

RESPUESTA DEL CAFÉ CULTIVADO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES

Fernando Farfán-Valencia*, Alfonso Mestre-Mestre**

RESUMEN

FARFAN V., F. MESTRE M., A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. Cenicafé 52(2):161-174. 2004.

En la zona cafetera central de Colombia, se evaluó el efecto de la aplicación en café de 4 niveles de fertilizante inorgánico (0, 25%, 50% y 75% de las recomendaciones de los análisis de suelos), en un sistema agroforestal donde el componente arbóreo fue *Inga edulis*, plantado a distancias de 6m x 6m (273 plantas/ha, subsistema 1), 9m x 9m (123 plantas/ha, subsistema 2) y 12m x 12m (70 plantas/ha, subsistema 3). El café se estableció a una distancia de 1,5m x 1,5m (4.444 plantas/ha), en todos los casos. Los resultados obtenidos permitieron concluir que en la zona centro de Colombia, con sombrío a densidades de 278 y 123 plantas/ha, el café no responde a aplicaciones de fertilizante. En el cultivo establecido con sombrío a 12 x 12m (70 plantas/ha), hay respuesta del café a aplicaciones del 25%; 50% y 75% del fertilizante, asumiendo una diferencia mínima del 20% de la media general registrada en 1999. Al comparar la producción media de los tres subsistemas hubo diferencia significativa entre ellos; el coeficiente de correlación ($r = -0,99$) entre la distancia de siembra del componente arbóreo y la producción media general registrada dentro 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.

Palabras Clave: Sistema agroforestal, *Coffea arabica*, *Inga edulis* sp., fertilización, sombrío, zona cafetera central colombiana

ABSTRACT

In the central coffee region of Colombia, the application effect in coffee of four inorganic fertilization levels (0, 25%, 50% and 75% based on the recommendations of soil analysis) in an agroforestry system whose forest component was *Inga edulis*. That specie was planted at the shade trees were sown at distances of 6m x 6m (273 trees/ha, subsystem 1), 9m x 9m (123 trees/ha, subsystem 2) and 12m x 12m (70 trees/ha, subsystem 3) and coffee at 1.5m x 1.5m (4,444 trees/ha) in all the cases. The results obtained allowed to conclude that in the Colombian central zone there were no responses of coffee to fertilization when the shade was at densities of 278 y 123 trees/ha. When shade was at 70 trees/ha there was a significant response of coffee to 25%; 50% y 75% of the fertilizer dose recommended in the soil analysis. When comparing the average production of the three subsystems there was a meaningful difference among them. The correlation coefficient ($r = -0,99$) between the sowing distance of the forest component and the average general production registered inside each sample subsystem shows that there exists an inverse lineal relation between both variables, it is to say, as the shading percentage increases, the production decreases and vice versa.

Keywords: Agroforestry systems, *Coffea arabica*, *Inga* sp, fertilization, Central Colombian coffee zone

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

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

De las 869.158ha sembradas con café en Colombia, el 37% se cultiva bajo sombrío (14), y las especies comúnmente empleadas para este propósito pertenecen a la familia Leguminosae, especialmente *Inga sp*, *Albizia sp*, *Erythrina sp*, *Leucaena sp*. con arreglos espaciales poco definidos. Los árboles de sombrío en los cafetales permiten ejercer un control sobre la economía del agua lo que atenúa los efectos que los períodos prolongados de déficit hídrico imponen sobre la producción; además, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo y ayudan a reducir la erosión, reciclan nutrientes y aportan gran cantidad de materia orgánica (4), también incrementan las poblaciones de epífitas y aumenta la diversidad de las especies de aves (29), lo cual permite que los caficultores participen en los mercados de cafés especiales.

El efecto de las diferentes interacciones entre los árboles de sombra y el café depende de las condiciones del sitio (suelo/clima), la selección del genotipo (especie/variedad/procedencia); aspectos muy relevantes al momento de establecer el sistema, dado que sus resultados pueden conducir a una productividad más baja, si se compara con el monocultivo, por tanto, es necesario ajustar la tecnología para mejorarla. También las características bajo y sobre el suelo de los árboles y los cultivos y las prácticas de manejo (5) realizadas en el cultivo principal, como la fertilización, pueden afectar positiva o negativamente la producción de café en estos sistemas agroforestales (11, 18, 24).

Aunque se han llevado a cabo diversos estudios en Colombia (23, 24, 30, 32), y en otros países (2, 6, 17, 18, 27, 28), donde se ha evaluado la respuesta del café bajo sombrío a la fertilización, no es suficiente la información acerca de la respuesta del café a la interacción entre el grado de cobertura arbórea y 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 desarrolló el presente estudio para evaluar la influencia sobre el comportamiento productivo del café de la cobertura de *Inga edulis* sp y la aplicación de cuatro niveles de fertilización inorgánica en las condiciones de clima y suelo de la zona cafetera del centro de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en la Estación Central Naranjal, situada en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas, zona cafetera central de Colombia. Las características geográficas, climáticas (9), y de suelos (15), se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características geográficas, climáticas y de suelos de la localidad.

Localización geográfica	Estación Central Naranjal
Latitud	4°59' norte
Longitud	75°39' oeste
Altitud (m)	1.400
Características climáticas	
Temperatura (°C)	20,8
Precipitación (mm)	2.656
Brillo Solar (horas año)	1.817
Humedad Relativa (%)	78 %
Características de suelos	
PH	5,2
Materia Orgánica (%)	13,3
Nitrógeno (%)	0,51
Fósforo (ppm)	3,0
Potasio (m/100 g)	0,98
Calcio (m/100 g)	4,3
Magnesio (m/100 g)	1,9
Ecotopo	206A
Unidad Cartográfica	Consociación Chinchiná
Grupo taxonómico	Hapludands
Material Parental	Cenizas volcánicas

Tabla 2. Descripción de los Tratamientos*

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%

*Como Unidad Experimental se tomó la parcela, cuyas características se describen en la Tabla 3.

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

Guamo santafereño. Es la especie que más se ha utilizado como sombrío del café, pues su hoja no es demasiado ancha y permite una buena iluminación. Soporta suelos pobres y arcillosos y se le puede plantar a lo largo de las riberas de los ríos para proteger las cuencas. La tala de las cordilleras andinas ha disminuido el número de individuos de estas especies de *Inga* (10). Posee raíces bien distribuidas y profundas con lo cual se evita se el resecaimiento de la capa superficial del suelo, el tronco ramifica con ramas ligeramente curvas, su 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 y los folíolos son puntiagudos y se encuentran de 4 a 9 pares. Las inflorescencias que comúnmente son tres o más en cada axila de las hojas, llevan pedúnculos largos hasta de 10cm.

Los frutos son estriados, aterciopelados, ferruginosos y de longitud variable, pudiendo llegar hasta 50cm. Este guamo se reproduce por semilla y se transplanta al campo definitivo a distancias entre 9 y 10m. Su cobertura óptima se logra a los tres años de edad (13).

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 que 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, 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. Uno de los casos más conocidos es el del café cultivado con sombra de *Erythrina sp*, *Inga sp*, o *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 (en adelante 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 fueron la aplicación de los porcentajes de fertilizante descritos, basados en la recomendación resultante de 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 11.664 m², respectivamente. El área total del campo experimental fue 2,1ha.

Establecimiento. El estudio se inició en septiembre de 1994 con el establecimiento del sombrío y continuó un año después con la siembra del café.

Fertilización. Dos meses después de establecido el café se realizó una aplicación de 20g de urea/planta; 6 meses después se realizó una segunda aplicación del mismo fertilizante en dosis de 30g/planta, sólo a los tratamientos

que incluyeron fertilización. Posteriormente para el plan anual de fertilización las cantidades aplicadas fueron proporcionales a los tratamientos planteados, según los resultados de los análisis de suelos:

- 700kg/ha de un fertilizante completo, 17-6-18-2 ó
- 215kg/ de urea + 100kg/ha de DAP + 200kg/ha de KCl (cloruro de potasio)

Las fertilizaciones se realizaron fraccionando la dosis recomendadas en dos aplicaciones, la mitad en el primer semestre y la otra en el segundo semestre del año.

Variables evaluadas

Índice de humedad del suelo. El comportamiento de la humedad del suelo en una región se puede conocer mediante un Índice de Humedad del Suelo (IHS), el cual se obtiene dividiendo la evapotranspiración real entre la evapotranspiración potencial, cantidades que se estiman de la contabilidad de entradas y salidas denominado balance hídrico (3, 16, 21). El IHS, 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 desarrollo del cultivo en su ciclo total, o para una fase determinada de

Tabla 3. Características de las unidades experimentales.

Característica	Distancia de siembra del sombrío		
	6,0 x 6,0m(Subsistema 1)	9,0 x 9,0m(Subsistema 2)	12,0 x 12,0m(Subsistema 3)
Distancia siembra del café (m)	1,5 x 1,5	1,5 x 1,5	1,5 x 1,5
Plantas de café/parcela	81	169	289
Plantas efectivas de café/parcela	25	49	81
Arboles de sombrío/parcela	9	9	9
Arboles efectivos/parcela	1	1	1

desarrollo, por ejemplo, para el crecimiento del fruto. Se considera que para el cultivo del café cuando se tienen valores del IHS entre 1,0 y 0,8 no hay limitaciones del crecimiento por deficiencia de agua en el suelo; entre 0,8 y 0,6 la deficiencia es moderada y puede presentarse alguna limitación al 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, en los años 1997, 1998 y 1999, cuando los árboles de sombrero tenían 4, 5 y 6 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 correspondió al sitio donde estaba ubicado un árbol de café. Unidades de medición con el componente arbóreo a 6,0 x 6,0m estaban compuestas de 16 cuadrantes y 25 puntos de medición; a 9,0 x 9,0m, de 36 cuadrantes y 49 puntos de medición y a 12,0 x 12,0m de 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 RFA 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 conectado a un registrador automático de datos LI-1000, almacenando 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. Las mediciones se realizaron entre las 11:00 y 13:00 horas.

Esta información se complementó determinando el **Nivel máximo de sombreado**. A fin de corroborar el año en el cual el grado de sombreado es máximo e igual en los tres subsistemas y así determinar el momento oportuno para la regulación de la sombra 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/ha. Estos análisis se realizaron aplicando el procedimiento propuesto por Muschler (26), 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 se puede establecer 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 en kilos de café cereza por parcela. Los registros se transformaron a kilogramos de café pergamino seco (kg cps) por hectárea, aplicando un factor de conversión 5:1 (5,0kg de café cereza para obtener 1kg de café pergamino seco, con 11,5% de humedad).

Distribución anual de la cosecha. El conocimiento de la distribución anual de la cosecha del café es de un interés de carácter económico, ya que identificando los períodos de mayor o menor producción o las épocas de mayor o menor concentración de la cosecha, se puede hacer un uso racional de los recursos económicos, permitiendo realizar una adecuada programación de las labores a realizar en el cultivo. Esta distribución varía de acuerdo a las regiones de producción de café (1, 31).

Análisis de la Información. Con la variable producción, se realizó el análisis de varianza

para cada subsistema y año de producción, bajo el modelo para el diseño experimental utilizado. 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), 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 determinación del grado de sombreado máximo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Humedad del Suelo. La región central -latitudes entre 3° y 7° Norte- presenta dos

períodos lluviosos: marzo - junio y septiembre-diciembre, y dos períodos menos lluviosos: enero-febrero y julio-agosto (21). En la Figura 1, se presenta el balance hídrico para la Estación Central Naranjal. En esta localidad hubo deficiencias hídricas en los años 1995, 1996 y los meses de enero a julio de 1997; se registró una condición de déficit hídrico severo en el mes de agosto de 1997 y enero del 98, en los meses sucesivos y en 1999 se presentó buena disponibilidad de agua en el suelo. Los índices de ocurrencia del Evento Cálido del Pacífico "El Niño" registran su inicio en marzo de 1997 hasta abril de 1998*; siendo el evento mas fuerte registrado en los últimos 100 años.

Intercepción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). El porcen-

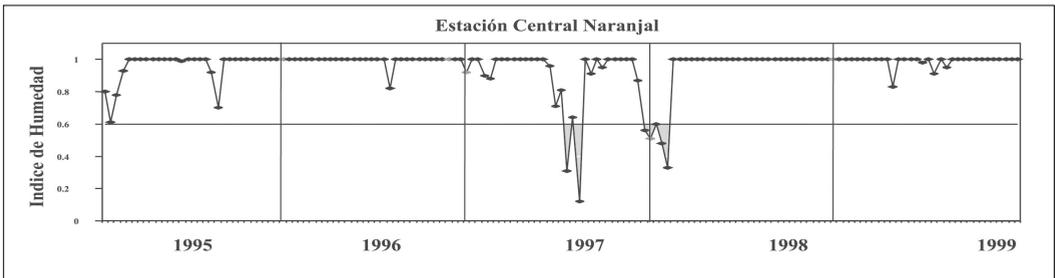


Figura 1. Índice de humedad del suelo (decadal), Estación Central Naranjal de Cenicafé, 1995 a 1999. El área sembrada indica déficit hídrico

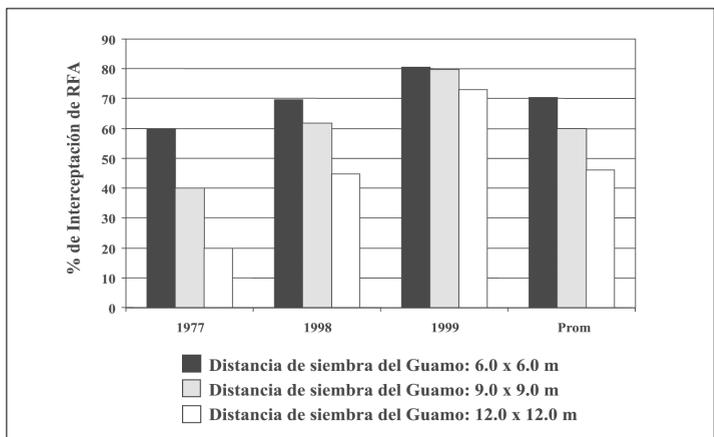


Figura 2. Intercepción de RFA, en tres densidades de siembra del sombrío de *Inga edulis* sp. Estación Central Naranjal, 1997 a 1999.

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

taje de interceptación de RFA media registrado en cada una de las distancias de siembra del sombrío, durante tres años, mostraron que a 6,0 x 6,0m el porcentaje de interceptación media fue del 70%, a 9,0 x 9,0m del 60% y a 12,0 x 12,0m del 45% (Figura 2). Siebert (29), indica que es la cantidad de sombra lo que afecta la producción del café y no el tipo de sombrío empleado y Beer *et al.*, (5) informan que cuando la disponibilidad de nutrientes no limita el crecimiento, existe una correlación directa positiva entre el crecimiento y disponibilidad de luz.

El coeficiente de correlación ($r = -0,99$), entre el grado de cobertura del componente arbóreo y la producción dentro de cada subsistema, muestra que existe una relación lineal inversa entre las dos variables analizadas; es decir, si aumenta el porcentaje de sombreado disminuye la producción. Caramori *et al.*, (7), encontraron una respuesta cuadrática de la producción de café como una función de la distancia de siembra de los árboles de sombrío.

Nivel máximo de sombreado. El análisis mediante el ajuste de ecuaciones lineales simples (Figura 3), indicó que la estabilización y mínima producción bajo las tres densidades de siembra del sombrío como efecto de la nivelación de la sombra en los tres sistemas de siembra evaluados ocurrió en el año 1999 (5° año de establecimiento del sombrío) (Figura 3d). Además, que es entonces en el año 4° de plantados los árboles cuando debe realizarse su manejo o regulación de la sombra para las condiciones donde se desarrollo el estudio. Análisis similares fueron realizados por Muschelr (26), quien obtuvo que un aumento en el número de árboles de sombrío de laurel reduce la producción de café y este efecto negativo aumenta con la edad y tamaño de los árboles; de sus análisis de ecuaciones lineales simples pudo concluir que la pendiente de la línea aumentaba de $-2,3$ hasta $-19,8$ de los años 1985 a 1992 y que la inclinación de la pendiente en 1994 era similar a la de 1992; lo cual indicaba que el laurel había alcanzado el máximo efecto hacia los 8 años.

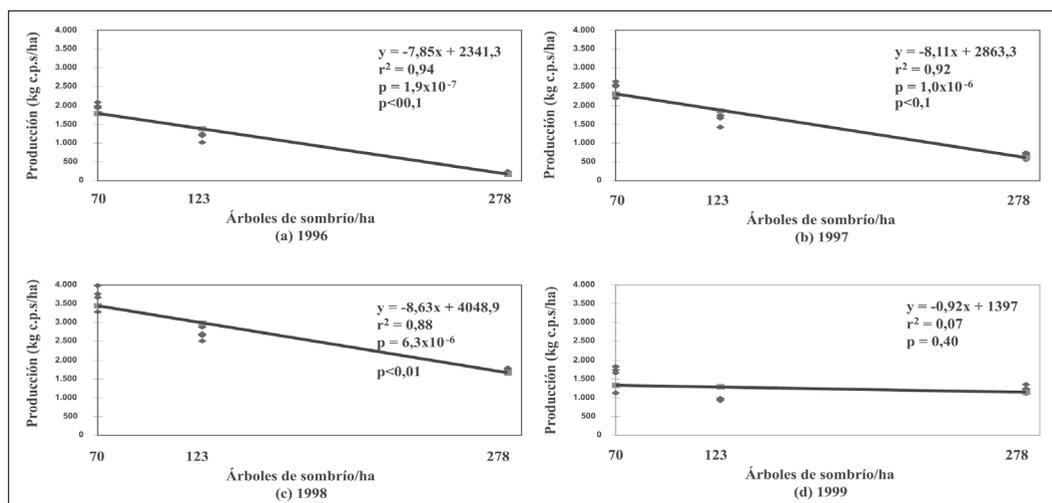


Figura 3. Producción anual del café en tres densidades de siembra de plantas de *Inga edulis* sp/ha. (a) 1996, (b) 1997, (c) 1998 y (d) 1999. Estación Central Naranjal, Chinchiná.

Respuesta del café a la fertilización (Producción). Los resultados de producción de café (kg de café pergamino seco/ha/año) entre los años 1996 a 1999 se presentan en la Tabla 4 y la Figura 4.

Subsistema 1: Sombrío a 6,0 x 6,0m. El análisis de varianza no mostró efecto de las dosis de fertilizante sobre la producción de café ($p > 0,05$). No obstante, para el número de repeticiones empleadas (cuatro) y asumiendo como diferencia mínima aceptable el 20% con respecto al promedio general en cada año evaluado (213,3; 669,4; 1.728,7 y 1.225,1 kg de café pergamino seco/ha), se ratifica que no hay efecto de las dosis de fertilizante bajo este grado de cobertura. Estos resultados sugieren que en zonas óptimas para la producción de café, es decir, aquellas con buena disponibilidad hídrica a través del año, en sistemas

agroforestales cuyo componente arbóreo sea establecido con 278 plantas de *Inga edulis* sp./ha, el café no responde a aplicaciones de fertilizante.

El análisis de la producción media por años en este subsistema indicó diferencias estadísticas entre ellos (letras minúsculas en la Tabla 4); entre 1996 y 1997 se presentó un incremento de la producción del 68,0%, de 1997 a 1998 el incremento en producción fue del 61,3% y se registró una reducción en la producción del 29,1% de 1998 a 1999, (Figura 4a) (línea continua). El aumento gradual de la producción es la respuesta del café a la disponibilidad de agua en el suelo, pues en los años 1995 a 1996 no se registraron deficiencias hídricas, (Figura 1); Arcila y Jaramillo (3), indican que las deficiencias hídricas tienden a favorecer la floración pero pueden perjudicar el desarrollo

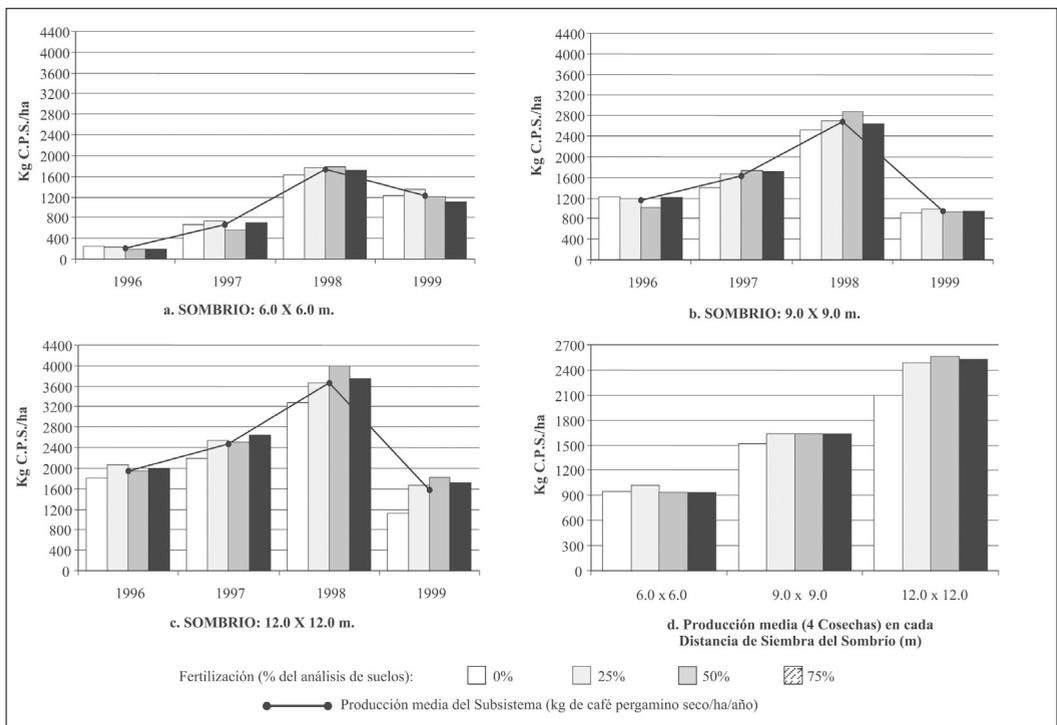


Figura 4. Producción en kilogramos de café pergamino seco/ha/año (kg cps), según niveles de fertilización y de sombrío. Estación Central Naranjal de Cenicafé, Chinchiná 1996 a 1999.

Tabla 4. Producción en kilogramos de café pergamino seco/ha/año (kg cps), según niveles de fertilización y de sombrero. Estación Central Naranjal de Cenicafé, Chinchiná 1996 a 1999.

FERILIZACIÓN	1996	1997	1998	1999	MEDIA*
Subsistema 1: Distancia de siembra del sombrero 6,0 m x 6,0 m					
0	248,0	673,8	1638,2	1235,5	948,9 a
25%	220,7	736,7	1770,1	1344,4	1018,0 a
50%	186,7	557,8	1780,7	1210,3	933,8 a
75%	197,8	709,4	1726,0	1110,2	935,8 a
Media	213,3 d	669,4 c	1728,7 a	1225,1 b	959,1 C
C. V. (%)	56,7	39,4	22,0	30,0	19,0
Subsistema 2: Distancia de siembra del sombrero 9,0 m x 9,0 m					
0	1228,8	1410,8	2515,6	913,1	1517,1 a
25%	1198,5	1667,6	2695,6	980,1	1635,5 a
50%	1015,5	1740,1	2873,3	929,8	1639,7 a
75%	1204,6	1714,9	2647,4	953,8	1630,2 a
Media	1161,8 bc	1633,4 b	2683,0 a	944,2 c	1605,6 B
C. V. (%)	36,0	30,7	27,7	20,8	26,5
Subsistema 3: Distancia de siembra del sombrero 12,0 m x 12,0 m					
0	1814,0	2186,1	3280,7	1126,5	2101,8 a
25%	2075,0	2546,8	3660,0	1666,7	2487,1 a
50%	1937,5	2504,2	3990,3	1818,6	2562,6 a
75%	1977,9	2641,3	3758,3	1725,1	2525,6 a
Media	1951,1 c	2469,6 b	3672,3 a	1584,2 c	2419,3 A
C. V. (%)	13,0	28,6	19,8	40,2	13,4

* Promedios seguidos por letras diferentes indican diferencia estadística, Tukey 5%

normal del fruto y que para el cultivo del café un IHS inferior a 0,6 durante 30 días continuos afecta la producción de nudos y de frutos. La reducción de la producción obtenida en 1999 puede atribuirse a dos factores: 1. al “fenómeno del niño” presentado entre julio de 1997 y enero de 1998 (Figura 1) (área sombreada) y 2. al nivel de sombreamiento máximo registrado en este año en el subsistema (Figura 3d).

Subsistema 2: Sombrero 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 ($p > 0,05$). De acuerdo al número de repeticiones empleados (cuatro) y asumiendo como diferencia mínima aceptable el 20% con respecto al promedio general en cada año evaluado (1.161,8; 1.633,4; 2.683,0 y 944,2kg de café pergamino seco/ha), se

confirma que no existe efecto de las dosis de fertilizante sobre la producción del café bajo este grado de cobertura. Igualmente, los resultados sugieren que en sistemas agroforestales con café, cuyo componente arbóreo se establezca con 123 árboles de *Inga edulis* sp./ha, el café no responde a aplicaciones con aumentos graduales en las dosis de fertilizante. El ISIC (20) y Njoroge *et al.* (25), registraron que en sistemas de cultivo de café bajo sombra no hay diferencias en producción por efecto de la fertilización.

El análisis de la producción media por años en el subsistema 2 y sus resultados se presentan en la Tabla 4; entre 1996 y 1997 hubo un incremento de la producción del 28,9%, de 1997 a 1998 el incremento en producción fue del 39,1%, y se registró una reducción en la producción

del 64,0% de 1998 a 1999 (Figura 4b). Igual que en el caso anterior, este comportamiento puede ser el resultado de las condiciones de deficiencia y disponibilidad hídrica registradas en todo el ciclo y al nivel máximo de sombreado alcanzado en 1999; por tanto, se aplican los mismos criterios discutidos en el subsistema 1 (sombrío a 6,0 x 6,0m).

Subsistema 3: Sombrío a 12,0 x 12,0m. El análisis de varianza indicó que no hubo efecto de las diferentes dosis de fertilizante sobre la producción de café ($p > 0,05$). En otro tipo de análisis y asumiendo una diferencia mínima aceptable del 20% con respecto a la media obtenida en cada año evaluado (1.951,1; 2.469,6; 3.672,3 y 1.584,2 kg de café pergamino seco/ha) y en las cuatro repeticiones que comprendió el estudio, los resultados ratificaron que en los años 1996, 1997 y 1998 no hubo efecto de los tratamientos sobre la producción de café. En 1999 se encontraron diferencias entre el testigo (0 fertilización) y los tratamientos que implicaron la aplicación de 25, 50 y 75% del fertilizante. Con el 25% del fertilizante se aumentó la producción en 32,4%, con el 50% de la dosis aumentó la producción en 38,1% y con el 75% del fertilizante se incrementó la producción en 34,7% al compararlos con el testigo (0 fertilización). Kiara y Naged (22), concluyeron que el café puede establecerse exitosamente bajo sombrío con la aplicación de bajas dosis de fertilizantes inorgánicos.

La producción media obtenida en el subsistema con el componente arbóreo establecido a 12,0 x 12,0m, tuvo un incremento del 21,0% del año 1996 a 1997; este aumento en producción fue del 32,5% en el año 1998; para el año 1999 hubo una reducción en la producción media del café del 56,7% comparada con la obtenida en 1998 (Figura 4c). El aumento y reducción de la producción son el resultado de los fenómenos presentados (disponibilidad de agua y deficiencias hídricas) planteados en el subsistema 1 (sombrío a 6,0 x 6,0m).

Comparación de la respuesta en producción de los tres subsistemas. Los análisis estadísticos realizados (Tukey al 5%) para comparar la media general obtenida en los subsistemas 1, 2 y 3, (959,1; 1.605,6 y 2.419,3kg de café pergamino seco/ha), evidenciaron que entre estas tres medias hay diferencia significativa (Tabla 4). La máxima producción de café se obtiene con el componente arbóreo (*Inga edulis* sp) plantado a 12,0 x 12,0m; la producción media obtenida bajo este nivel de sombreado fue 33,6% mayor comparada con la obtenida con el componente arbóreo a 9,0 x 9,0 y del 60% mayor frente a la registrada con esta misma especie plantada a 6,0 x 6,0m. La producción media de café bajo sombrío establecido a 9,0 x 9,0m fue 40% mayor que la obtenida con el sombrío plantado a 6,0 x 6,0m (Figura 4d). La reducción de la sombra conduce a los cafetos a una mejor utilización de los fertilizantes y a mayores rendimientos (19).

Distribución anual de la cosecha. La distribución anual de la cosecha en los tres subsistemas estudiados en el ciclo 1996 a 1999 se presenta en la Figura 5. En el subsistema 1 (sombrío a 6,0 x 6,0m) en los meses de enero a junio se concentra el 41% de la cosecha y en el período julio a diciembre el 59%. En el subsistema 2 (sombrío a 9,0 x 9,0m), en el primer semestre se concentra el 45% de la cosecha y en el segundo semestre el 55% y en el subsistema 3 (sombrío a 12,0 x 12,0m) en el período enero a junio se concentra el 35% de la cosecha y el 65% en el período julio diciembre. Uribe (31), obtuvo que en estos mismos períodos (enero-junio y julio-diciembre) se concentra el 20% y el 80% de la cosecha (café variedad Caturra a libre exposición) en la Estación Central Naranjal y Alvarado y Moreno (1), registraron para café variedad Colombia al sol concentraciones del 27,5% en el primer semestre y del 72,5% en el segundo; en la misma localidad.

Al comparar la distribución anual de la cosecha de dos sistemas de cultivo de café (bajo sombrío y a libre exposición) se obtiene

que bajo sombrío la cosecha se distribuye así, 40% en el primer semestre del año y 60% en el segundo; a libre exposición esta distribución es 24% y 76% en el primero y segundo semestres del año; lo cual permite inferir que en la zona central cafetera, el sombrío altera los patrones de distribución de la cosecha.

Los resultados aquí obtenidos pueden ser atribuibles a las diferentes características intrínsecas del sitio experimental (suelo, temperatura, precipitación, entre otros) y a las características propias de los subsistemas agroforestales evaluados como densidades de siembra de los árboles, desarrollo de los ár-

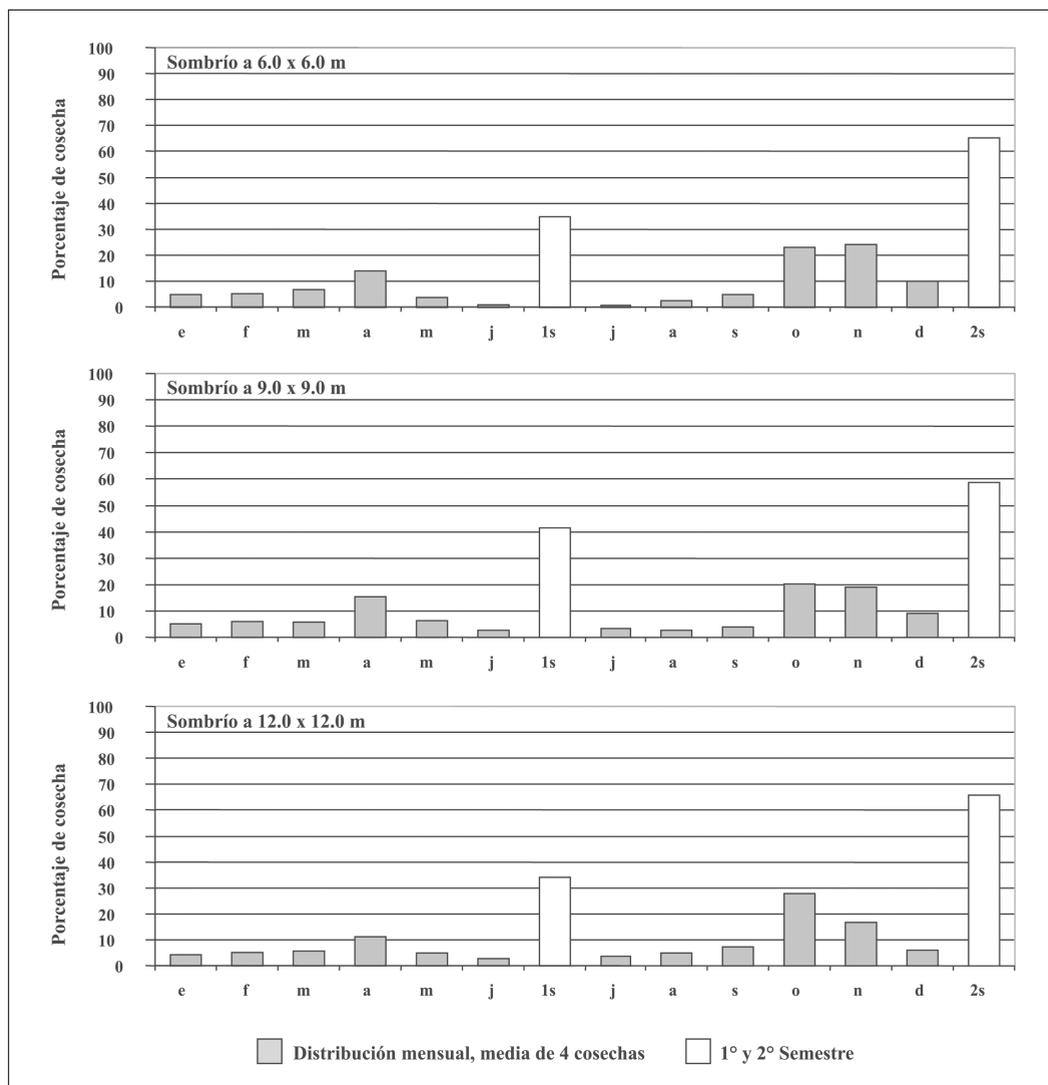


Figura 5. Distribución anual de la cosecha, bajo tres densidades de sombrío de *Inga edulis*, 1996 a 1999, en la Estación Central Naranjal de Cenicafé, Chinchiná.

boles de sombra, homogeneidad de la cobertura, etc. y se sugiere ser tenidos en cuenta solo para esta localidad.

En la zona centro del país, con la misma distancia de siembra del café y con sombrío de *Inga edulis* establecido a 6 x 6m (278 plantas/ha) y 9 x 9m (123 plantas/ha), no se encontró respuesta del café a las aplicaciones de dosis bajas o altas de fertilizante inorgánico. En el cultivo establecido con sombrío a 12 x 12m (70 plantas/ha), hay respuesta del café a aplicaciones del 25%; 50% y 75% del fertilizante, asumiendo una diferencia mínima del 20% de la media general registrada en 1999.

En sistemas agroforestales con café, la máxima producción, 2419,3kg de café pergamino seco/ha/año se obtuvo cuando el nivel de sombreado fue del 45% (sombrío establecido a 12 x 12 m).

Pasar de una distancia de siembra del sombrío de 6,0 x 6,0m a 9,0 x 9,0m significa aumentar la producción de café en 40% y ampliarla a una de 12,0 x 12,0m aumenta la producción en 60%. Pasar de una distancia de 9,0 x 9,0m a una de 12,0 x 12,0m significa aumentar la producción en un 33,6%

Se observó una relación lineal negativa entre la distancia de siembra del sombrío y la producción del café, es decir, si se disminuye el nivel de sombreado, aumenta la producción. En el cuarto año de establecido el componente arbóreo se debe hacer regulación del sombrío mediante podas que permitan menor interceptación de radiación y aumentar la producción.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Esther Cecilia Montoya R. Disciplina de Biometría. Al Dr. Jaime Arcila Pulgarín. Disciplina de Fitotecnica, y a los empleados de la Estación Central Naranjal de Cenicafé.

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. BEER, J.W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. Agroforestry Systems 5 (1): 3-13. 1987.
5. BEER, J.W.; MUSCHLER, R.G.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38: 139-164. 1998.
6. BELLOW, J. G.; NAIR, P.K.R. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial. Agroforestry systems. Agricultural and Forest Meteorology 114(3-4):197-211. 2003.
7. CARAMORI P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; BAGIO, A. Arborizacao do cafezal com *Grevillea robusta* no Norte do Estado do Parana. Coffee shade with de *Grevillea robusta* in the north of Parana state, Brazil. Arquivos de Biologia e Tecnologia 38(4): 1.031-1.037. 1995
8. CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA - CATIE. SAN JOSÉ COSTA RICA. Organización para estudios tropicales. OTS. Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. San José, CATIE, 1986. Falta paginacion
9. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Archivos climáticos de la Disciplina de Agroclimatología 1996 a 2000. Chinchiná, Cenicafé, 2000.
10. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Base de datos Flora, Cenicafé. On

line Internet. www.orton.ac.cr./flora/htm.
(Consultada 05.2003).

11. CIETTO, S.; HAAG, H.P.; DECHE, A.R. Acumulación de materia seca, absorción de N, P e K pelo caféiro *Coffea arabica* L. cv. Catuái com dois, três, quatro e cinco anos de idade, nas fases fenológicas de repouso, granación e maturación vegetando em um latossolo vermelho amarelo, fase cerrado. Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» 48 (1): 245-268. 1991.
12. FARFÁN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Desarrollo de una metodología para medir sombrión en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 54 (1): 24-34. 2003.
13. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual del cafetero colombiano. Bogotá, FNC, 1958. p. 200.
14. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe Final. Bogotá, FNC, 1997. p 50
15. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Caracterización agroecológica del ecotopo y de los lotes para análisis de producción. Ecotopo 402. Bogotá, FNC, 1996. FALTA PAGINACION.
16. GÓMEZ G., L.; JARAMILLO R., A. El clima de la zona cafetera colombiana y su relación con el cultivo del café. *In: 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.; ZUNIGA, 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. INSTITUTO SALVADOREÑO DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ- ISIC. SANTA TECLA. EL SALVADOR. Fertilizers do not reduce coffee bean recovery. *Coffee and Cacao Journal* 5 (4): 82. 1962.
20. INSTITUTO SALVADOREÑO DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ. ISIC. SANTA TECLA. EL SALVADOR. Algo sobre la fertilización. *Boletín Informativo del ISIC* 47:1-3. 1963.
21. JARAMILLO R., A. Climatología de región andina de Colombia; microclima y fenología del cultivo del café. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 172 p.
22. KIARA, J. M.; NAGED, T. F. Establishment of rust resistant arabica coffee cultivar under temporary shade and inorganic fertilizer regimes in Papua Nueva Guinea. *In: Colloque Scientifique International sur le café, 16* Kyoto, Avril 9-14, 1995. Paris, ASIC, 1995. p. 816-820.20.
23. MACHADO S., A. Rentabilidad del tratamiento de fertilizantes en un experimento con cafetos. *Cenicafé* 16 (1-4): 42-54. 1965.
24. MESTRE M., A. Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 231: 1-4. 1996.
25. NJOROGE, J.M.; MWAKHA, E.; KIMEMIA, J.M. Initial assessment of nitrogen rates and yield potential of Robusta coffee in Kenya. *Kenya Coffee* 54 (635): 677-683. 1989.
26. MUSCHLER R., G. Arboles en cafetales Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, CATIE, 2000. FALTA PAGINACION. (Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 5).
27. 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, CONCAFÉ-IICA, 1995. V. 2. p. v.
28. 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.
29. SIEBERT S.F. From shade- to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility. *Biodiversity and Conservation* 11 (11): 1889-1902. 2002.

30. TROJER, H. Influencia del transcurso del tiempo reinante sobre el cultivo del café en Chinchiná. Revista Cafetera de Colombia 12 (128): 4215-4227. 1956.
31. URIBE H., A. Distribución anual de la cosecha de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 63:1-7. 1977.
32. URIBE A., H.; QUICENO H., G. Comportamiento de algunas progenies de *Coffea arabica* L., bajo diferentes condiciones de sombrío y fertilización. Cenicafé 9 (5-6): 121-124. 1958.