

FERTILIZACIÓN DEL CAFÉ EN UN SISTEMA AGROFORESTAL EN LA ZONA CAFETERA NORTE DE COLOMBIA

Fernando Farfán-Valencia*; Alfonso Mestre-Mestre**

RESUMEN

FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetera norte de Colombia. Cenicafé 55(3):232-245.2004

En la zona cafetera norte de Colombia, se evaluaron 4 dosis de fertilizante inorgánico completo en café establecido en un sistema agroforestal. Las dosis se determinaron con base en las recomendaciones de los análisis de suelos (0, 25, 50 y 75%). El sistema agroforestal estuvo compuesto por café e *Inga edulis* plantado a 6 x 6m (273 plantas/ha, subsistema 1), 9 x 9m (123 plantas/ha, subsistema 2) y 12 x 12m (78 plantas/ha, subsistema 3). El café se estableció a una distancia de 1,5 x 1,5m (4.444 plantas/ha), en todos los casos. Los resultados obtenidos permitieron concluir que en la zona norte de Colombia, con sombrío a densidades de 273 y 123 plantas/ha, el café no responde a la aplicación de dosis bajas o altas de fertilizante. Con sombrío de 70 plantas/ha hubo respuesta significativa del café a las aplicaciones del 75% de la dosis del fertilizante. Al comparar la producción media de los tres subsistemas hubo diferencia significativa entre ellos. El coeficiente de correlación ($r = -0,88$) entre la distancia de siembra del componente arbóreo y la producción media general de cada subsistema, muestra que existe una relación lineal inversa entre las dos variables, es decir, al aumentar el porcentaje de sombreado disminuye la producción y viceversa.

Palabras claves: Sistema agroforestal, *Coffea arabica*, *Inga edulis*, fertilización, sombrío, zona cafetera norte colombiana.

ABSTRACT

In the northern Colombian coffee zone, the effect of the application in coffee of 4 complex fertilizer doses based on the soils analyses recommendations (0, 25, 50 and 75%) in an agroforestry system where the arboreal component was *Inga edulis*, planted at 6 x 6m (273 plants/ha, subsystem 1), 9 x 9m (123 plants/ha, subsystem 2) and 12 x 12m (78 plants/ha, subsystem 3) was evaluated. The coffee was planted at a distance of 1,5 x 1,5m (4.444 plants/ha), in all the cases. The results obtained allowed to conclude that in the northern Colombian coffee zone, with shading to densities of 273 and 123 plants/ha, the coffee does not respond to the application of low or high doses of fertilizer. With shading of 70 plants/ha there was a significant response of the coffee to the applications of 75% of the fertilizer dose. When comparing the average production of the three subsystems there was a significant difference among them. The coefficient correlation ($r = -0,88$) between the sowing distance of the arboreal component and the general average production of each subsystem, there is an inverse lineal relationship between both variables, that is to say, when the larger the shading percentage the lower the production and vice versa.

Keywords: Agroforestry system, *Coffea arabica*, *Inga edulis*, fertilization, shading, colombian northern coffee zone

* Asistente de investigación. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico III, hasta el año 2000. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La zona cafetera norte de Colombia ubicada entre los 8 y 11° de Latitud Norte, donde se localizan los departamentos cafeteros de Santander, Norte de Santander, Magdalena Cesar y Guajira, presenta períodos de déficit hídrico marcados hasta de 271mm, durante cinco meses (16, 20); dadas las condiciones impuestas por esta deficiencia hídrica, es común observar en estas regiones sistemas de cultivo de café con cobertura arbórea o en sistemas agroforestales. La asociación de árboles con los cafetales ayuda a disminuir los efectos que el déficit de agua causa sobre el cultivo de café como el marchitamiento, la baja tasa de crecimiento y la pérdida de hojas, entre otros (27)

El componente arbóreo reduce la temperatura ambiental y la del suelo, reduciéndose simultáneamente la evaporación de la superficie e incrementando la humedad relativa del ambiente (11,28, 31, 32). Bajo árboles de sombrío, la temperatura nocturna es más alta y en el día es menor que en cafetales a libre exposición solar; por tanto, bajo sombrío se reducen las diferencias entre las dos temperaturas. El sombreado proporciona baja intensidad lumínica y bajas temperaturas foliares, condiciones a las cuales se adapta el cafeto para realizar fotosíntesis y crecer (29). En épocas húmedas, el agua que se filtra deposita nutrimentos a una profundidad del suelo que sólo las raíces del componente arbóreo pueden penetrar y absorber, para ser devueltos a la superficie por deposición del material vegetal (36).

La temperatura disminuye bajo las copas del sombrío y en la parte baja de los árboles de café, lo que implica mayor duración de la humedad dentro de la plantación. Bajo sombra hay menor calentamiento dentro del cultivo lo que origina menores tasas de evaporación; además, se hace menor la transpiración, favoreciendo la humedad del suelo donde se encuentran la mayoría de las raíces (11, 28, 31, 32).

En el establecimiento y desarrollo de sistemas agroforestales con café deben establecerse prácticas tendientes a mantener o incrementar la productividad y la calidad del café, producto del estudio de las interacciones positivas entre el clima, el grado de sombreado, la variedad y los niveles de insumos (5, 6), especialmente de fertilizantes.

Aunque se han realizado diversos estudios en Colombia (22, 23, 34) y en otros países (2, 7, 17, 18, 28, 30) sobre la respuesta del café bajo sombrío a la fertilización, no es amplia la información cuando interactúan simultáneamente el grado de cobertura arbórea y los diferentes niveles de fertilización. Con el propósito de estudiar estas interacciones y puesto que no existe en la actualidad una forma racional de hacer recomendaciones de fertilización en cafetales bajo diferentes grados de sombreado, se planeó el presente estudio para evaluar el comportamiento productivo del café bajo la cobertura de *Inga* sp., a la aplicación de cuatro niveles de fertilizante completo en regiones con diferentes condiciones de clima y suelo como los de la zona cafetera norte de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento se localizó en la Subestación Experimental de Cenicafé Pueblo Bello, situada en el municipio de Pueblo Bello, departamento del Cesar, zona cafetera norte de Colombia. Las características geográficas, climáticas (9) y de suelos (15) se presentan en la Tabla 1.

Componentes del sistema agroforestal. Los componentes utilizados en el sistema agroforestal fueron guamo santafereño (*Inga edulis*), como componente arbóreo y café (*Coffea arabica*) c.v. Colombia.

Descripción *Inga edulis* (nombre vulgar: Guamo santafereño). Es la especie que más se

Tabla 1. Características climáticas y de suelos de la Subestación Pueblo Bello, en Pueblo Bello Santander.

Localización geográfica	
Latitud	10°25' norte
Longitud	73°34' oeste
Altitud (m)	1.100
Características climáticas	
Temperatura media (°C)	21,2
Precipitación anual (mm)	2.050
Brillo Solar (horas año)	2.380
Humedad Relativa (%)	74%
Características de suelos	
pH	5,1
Materia Orgánica (%)	7,1
Nitrógeno (%)	0,29
Fósforo (ppm)	2,0
Potasio (meq/100g)	1,2
Calcio (meq/100g)	7,0
Magnesio (meq/100g)	2,1
Ecotopo	402 ^a
Unidad Cartográfica	Asociación El Palmor
Grupo taxonómico	Dystropepts
Material Parental	Diabasa

ha utilizado como sombrío de café, pues sus hojas no son demasiado anchas permitiendo el paso de la luz. Puede establecerse en suelos pobres y arcillosos, y adicionalmente, plantarse a lo largo de las riberas de los ríos para proteger las cuencas. Posee raíces bien distribuidas y profundas que no extraen la humedad de la capa superficial del suelo; el tronco emite ramas ligeramente curvas y el follaje se extiende en forma de paraguas hasta una altura aproximada de 12m, cubriendo un área aproximada de 10m de diámetro. El tamaño de la hoja es variable, con folíolos acuminados, entre cuatro y nueve pares por hoja. Las inflorescencias, comúnmente tres ó más en cada axila de las hojas, tienen pedúnculos largos hasta de 10cm. Los frutos son estriados, aterciopelados, ferruginosos y de longitud variable, pudiendo llegar hasta 50cm. Esta especie de guamo se reproduce por semilla. Su copa máxima se obtiene a los tres años de

edad (14). La tala de las cordilleras andinas ha disminuido el número de individuos (10).

Clasificación del sistema agroforestal. El sistema en estudio se clasifica como un sistema agroforestal simultáneo, subclasificado como “árboles en asociación con cultivos perennes” (8). A esta categoría pertenecen todas las combinaciones de árboles y cultivos perennes en las cuales el componente arbóreo crea un piso superior y cubre los cultivos. La cubierta del árbol puede ser muy abierta, por ejemplo, algunas boscosas o casi cerradas, como árboles de sombra de algunas plantaciones de café o de cacao. Las plantaciones intensivas comerciales en asociación con árboles de usos múltiples también pertenecen a la misma categoría de cultivos bajo cubierta arbórea. Entre los casos más conocidos se encuentran los del café cultivado con sombra de *Erythrina* sp., *Inga* sp. y *Cordia alliodora*, entre otros.

Tratamientos y Diseño experimental. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra del componente arbóreo y cuatro niveles de fertilización del café, como se describe en la Tabla 2. Para la ejecución del experimento se procedió como si fueran tres ensayos diferentes (denominados Subsistemas), uno para cada distancia de siembra del componente arbóreo. En cada subsistema se sortearon los niveles de fertilizante, de acuerdo con el diseño en Cuadro Latino. Los niveles de fertilizante se determinaron de acuerdo con la aplicación de los porcentajes de fertilizante descritos, basados en la recomendación del análisis de suelos realizado previamente.

Como unidad experimental se tomó la parcela, cuyas características se describen en la Tabla 3.

Las áreas de los Subsistemas 1, 2 y 3 fueron de 2.916; 6.561 y 11.664m², respectivamente. El área total del campo experimental fue de 2,1ha. **Establecimiento del Sistema.** El estudio se inició en marzo de 1996 con el establecimiento del sombrío y en junio del mismo año se sembró el café.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos para evaluar la fertilización del café en un sistema agroforestal.

Tratamiento	Distancia de siembra del sombrío (m)	Nivel de fertilizante
Subsistema 1		
1	6,0 x 6,0	0
2	6,0 x 6,0	25%
3	6,0 x 6,0	50%
4	6,0 x 6,0	75%
Subsistema 2		
5	9,0 x 9,0	0
6	9,0 x 9,0	25%
7	9,0 x 9,0	50%
8	9,0 x 9,0	75%
Subsistema 3		
9	12,0 x 12,0	0
10	12,0 x 12,0	25%
11	12,0 x 12,0	50%
12	12,0 x 12,0	75%

Tabla 3. Características de las parcelas utilizadas para evaluar la fertilización del café en un sistema agroforestal

Característica	Distancia de siembra del sombrío (m)		
	6,0 x 6,0	9,0 x 9,0	12,0 x 12,0
Distancia siembra del café (m)	1,5 x 1,5	1,5 x 1,5	1,5 x 1,5
Plantas/parcela	81	169	289
Plantas efectivas/parcela	25	49	81
Árboles de sombrío/parcela	9	9	9
Árboles efectivos/parcela	1	1	1
Área de la parcela (m ²)	324	729	1.296

Durante el primer año de establecimiento todo el sistema tuvo sombrío transitorio de higuerillo (*Ricinus communis*), y durante el segundo año sombrío transitorio de guandul (*Cajanus cajan*).

Fertilización. En julio de 1996 se realizó una aplicación general de 30g de urea/planta; un mes después se hizo una aplicación general de 15g/planta de MgO (óxido de magnesio). Posteriormente, para el plan anual de fertilización, las cantidades aplicadas fueron proporcionales a los tratamientos planteados, según los resultados de los análisis de suelos, así:

700kg/ha de un fertilizante completo 17-6-18-2 ó 290kg/ de urea + 100kg/ha de DAP + 200kg/ha de KCl (cloruro de potasio)

Se fraccionó la dosis recomendada en dos aplicaciones, la mitad en el primer semestre y

la otra en el segundo semestre del año. El fertilizante se aplicó directamente a la planta.

Variables evaluadas

Índice de Humedad del Suelo (IHS). El índice de humedad en el suelo permite conocer la dinámica de la humedad del suelo de una región. Este índice es la relación entre la evapotranspiración real y la potencial, estimadas a partir de un balance hídrico que incorpora la lluvia, la evaporación (como una función de la radiación solar), la temperatura, la humedad del aire y el viento; además, se tuvieron en cuenta las propiedades físicas de retención de agua en el suelo y los límites de tolerancia del cultivo a la deficiencia de agua (3, 19). El índice de humedad del suelo varía entre 0 y

1,0 y permite conocer cómo cambia la humedad del suelo en una localidad, y si los niveles son adecuados o no para el crecimiento y el desarrollo del cultivo en su ciclo total o para una fase determinada de desarrollo; por ejemplo, para el crecimiento del fruto. Se considera que para el cultivo del café, cuando se tienen valores del IHS entre 0,8 y 1,0, no hay limitaciones del crecimiento por deficiencia de agua en el suelo; entre 0,6 y 0,8 la deficiencia es moderada y puede presentarse alguna limitación en el crecimiento; para valores inferiores a 0,6 ocurre deficiencia de agua en el suelo que, si se prolonga por mucho tiempo, afecta el crecimiento de la planta (3).

Intercepción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). La evaluación de la intercepción de RFA se realizó en cada unidad experimental, también denominada unidad de medición, durante los años 1998 hasta 2001, cuando los árboles de sombrero tenían 2, 3, 4 y 5 años, respectivamente. Para medir la cantidad de RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café se aplicó la metodología propuesta por Farfán *et al.* (12). Cada unidad de medición se dividió en cuadrantes y se asignaron puntos de medición de acuerdo al tamaño de la unidad. El punto de medición corresponde al sitio donde está ubicado un árbol de café. Las unidades de medición con el componente arbóreo a 6,0 x 6,0m estuvieron compuestas por 16 cuadrantes y 25 puntos de medición; a 9,0 x 9,0m, por 36 cuadrantes y 49 puntos de medición y a 12,0 x 12,0m por 64 cuadrantes y 45 puntos de medición. Se empleó una barra integradora de medición LI-191 SA (Line Quantun Sensor LICOR Lincoln NE, USA) conectada a un colector de datos LAI 2000. La barra se colocó por encima de la planta de café (punto de medición), efectuando mediciones instantáneas.

Para las mediciones de la RAF incidente sobre la fronda del componente arbóreo se instaló un sensor LI-190 SA (Line Quantun Sensor LICOR Lincoln NE, USA) en un área

descubierta adyacente a la parcela experimental y se conectó a un registrador automático de datos LI-1000, para almacenar la información de la RFA incidente cada minuto. La información contenida en cada uno de los registradores de datos se procesó mediante el software LI-900. En los años 2000 y 2001 se siguió el procedimiento descrito pero los equipos empleados para las mediciones internas y externas de RFA sobre el café y el componente arbóreo fueron dos CEPTOMETROS DELTA T DEVICES. Las mediciones se realizaron entre las 11:00 y 13:00 horas.

Nivel máximo de sombra. Con el fin de corroborar el año en el cual el grado de sombrero era máximo e igual en los tres Subsistemas, y así, determinar el momento oportuno para su regulación como medida preventiva de la reducción de la producción, se correlacionó la producción media del café obtenida año por año en cada Subsistema con el número de árboles establecidos por hectárea. Estos análisis se realizaron aplicando el procedimiento propuesto por Muschler (25), quien sugiere que con el análisis de la variación de la pendiente ($b = 0$, como tendencia), ajustando ecuaciones lineales simples entre producción y número de árboles, puede establecerse el momento en que los árboles de sombra alcanzan su máximo efecto.

Producción. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la producción de café, se realizaron recolecciones mensuales de café cereza por parcela y los registros fueron transformados a kilogramos de café pergamino seco por hectárea, aplicando un factor de conversión 5:1 (5,0kg de café cereza para obtener 1,0kg de café pergamino seco, con 11,5% de humedad).

Distribución anual de la cosecha. La distribución anual de la cosecha del café es de interés económico ya que, con la identificación de los

períodos de mayor o menor producción o de las épocas de mayor o menor concentración de la cosecha, se puede hacer un uso racional de los recursos económicos y programar las labores requeridas por el cultivo. Esta distribución varía de acuerdo a las regiones de producción de café (1, 33).

Análisis de la Información. Con la variable producción se realizó el análisis de varianza para cada Subsistema y cada año de producción, bajo el modelo utilizado en el diseño experimental. Se evaluó la relación entre el número de árboles del componente arbóreo y la producción de cada Subsistema, buscando el modelo de mejor ajuste (regresiones lineales, cuadráticas o cúbicas); además, pruebas de Duncan para comparación de medias entre tratamientos, pruebas de Tukey al 5% para comparación de medias generales entre los subsistemas y regresiones lineales simples para la determinación del máximo grado de sombrío.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Humedad del Suelo. Históricamente, la región norte de la zona cafetera colombiana (latitudes mayores que 7° Norte), presenta un período seco pronunciado de diciembre a abril y un período lluvioso de mayo a noviembre, con una ligera disminución en julio (19). Este

patrón de distribución de lluvias se presentó en la Subestación Experimental Pueblo Bello (Figura 1), en el período comprendido entre enero de 1997 y enero de 1998. Los meses de febrero a diciembre de 1998 fueron de alta disponibilidad de agua, seguidos por 30 días de déficit hídrico en 1999 y nuevamente once meses de disponibilidad de agua en este mismo año. De acuerdo con los índices de ocurrencia del “Evento Frío del Pacífico” calculados por el NOAA¹, estos comenzaron en mayo de 1998 hasta marzo de 2000. Hubo dos períodos secos prolongados, uno con inicio en noviembre de 1997 hasta marzo de 1998 y otro con inicio en julio de 2002 hasta marzo de 2003, los cuales coincidieron con los “Eventos Cálidos del Pacífico” registrados. Los índices de ocurrencia del Evento Cálido se registraron, uno con inicio en marzo de 1997 hasta abril de 1998 y otro con inicio en marzo de 2002 hasta junio de 2003.

Interceptación de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). Los registros de interceptación de la RFA indican que el nivel de sombrío se incrementa al aumentar la edad del componente arbóreo. El nivel medio de sombrío (1998 a 2001) en que se desarrolló el cultivo del café fue del 58% con 278 árboles de *Inga*/ha, del 50% con 123 árboles/ha y del 34% con 70 árboles/ha (Figura 2).

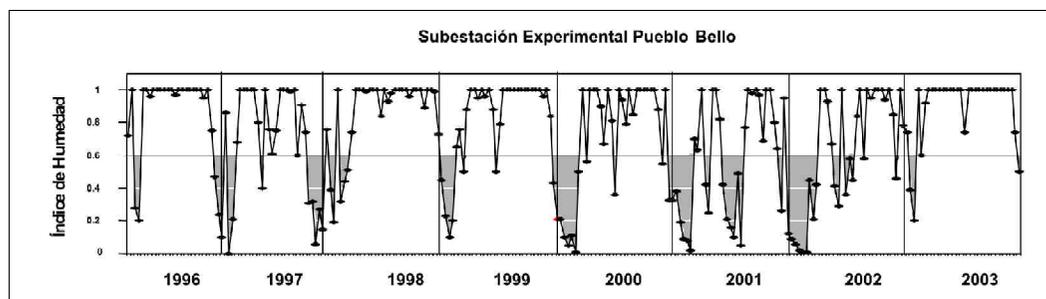


Figura 1. Índice de humedad del suelo (decadal) de 1996 a 2003, para la Subestación Experimental Pueblo Bello. El área sombreada indica la deficiencia hídrica.

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA-. www.noaa.gov/climate.html

El coeficiente de correlación entre el porcentaje de interceptación del componente arbóreo y la producción media general registrada dentro de cada Subsistema (1.025,8; 1.455,2 y 1.617,3kg de café pergamino seco/ha, con 278, 123 y 70 árboles de sombrío/ha, respectivamente), fue de -0,88, lo que indica una relación lineal inversa entre estas dos variables; es decir, si el grado de sombrío aumenta, disminuye la producción. Beer *et al.* (6), afirman que existe un efecto negativo directo entre el incremento en la densidad de siembra de los árboles de sombra y la producción de café y Vaz (35), indica que la incidencia de la luz en la producción de café es sustancial y debe mantenerse en límites razonables, no mayores al 50%.

Nivel máximo de sombrío. El análisis mediante el ajuste de ecuaciones lineales simples mostró una reducción de la producción de café cercana al 57,0% en el Subsistema 3 (70 árboles de *Inga sp.*/ha) en el año 2000 (Figura 3d), con una tendencia a mantener esta producción hacia el año 2001, a pesar de presentar significancia estadística ($p < 0,05$), al comparar la producción media bajo las tres densidades de siembra del sombrío. Por tanto, se

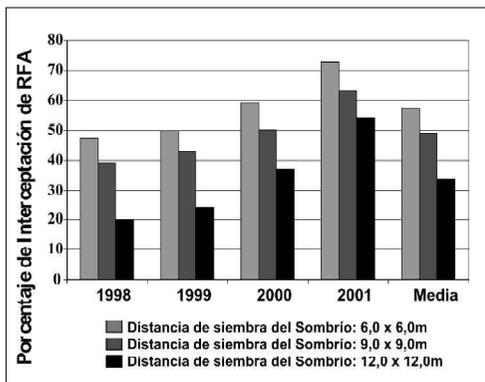


Figura 2. Interceptación de RFA, en tres densidades de siembra del sombrío de *Inga sp.* en la Subestación Experimental de Cenicafé, Pueblo Bello. Años 1998 - 2001.

puede inferir de acuerdo a las condiciones climáticas de esta localidad, que a inicios del cuarto año de establecidos los árboles de *Inga sp.* debe regularse el sombrío para evitar reducciones en la producción (Figura 3). Muschler (25), mediante análisis similares obtuvo que el nogal cafetero (*Cordia alliodora*) plantado a diferentes densidades de siembra como sombrío del café, producía su máximo nivel de sombra a los 8 años después de establecido.

Respuesta del café a la fertilización (Producción). Los resultados de producción de café (kilogramos de café pergamino seco/ha/año) entre 1997 y 2003, se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 4.

Subsistema 1: Sombrío a 6,0 x 6,0m. Los análisis de varianza realizados a las producciones registradas cada año y a la producción media obtenida durante 7 cosechas (1.108,6; 918,6; 971,7 y 1.104,3kg de café pergamino seco/ha), no mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos. Al realizar otro tipo de análisis consistente en asumir para el número de las repeticiones empleadas (cuatro) una diferencia mínima aceptable del 20% con respecto al promedio general en cada año evaluado (26,6; 737,1; 2.342,5; 757,8; 0 1.173,6; 988,9 y 1.154,5kg de café pergamino seco/ha), se obtuvo que en el año 2000 hubo respuesta en producción de café a la aplicación de los tres niveles de fertilizante estudiados (25, 50 y 75%) y en el año 2002 hubo respuesta a la aplicación del 75% del fertilizante al ser comparados con el testigo (0 fertilización). Los resultados de los estudios realizados por Montoya y Umaña (24) y, Uribe y Quiceno (34), les permitieron concluir que no hay interacción significativa entre los factores sombrío y fertilizante sobre la producción de café.

Los resultados del análisis estadístico (Tukey al 5%), de la producción media por años en este Subsistema se presentan en la Tabla 4 (letras minúsculas horizontales) y su comportamiento en la Figura 4a (línea continua). Entre 1998 y

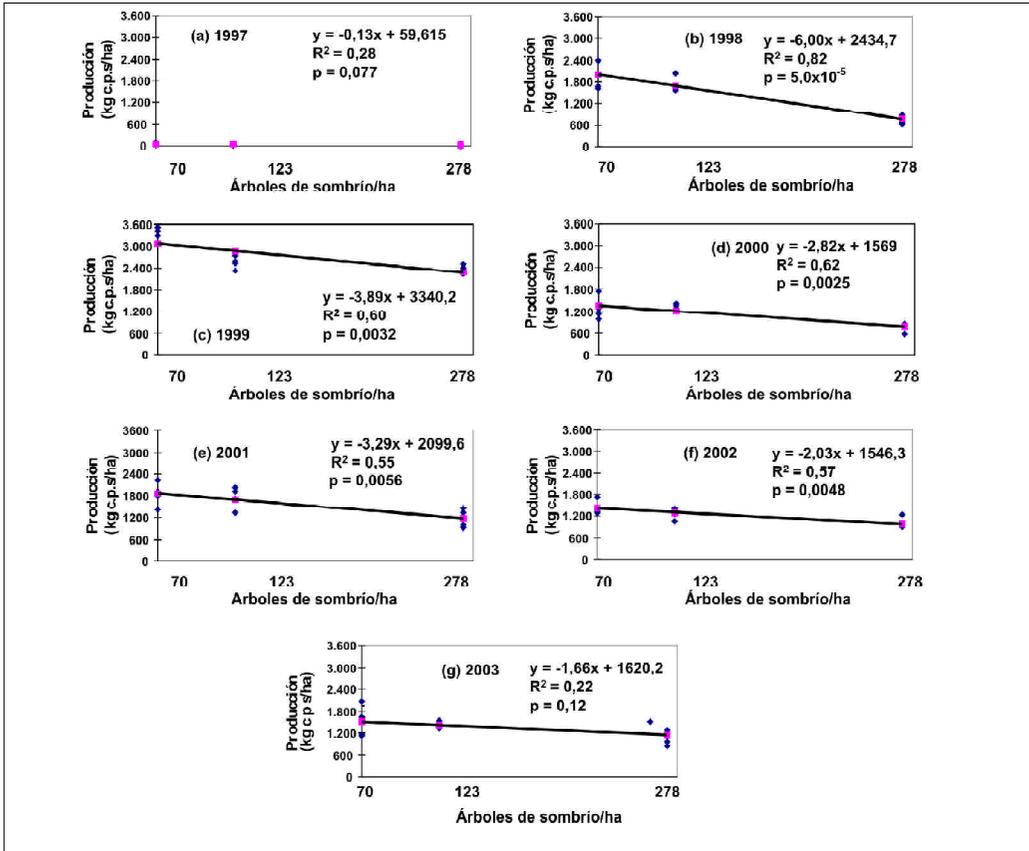


Figura 3. Producción anual del café desde 1997 hasta el 2003, en tres densidades de siembra de plantas de *Inga* sp/ha, en la Subestación Experimental Pueblo Bello. (a) 1997, (b) 1998, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2001, (f) 2002 y (g) 2003

1999 hubo incremento en la producción del 217,8%; de 1999 al año 2000, la producción media se redujo en un 67,6%. El comportamiento en producción hasta el año 1999 fue la respuesta del café a la buena disponibilidad de agua durante 1998 y 1999 (Evento Frío del Pacífico o “La Niña”).

En el año 2001 se incrementó la producción en un 54,9% en comparación con la registrada en el año 2000; entre los años 2001 y 2002, se redujo la producción en un 15,7% y para el año 2002 al 2003 se incrementó en un 16,7%. Es notable el aumento en producción seguido de un descenso en la misma, año tras año, o la presencia de un ciclo alternante de produccio-

nes altas y bajas en años sucesivos, conocido como variación bienal. El ciclo bienal de producción de café ocurre, en gran parte, debido a la limitación en la disponibilidad de carbohidratos durante la diferenciación y formación de yemas florales y la formación de hojas nuevas y de ramas con nudos productivos. Casos donde la bienalidad es alta no siempre corresponden a diferencias grandes en producción entre cosechas altas y bajas (26). La variación en la producción depende en gran proporción (70-80%) de las tecnologías utilizadas (variedades mejoradas, fertilización, controles fitosanitarios), mientras que las condiciones climáticas pueden influir entre el 12 y el 18% sobre esta variabilidad (21).

Subsistema 2: Sombrío a 9,0 x 9,0m. El análisis de varianza no evidenció efecto de los tratamientos de fertilización sobre la respuesta en producción del café, al analizar la producción por año y la media obtenida en todo el ciclo ($p > 0,05$). De acuerdo al número de repeticiones empleadas (cuatro) y asumiendo como diferencia mínima aceptable el 20% con respecto al promedio general en cada año evaluado (32,1; 1.839,7; 2.537,7; 1.327,8; 1.743,9; 1.275,9 y 1.429,2kg de café pergamino seco/ha), se confirma que no hubo efecto de las dosis de fertilizante sobre la producción de café bajo este grado de cobertura. Los resultados sugieren que en sistemas agroforestales con café, cuyo componente arbóreo esté establecido con 123 árboles de *Inga* sp./ha, el café no responde a aplicaciones con aumentos graduales en las dosis de fertilizante; resultados similares fueron obtenidos por Mestre (23), quien estudió el efecto de 4 niveles de fertilizante químico sobre la producción de café

bajo sombrío de *Inga* sp., él concluyó que no hay evidencia estadística de que los tratamientos hubieran tenido influencia sobre la producción.

El resultado de la prueba de comparación entre las producciones medias registradas por año se presentan en la Tabla 4 (letras minúsculas horizontales) y su comportamiento en la Figura 4b. Con el componente arbóreo establecido a 9,0 x 9,0m la producción media del Subsistema presentó un comportamiento variable de la producción, con aumentos y disminuciones entre años, similar a la encontrada en el Subsistema 1. La diferencia en producción entre 1998 y 1999 fue del 39,6%; en el período 1999 al 2000 la producción media se redujo en un 47,7% y se incrementó nuevamente en un 31,3% en el año 2000 al 2001. Entre el 2001 y el 2002 nuevamente se redujo la producción en 22,5% y aumentó en un 5,1% en el período 2002 al 2003.

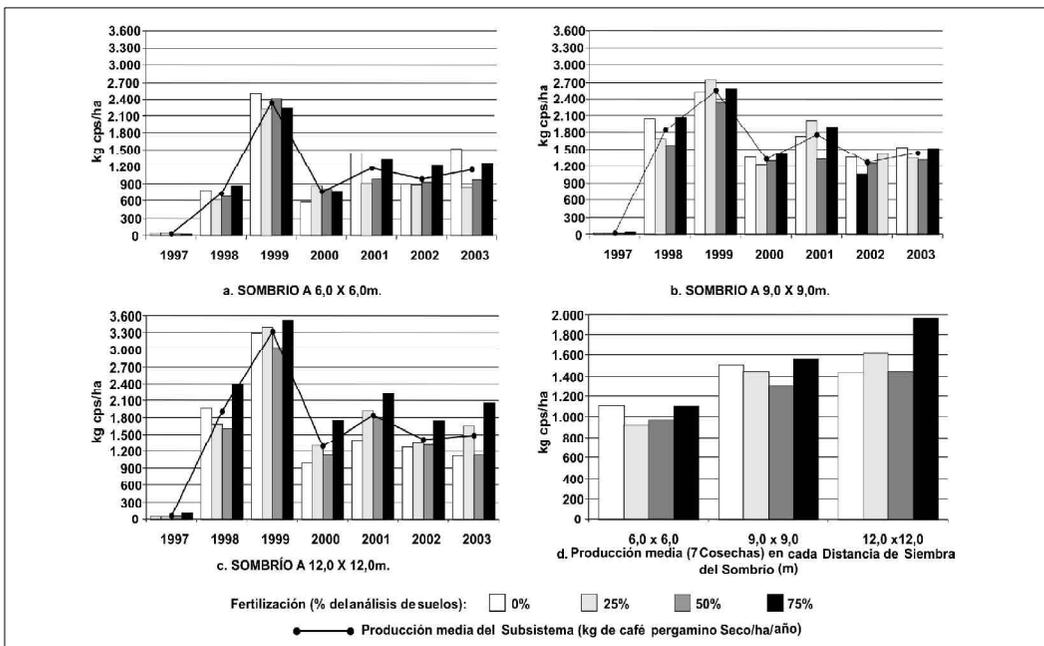


Figura 4. Producción de café pergamino seco (kg/ha-año) entre 1997 y 2003, según los niveles de fertilización y de sombrío, en la Subestación Experimental Pueblo Bello.

Subsistema 3: Sombrío a 12,0 x 12,0 m. Los análisis de varianza realizados a las producciones registradas en cada año no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos; no obstante, asumiendo como diferencia mínima aceptable el 20% con respecto al promedio general en cada año evaluado (52,9; 1.911,4; 3.310,0; 1.292,7; 1.833,4; 1.420,5 y 1.493,5kg de café pergamino seco/ha) y para el número de replicaciones empleado (cuatro), se obtuvo que en los años 1997, 1998, 2001, 2002 y 2003 hubo respuesta en producción del café a la aplicación del 75% de fertilizante. En los años 2001 y 2003 el café también respondió a la aplicación del 25% de la dosis.

La prueba de comparación de Duncan al 5%, de la producción media obtenida en cada tratamiento de fertilización durante las 7 cosechas (1.439,6; 1.618,7; 1.443,0 y 1.967,7kg de café pergamino seco/ha), no mostró diferencia estadística entre los tratamientos en que se aplicaron 0, 25 y 50% del fertilizante recomendado por el análisis de suelos; estos, se diferenciaron estadísticamente del tratamiento con aplicación del 75% del fertilizante, lo que indica que en esta localidad con 70 plantas/ha de *Inga* sp. como componente arbóreo, el café plantado a 1,5 x 1,5m y aplicando el 75% del fertilizante recomendado en el análisis de suelos se obtienen incrementos en producción del 20%, comparado con la producción media obtenida al aplicar 0, 25 y 50% del fertilizante. Vaz (35), afirma que se presenta una baja respuesta de las plantas de café a la aplicación del fertilizante cuando éstas crecen bajo sombrío por encima del 50%.

El comportamiento de la producción media del Subsistema agroforestal con el componente arbóreo establecido a 12,0 x 12,0m, fue similar al de los dos subsistemas anteriores, por lo cual, se aplican los mismos criterios discutidos en el Subsistema 1. Los resultados de sus análisis se presentan en la Tabla 4 y el comportamiento anual de las medias en la Figura 4c. La produc-

ción entre 1998 y 1999 se incrementó 73,1% y se redujo en un 61,0% hacia el año 2000; entre el 2000 y el 2001 la producción aumentó en un 41,8%; entre el 2001 y el 2002 se redujo en un 22,5% y, aumentó nuevamente en tan solo 5,1% en el periodo 2002 al 2003.

Comparación de los tres Subsistemas. La prueba de comparación (Tukey al 5%) de la media general obtenida en los Subsistemas 1, 2 y 3 (1.025,8; 1.455,2 y 1.617,3kg de café pergamino seco/ha, respectivamente), mostró que entre estas tres medias hay diferencias significativas (letras mayúsculas en la Tabla 4). La mayor producción se obtuvo con el componente arbóreo establecido con 70 árboles/ha, esta producción fue 11,1% más alta que la obtenida con sombrío plantado con 123 árboles/ha y, 57,7% superior a la producción registrada con sombrío de 278 árboles/ha. La diferencia en producción con sombrío a 9,0 x 9,0m versus 6,0 x 6,0m fue del 41,9%, a favor del primero (Figura 4d).

Distribución anual de la cosecha. La distribución anual de la cosecha en los tres Subsistemas estudiados en el ciclo 1997 a 2003, se presenta en la Figura 5.

En el Subsistema 1 el 95% de la cosecha se concentró en el segundo semestre del año. Para los Subsistemas 2 y 3, se concentró el 93 y 92% de la cosecha, respectivamente, en los meses de octubre a noviembre donde se distribuyó toda la cosecha.

Por encima de los 9° de Latitud Norte, los cafetales presentan tendencia a florecer hacia los meses de marzo y abril; ubicándose en este patrón principalmente la caficultura de los departamentos de Cesar, Magdalena y Guajira (3, 19). Estas floraciones son responsables por lo menos del 90% de la cosecha que se recolecta en la zona entre noviembre y enero. Los rangos de distribución de la cosecha de café en la zona norte de Colombia (departamentos cafeteros de Cesar, Guajira y Magdalena), se

Tabla 4. Producción de café pergamino seco (kg/ha/año) entre 1997 y 2003, según los niveles de fertilización y de sombrío, en la Subestación de Experimentación de Cenicafé, Pueblo Bello.

Fertilización	Años							Media*
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
Subsistema 1: Distancia de siembra del sombrío 6,0 x 6,0 m								
0	32,9	788,0	2.495,5	574,2	1.453,5	900,0	1.516,5	1.108,6 a
25%	42,3	621,9	2.226,2	869,5	924,3	895,5	850,5	918,6 a
50%	23,6	667,4	2.404,8	813,9	984,6	927,0	981,0	971,7 a
75%	7,7	871,2	2.243,7	773,6	1.332,0	1.233,0	1.269,0	1.104,3 a
Media	26,6 d	737,1 c	2.342,5 a	757,8 c	1.173,6 b	988,9 bc	1.154,3 b	1.025,8c
C. V. (%)	106,3	46,5	81,9	50,9	35,7	38,3	40,0	96,1
Subsistema 2: Distancia de siembra del sombrío 9,0 x 9,0 m								
0	27,0	2.040,3	2.515,1	1.368,8	1.722,2	1.359,8	1.534,3	1.509,6 a
25%	33,1	1.679,9	2.734,0	1.228,0	2.005,2	1.061,2	1.343,7	1.440,7 a
50%	28,6	1.575,2	2.328,7	1.298,7	1.335,4	1.258,7	1.316,1	1.305,9 a
75%	39,9	2.063,5	2.573,1	1.415,8	1.912,8	1.424,1	1.522,8	1.564,6 a
Media	32,1 e	1.839,7 ab	2.537,7 a	1.327,8 cd	1.743,9 bcd	1.275,9 d	1.429,2 bcd	1.455,2 b
C. V. (%)	49,7	38,4	90,5	24,7	27,9	23,9	34,7	86,8
Subsistema 3: Distancia de siembra del sombrío 12,0 x 12,0 m								
0	40,1	1.967,5	3.279,2	993,9	1.403,0	1.276,6	1.116,7	1.439,6 b
25%	38,5	1.677,7	3.391,2	1.298,1	1.924,6	1.354,5	1.646,5	1.618,7 b
50%	59,0	1.609,0	3.036,4	1.131,5	1.796,4	1.315,5	1.154,2	1.443,1 b
75%	99,2	2.392,7	3.533,3	1.747,3	2.209,4	1.735,5	2.056,7	1.967,7 a
Media	59,2 e	1.911,7 bc	3.310,0 a	1.292,7 d	1.833,4 c	1.420,5cd	1.493,5 cd	1.617,3 a
C. V. (%)	47,8	20,1	12,7	35,4	23,1	25,5	37,2	14,1

* Medias con letra diferente indican diferencia estadística según prueba Duncan al 5%

ubicar entre el 88 y el 97%, en el segundo semestre del año, y entre el 3 y el 12% en el primer semestre (4). En la zona de estudio se obtuvo una distribución media anual de la cosecha de los tres Subsistemas, del 93% en el segundo semestre y del 7% en el primero.

Los resultados aquí obtenidos pueden atribuirse a las características intrínsecas del sitio experimental (suelo, temperatura y precipitación, entre otros), y a las características propias de los subsistemas agroforestales evaluados como: la densidad de siembra de los árboles, el desarrollo de los árboles de sombra y la homogeneidad de la cobertura, entre otros, y se sugiere ser tenidos en cuenta solo para esta localidad.

En la zona norte del país, con distancias de siembra del café de 1,5 x 1,5m y con sombrío de *Inga edulis* establecido a 6,0 x 6,0m (278

plantas/ha) y a 9,0 x 9,0m (123 plantas/ha), no se espera respuesta del café a las aplicaciones de dosis bajas o altas de fertilizante inorgánico. En cultivos de café en arreglos espaciales al cuadro a 1,5 x 1,5m establecidos con sombrío a 12,0 x 12,0m (70 plantas/ha), se obtuvo la mejor respuesta a las aplicaciones de fertilizante cuando éstas habían recibido el 75% de la dosis según el análisis de suelos.

En sistemas agroforestales con café, la máxima producción, 1.617,3kg de café pergamino seco/ha/año, se obtuvo cuando el nivel de sombreado fue del 34% (sombrío de *Inga* sp. establecido a 12,0 x 12,0m).

Pasar de una distancia de siembra de sombrío de 6,0 x 6,0m a una de 9,0 x 9,0m significa aumentar la producción de café en un 41,9%, y al ampliarla a una distancia de 12,0 x 12,0m

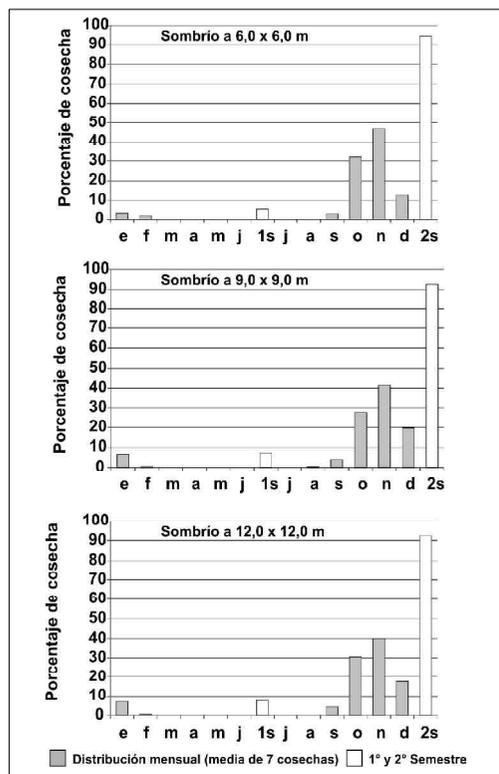


Figura 5. Distribución anual de la cosecha de café bajo tres densidades de sombrío de *Inga edulis*, en la Subestación Experimental Pueblo Bello, entre 1997 y 2003.

se aumenta la producción en un 57,7%. Pasar de una distancia de 9,0 x 9,0m a una de 12,0 x 12,0m, significa aumentar la producción en un 11,1%

Hubo una relación lineal negativa entre la distancia de siembra del sombrío y la producción del café, es decir, al disminuir el nivel de sombra aumenta la producción del cafetal.

Para las condiciones en que se distribuye la cosecha del café en esta localidad, se sugiere regular el sombrío a inicios del cuarto año de establecido el componente arbóreo cuando deben hacerse las podas que permitan menor interceptación de la radiación y por tanto, mantener la producción.

De acuerdo con el comportamiento productivo del café en tres densidades de siembra de *Inga edulis* y su respuesta a la aplicación de fertilizante en las zonas cafeteras Norte y Centro de Colombia (13), puede observarse la respuesta de los cafetos entre las dos zonas, teniendo en cuenta las condiciones intrínsecas de cada uno de los sitios experimentales (Tabla 5). No obstante, no pueden compararse

Tabla 5. Comportamiento productivo del café y su respuesta a la aplicación de fertilizante en dos localidades de las zonas cafeteras norte y centro de Colombia

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

*Asumiendo una diferencia mínima del 20% de la media general registrada en 1999.

los resultados de producción de café bajo sombrero de guamo, debido a que las condiciones de clima y suelo son contrastantes.

AGRADECIMIENTOS

A Esther Cecilia Montoya R. de la Disciplina de Biometría de Cenicafé. Al Dr. Jaime Arcila Pulgarín de la Disciplina de Fitotecnia y a los empleados de la Subestación Experimental de Cenicafé en Pueblo Bello, Cesar.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; MORENO R., L.G. ¿Cómo se distribuye anualmente la cosecha de las variedades Caturra y Colombia? Avances Técnicos Cenicafé No. 260:1-4. 1999.
2. ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees I. Coffee. Plant and Soil 67 (1-3): 247-258. 1982.
3. ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé No. 311: 1-8. 2003.
4. BEDOYA V., J.E.; ESCOBAR U., D.; TÉLLEZ M., C.A. El patrón de cosecha en la caficultura colombiana. Economía Cafetera 26(6):1-8. 1997.
5. BEER, J.W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. Agroforestry Systems 5 (1): 3-13. 1987.
6. BEER, J.W.; MUSCHLER, R.G.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38: 139-164. 1998.
7. BELLOW, J. G.; NAIR, P. K. R. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial. Agricultural and Forest Meteorology 114(3-4):197-211. 2003.
8. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA - CATIE. SAN JOSE. COSTA RICA. Organización para estudios tropicales. OTS. Sistemas Agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. San José, CATIE, 1986. 818 p.
9. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINA. COLOMBIA. Disciplina de Agroclimatología. Archivo climático 1996 a 2000. Chinchiná, Cenicafé, 2000.
10. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Base de datos Flora de Cenicafé. On line Internet: www.orton.ac.cr/flora/htm. (Consultada mayo de 2003).
11. COSTE, R. El Café. Barcelona, Blume, 1975. 240 p. (Colección Agricultura Tropical).
12. FARFÁN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Desarrollo de una metodología para medir sombrero en sistemas agroforestales con café. Cenicafé 54 (1): 24-34. 2003.
13. FARFÁN V., F.; MESTRE M. A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. Cenicafé 55(2): 161-174. 2004
14. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual del cafetero colombiano. Bogotá, FNC, 1958. p. 200.
15. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ. COLOMBIA. Caracterización agroecológica del Ecotopo y de los lotes para análisis de producción. Ecotopo 402. Bogotá, FNC, 1996. p. 47.
16. GÓMEZ G., L.; JARAMILLO R., A. El clima de la zona cafetera colombiana y su relación con el cultivo del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINA. COLOMBIA. 50 años de Cenicafé 1938-1988. Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1990. p. 23-32.
17. HAARER, A.E. Shade for coffee. World Crops 12 (12): 465-466. 1960.
18. HERRERA E., J.S.; PALMA O., M. R.; ORDOÑEZ V., M.A.; ZÚNIGA, M.D. Efecto de la aplicación de Nitrógeno en la producción de café bajo sombra de *Inga* sp. In: Seminario Nacional de Investigación y Transferencia en

- Caficultura, 6. Tegucigalpa, Noviembre 22-24, 1995. Memorias. Tegucigalpa, Instituto Hondureño del Café, 1997. p. 400-406.
19. JARAMILLO R., Á. Climatología de región andina de Colombia; microclima y fenología del cultivo del café. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 172 p.
 20. JARAMILLO, R., Á. Balance hídrico de la zona cafetera colombiana. Cenicafé 33 (1): 15 - 34. 1982.
 21. JARAMILLO R., Á. LARSEN, L.O.; ARCILA P., J. Un modelo para evaluar la influencia del clima en la producción de café. Cenicafé 43(1): 22-26. 1992.
 22. MACHADO S., A. Rentabilidad del tratamiento de fertilizantes en un experimento con cafetos. Cenicafé 16 (1-4): 42-54. 1965.
 23. MESTRE M., A. Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. Avances Técnicos Cenicafé No. 231: 1-4. 1996.
 24. MONTOYA, L.A.; UMAÑA, R. Efecto de tres intensidades de luz y tres niveles de nitrógeno (urea) sobre la incidencia de "die-back". Café; Servicios Técnicos de Café y Cacao 3 (8): 1-8. 1961.
 25. MUSCHLER R., G. Árboles en cafetales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, CATIE, 2000. 45 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 5).
 26. OROZCO G., L. Variación bienal en el cultivo de café. *In*: Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos, 4. Chinchiná, Mayo 8-10, 1995. p. 36-37.
 27. OROZCO C., F.J.; JARAMILLO R., Á.: Comportamiento de introducciones de *Coffea* sometidas a condiciones de déficit de humedad en el suelo. Cenicafé 29 (3): 61-93. 1978.
 28. RAMÍREZ M., L.G. Producción de café bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de Poró. *In*: Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, 16. Managua, Octubre 25-29, 1993. Ponencias. Tegucigalpa, CONCAFE-IICA, 1995. V. 2. p. v.
 29. RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecología del café. Ecología da producao agrícola. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 120-145.
 30. ROMERO A., Y.; SOTO P., L.; GARCÍA B., L.; BARRERA G., J.F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, México. *Agroforestry Systems* 54 (3): 215-224. 2002.
 31. SÁNCHEZ O., J. F.: Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones. Turrialba, CATIE, 1989. 174 p. (Tesis: M.Sc.)
 32. SUÁREZ DE CASTRO, F.; MONTENEGRO, L.; AVILES, P. C.; MORENO, M.; BOLAÑOS, M.: Efectos del sombrero en los primeros años de vida de una cafetal. Café. Servicios Técnicos de Café y Cacao 3 (10): 81- 102. 1962.
 33. URIBE H., A. Distribución anual de la cosecha de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 63:1-7. 1977.
 34. URIBE A., H.; QUICENO H., G. Comportamiento de algunas progenies de *Coffea arabica* L., bajo diferentes condiciones de sombrero y fertilización. Cenicafé 9 (5-6): 121-124. 1958.
 35. VAZ, J.T. Sombreamento e fertilizacao do cafezal. *Gazeta Agrícola de Angola* 12 (2): 100-103. 1967.
 36. WEAVER, R. Agrisilviculture in tropical America. *Unasylyva* 31 (126): 2 - 12. 1979.