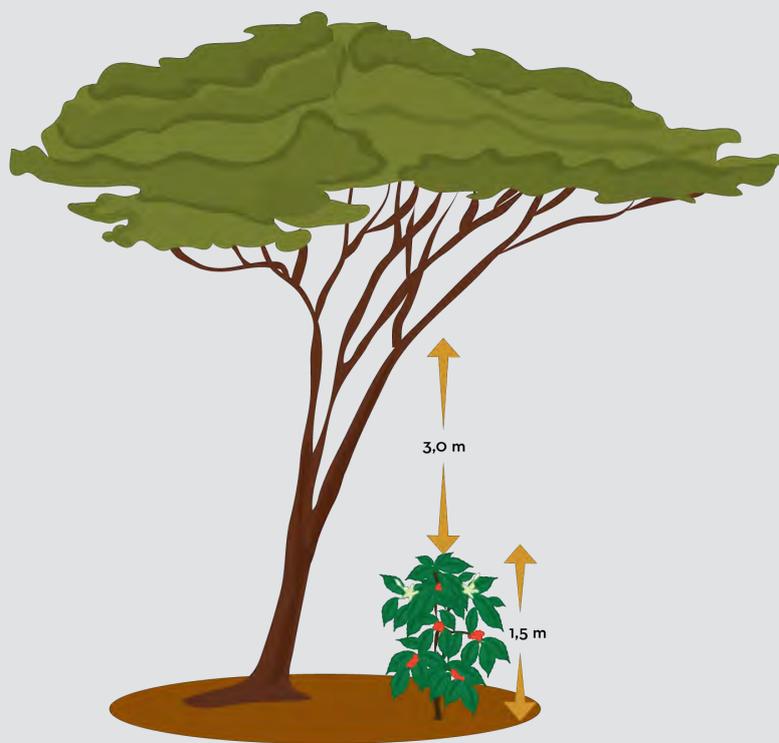


Figura 64.
Árbol bien formado, para mantener la sombra lejos del cultivo del café.

Raleos de los árboles de sombra

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

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

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

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

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

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

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

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

Cobertura arbórea e instrumentos para su medición

La cobertura arbórea y la calidad de la luz

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

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

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

En sistemas agroforestales con café pueden encontrarse diversos tipos de cobertura impuestas por las especies seleccionadas y su arquitectura. La forma del dosel o la corona de los árboles tiene importantes consideraciones al momento de ser seleccionados para los sistemas agroforestales; algunos árboles tienden a desarrollar el dosel en capas, otros conforman un dosel pequeño y alto, y otros en forma columnar en contraste con aquellos que desarrollan una copa densa, esparcida o cónica (Farfán, 2007). En general, es muy amplia la gama de formas del dosel de los árboles.

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

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

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

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

Recomendación práctica

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

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

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

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

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

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

Medición de la cobertura arbórea

Brillo solar y nubosidad de la zona cafetera.

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

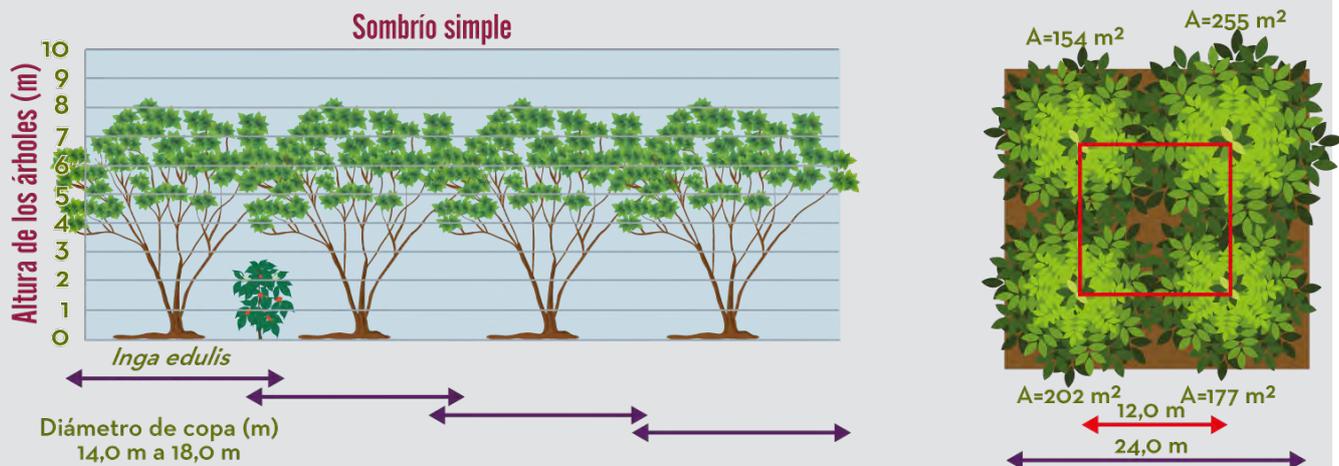


Figura 65. Cobertura con sombrero simple, con una especie leguminosa.

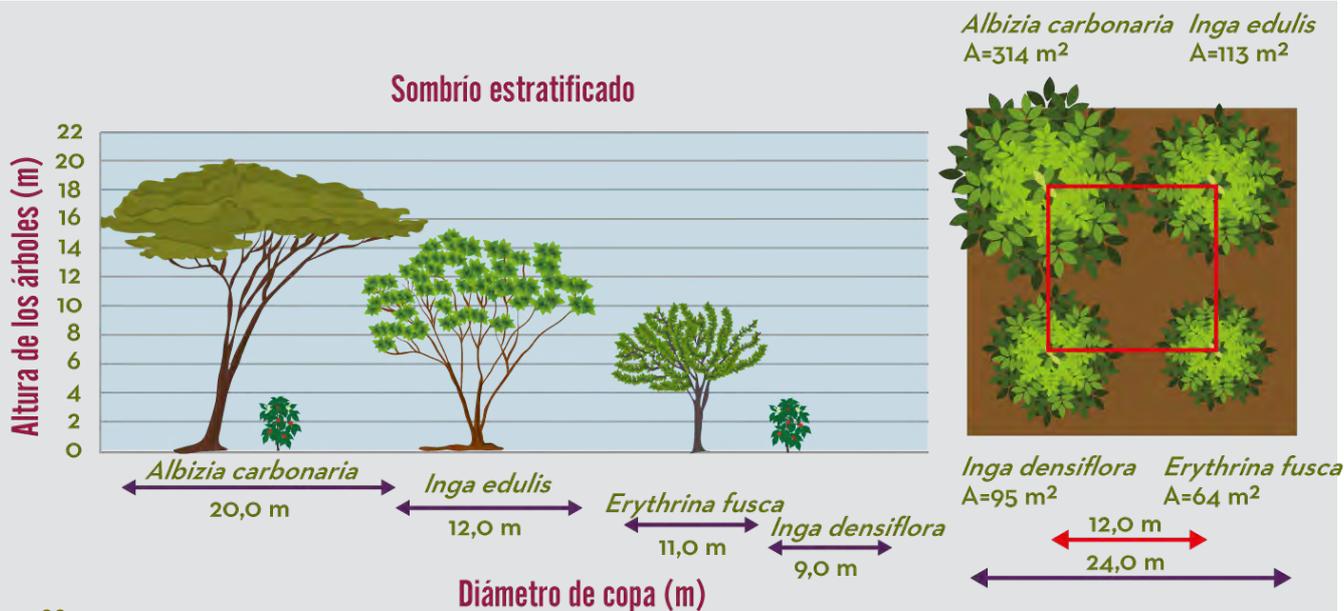


Figura 66. Cobertura con sombrero estratificado con especies leguminosas.

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

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

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

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

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

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

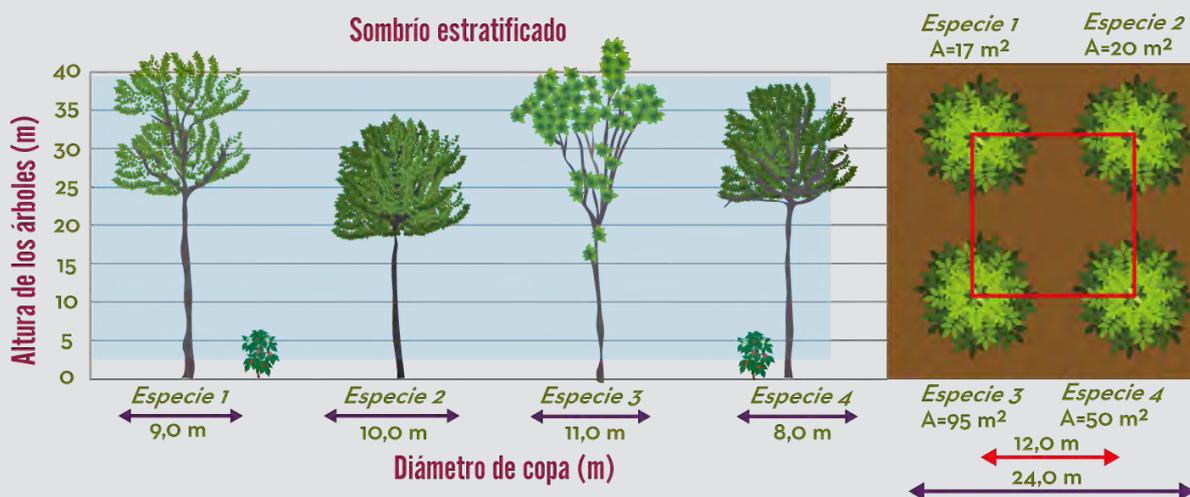


Figura 67. Cobertura con sombrío estratificado con especies maderables o forestales.

Recomendación práctica

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

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

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

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

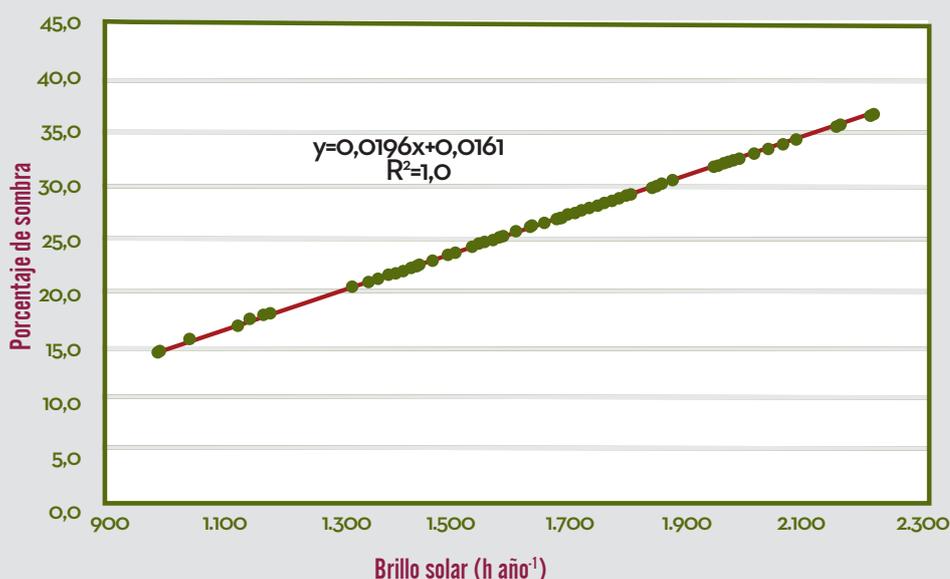


Figura 68. Porcentaje de sombra de acuerdo a la nubosidad de cada región.

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

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

Para medir porcentaje de cobertura

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

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

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

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

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

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

Para valorar cantidad y calidad de la luz

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

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

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

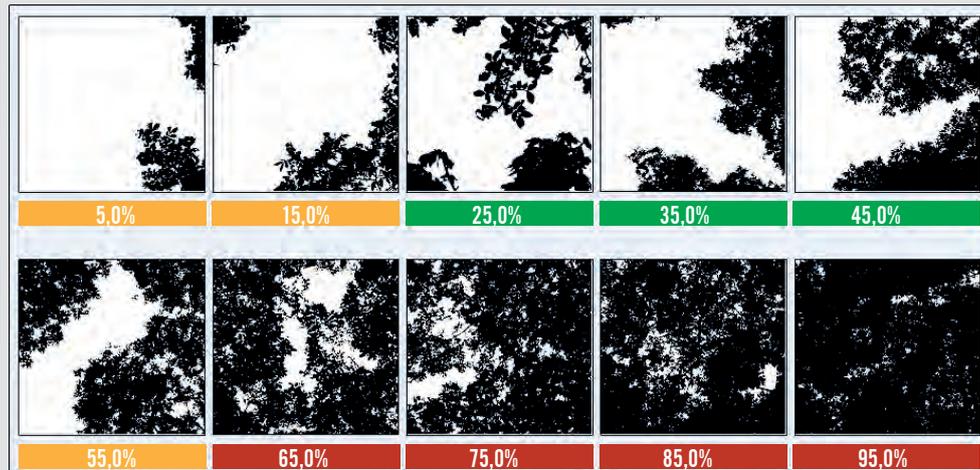


Figura 69.
Plantilla Visual de Sombra (PVS).

Nutrición del café en sistemas agroforestales

Para la expresión del potencial de un sistema de producción, además del conocimiento de los factores relacionados con los elementos climáticos, los del suelo y el cultivo específico, se requiere de un programa de manejo de la nutrición, adecuado y eficiente, que garantice el suministro de las cantidades de nutrimentos necesarios para mantener una máxima productividad y rentabilidad del cultivo, que además minimice el impacto ambiental (Arcila y Farfán, 2007).

También merece especial atención la nutrición del cultivo, cuando se desarrolla en condiciones de monocultivo y a plena exposición solar, caso en el cual las necesidades nutricionales son mucho mayores que cuando se realiza el cultivo en sistemas con sombra. El conocer los requerimientos nutricionales de la planta no es condición suficiente para obtener óptimas producciones, además es necesario tener en cuenta

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

Fertilización del café con materia orgánica en sistemas agroforestales

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

Recomendación práctica

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

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

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

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

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

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

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

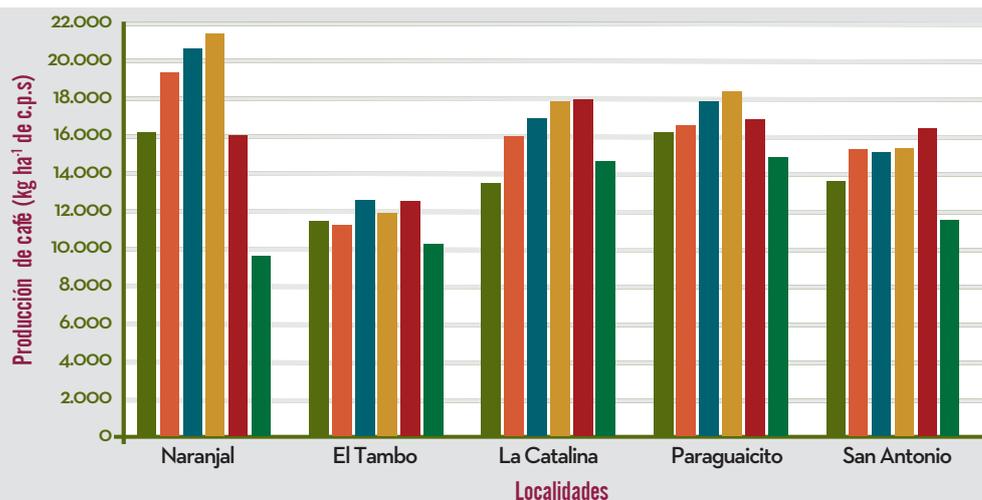


Figura 70. Producción acumulada de café (cinco cosechas), por localidad y por tratamiento.

Tabla 19.

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

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

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

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

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

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

Del estudio puede inferirse que:

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

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

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

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

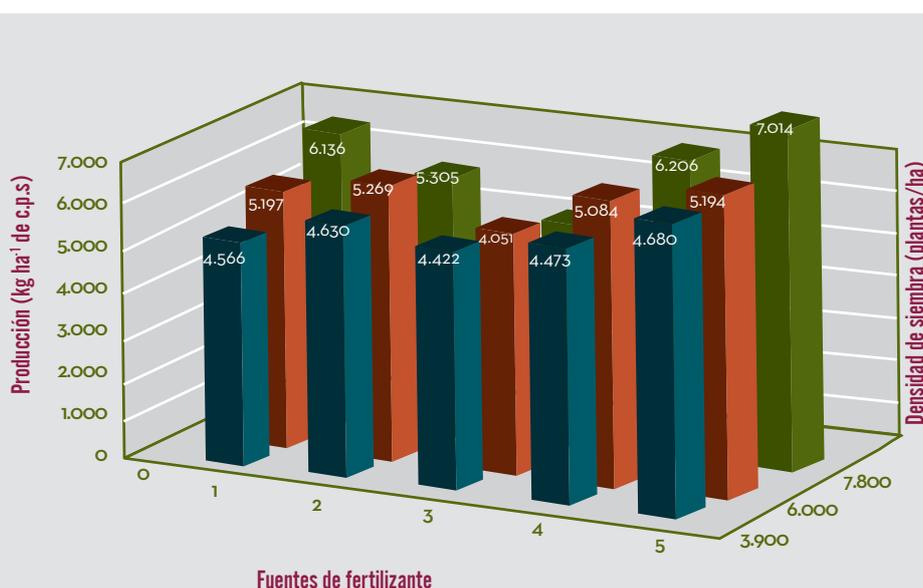


Figura 71. Producción promedio de café (Cinco cosechas), en la Estación Experimental Pueblo Bello, Cesar.

Fuente de fertilizante

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



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

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

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

Fertilización inorgánica en sistemas agroforestales

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

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

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



Figura 72. Producción acumulada de cinco cosechas (kg ha⁻¹ de c.p.s.), para dos variedades de café. Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas). Según las densidades indicadas en la Tabla 20.

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

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

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

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

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

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

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

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

Consideraciones generales

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

Figura 73.

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

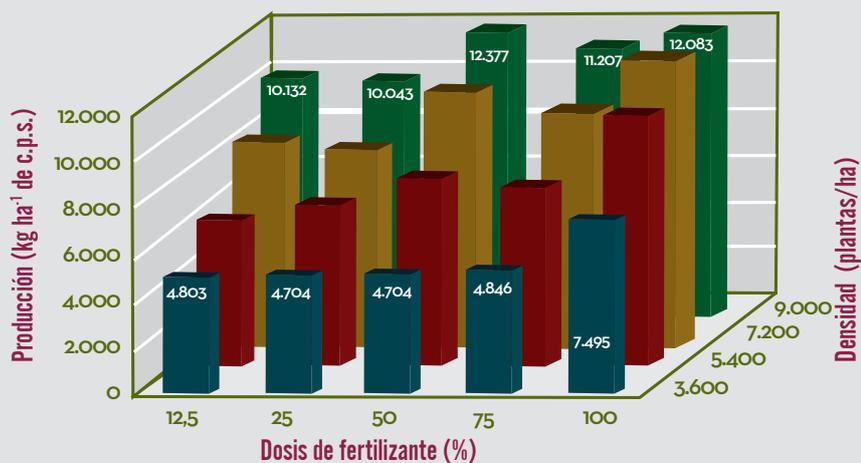
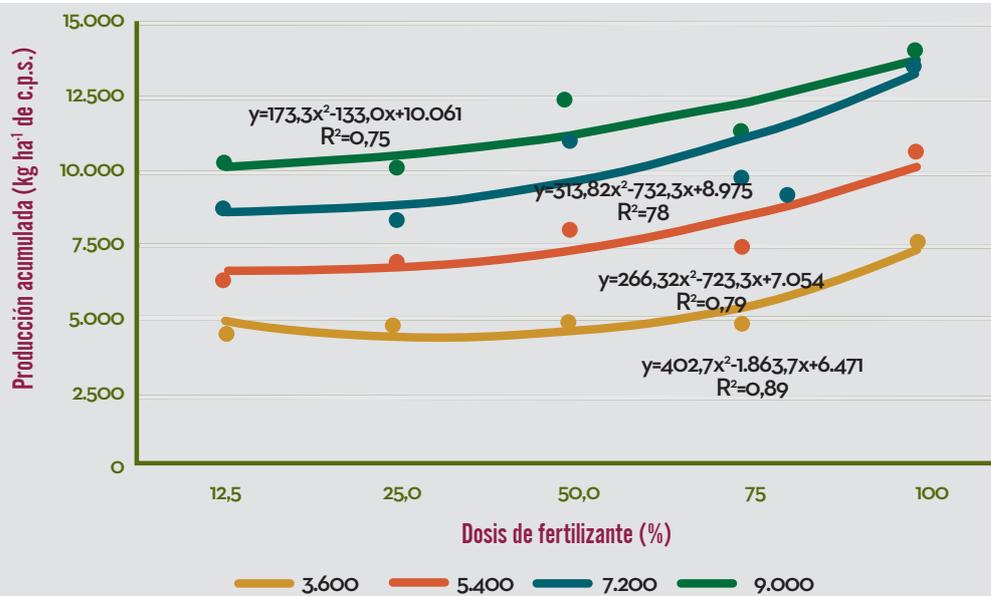


Figura 74.

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



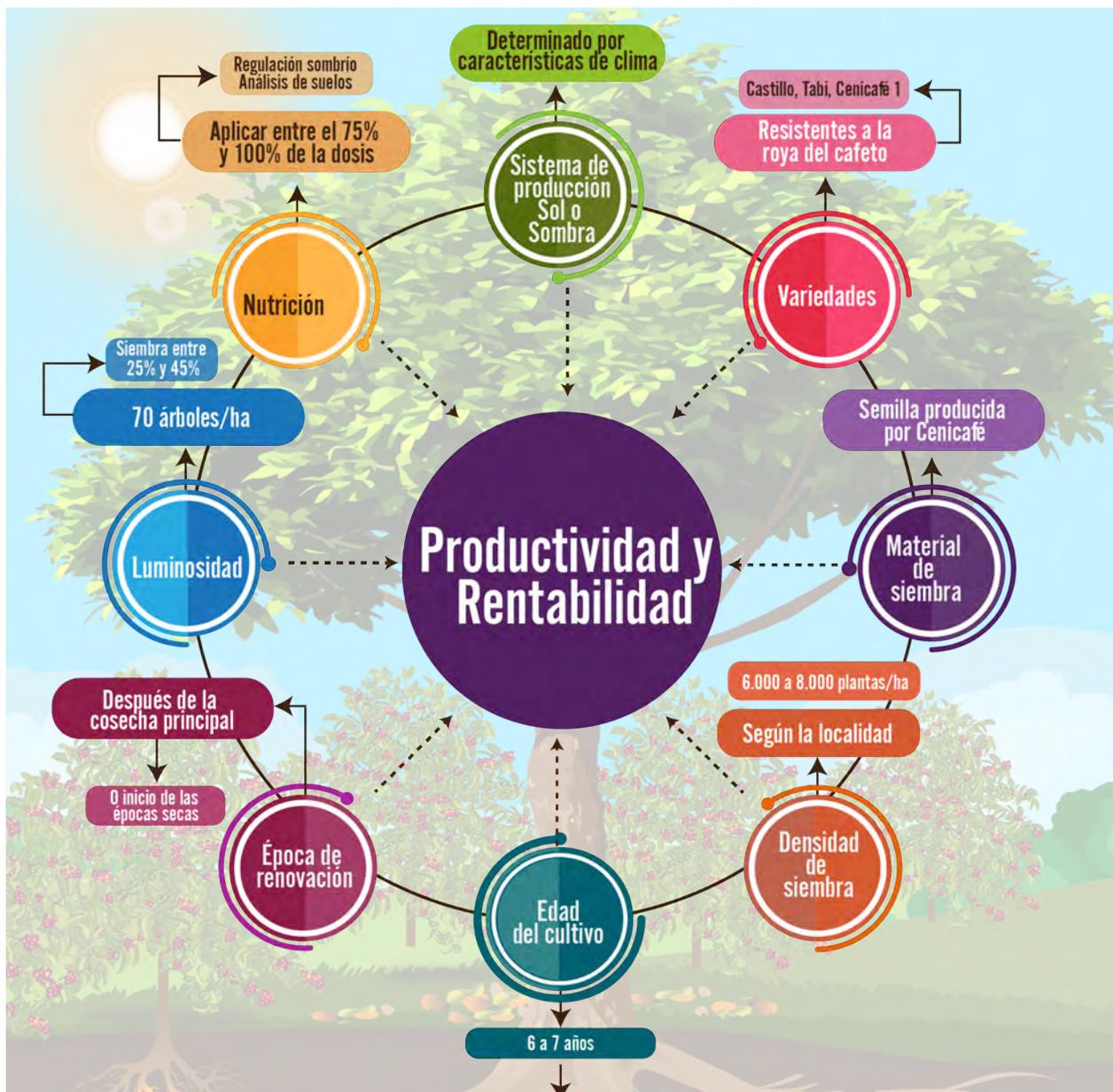


Figura 75. Prácticas agronómicas básicas para establecer y administrar un sistema agroforestal con café.