

## Avances de Investigación

# Comportamiento vegetativo y productivo de *Coffea arabica* a pleno sol y en tres sistemas agroforestales en condiciones subóptimas en Costa Rica<sup>1</sup>

Jobert Angrand<sup>2</sup>; Philippe Vaast<sup>3</sup>; John Beer<sup>4</sup>; Tamara Benjamin<sup>4</sup>

**Palabras claves:** café; crecimiento; floración; fructificación; radiación fotosintéticamente activa.

### RESUMEN

En condiciones subóptimas en el sur de Costa Rica (640 msnm), el desarrollo vegetativo de *Coffea arabica* cv. Costa Rica 95 fue mayor en los sistemas agroforestales (SAF) con los maderables *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* que en asociación con el árbol leguminoso no maderable *Erythrina poeppigiana* o a pleno sol, debido a que los maderables amortiguaron mejor el microclima. La floración del café se adelantó y el número de flores por nudo productivo fue superior a pleno sol que bajo sombra. Sin embargo, el número final de cerezas por nudo productivo fue superior bajo *E. deglupta* y *T. ivorensis*, debido a que la caída de cerezas es mayor a pleno sol o bajo *E. poeppigiana* (36 y 28%, respectivamente) que bajo sombra de *E. deglupta* o *T. ivorensis* (15 y 16%, respectivamente). En los SAF, la distancia del café al árbol de sombra no afectó significativamente el desarrollo vegetativo, la floración ni la fructificación del café. Las bandolas superiores de los cafetos tuvieron mayor crecimiento, una floración temprana y más cerezas por nudo productivo. El incremento inicial en peso por cereza fue mayor a pleno sol, pero se observó una tendencia a un mayor peso final de las cerezas en los tres sistemas sombreados.

**Vegetative and productive behavior of *Coffea arabica* in full sun and in three agroforestry systems in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica**

**Key words:** Coffee; growth; flowering; fruiting; photosynthetically active radiation.

### ABSTRACT

In sub-optimal conditions in Southern Costa Rica (640 masl), vegetative growth of *Coffea arabica* cv. Costa Rica 95 was superior in agroforestry systems (AFS) with timber trees (*Eucalyptus deglupta* or *Terminalia ivorensis*) than under the leguminous tree *Erythrina poeppigiana* or in full sun, due to the microclimatic buffering effect of shade from timber trees. Coffee flowering occurred earlier and the number of flowers per productive node was higher in full sun than under shade, but the final number of fruits per productive node was superior under *E. deglupta* or *T. ivorensis*, due to higher fruit drop in full sun or under *E. poeppigiana* (36 and 28%, respectively), compared to fruit drop under *E. deglupta* or *T. ivorensis* (15 and 16%, respectively). In AFS, distance of coffee plants to the shade tree had no significant effect on vegetative growth, flowering and fruiting intensity of the coffee. Branches higher up in the coffee canopy had higher growth, earlier flowering and higher fruit number per node. A higher initial increase in individual fruit weight was observed in full sun but the evolution of fruit development suggested a higher final individual fruit weight in shaded systems.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) bien manejados son parte de la solución a la crisis actual de la rentabilidad del café (*Coffea* spp.), pues además de modificar positivamente el microambiente del cultivo y enriquecer el suelo en materia orgánica y nutrimentos (Beer et

al. 1998), pueden reducir los costos de producción y el uso de insumos agroquímicos, y proveer ingresos adicionales a la finca (Beer 1995, Somarriba 1999). Una sombra bien regulada puede reducir la incidencia de ciertas plagas, permitir una producción cafetalera

<sup>1</sup> Basado en Angrand, J.C. 2002. Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

<sup>2</sup> M.Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: angrandjobert@hotmail.com (autor para correspondencia).

<sup>3</sup> Profesor-investigador, CIRAD asociado a CATIE, Sede Central. Correo electrónico: pvaast@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: jbeer@catie.ac.cr; tamara@catie.ac.cr

estable y contribuir a una larga vida útil de la plantación (Staver *et al.* 2001, Vaast *et al.* 2002). Una sombra mal regulada puede resultar en una competencia excesiva entre los árboles y el café por nutrimentos, agua y radiación fotosintéticamente activa (Boyer 1968, Beer *et al.* 1998).

El funcionamiento fisiológico y las diferentes etapas fenológicas del café son influenciados por su ámbito de cultivo (Barradas y Fanjul 1986, Estivariz 1997, Siles y Vaast 2002). El presente trabajo comparó el desarrollo vegetativo, la floración y fructificación del café (*Coffea arabica*) a pleno sol y bajo tres especies de sombra en condiciones subóptimas de Costa Rica.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el 2002 en la finca Verde Vigor, ubicada a 30 km al sur de la ciudad de San Isidro del General, Pérez Zeledón, Costa Rica (9°15', 83°30'; 640 msnm; 3800 mm año<sup>-1</sup>; temperatura promedio anual de 26 °C). El suelo es un Ustoxic Palehumult con bajo pH (4,8 - 5,1) y baja fertilidad. Las mediciones se realizaron en el centro de parcelas experimentales (área total/parcela de 1152 m<sup>2</sup>; parcelas útiles de 432 m<sup>2</sup>) de *Coffea arabica* cv. Costa Rica 95, establecidas entre mayo y julio de 1998, en tres tipos de SAF: dos con las especies maderables *Eucalyptus deglupta* (eucalipto) o *Terminalia ivorensis* (terminalia) y uno con la leguminosa no maderable *Erythrina poeppigiana* (poró) (Kanten *et al.* 2004). Las parcelas de café a pleno sol (área total/parcela de 384 m<sup>2</sup>; parcelas útiles de 240 m<sup>2</sup>) se obtuvieron eliminando los árboles de *E. deglupta* en una parte de la plantación (febrero del 2000).

El café fue plantado a 2 x 1 m, con alta fertilización (200 kg N, 15 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 110 kg K<sub>2</sub>O, 70 kg MgO, 5 kg B<sub>2</sub>O, 50 kg S y 60 kg CaO ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) y un elevado uso de fungicidas y herbicidas. Los árboles maderables fueron plantados en las hileras del café a una distancia de 6 x 6 m, y *E. poeppigiana* a una distancia de 8 x 8 m.

El diseño experimental utilizado en el presente estudio consideró solamente tres bloques completos de los cuatro tratamientos; las mediciones se hicieron alrededor de dos árboles escogidos al azar en cada parcela. En los SAF, se estudiaron cafetos distribuidos de manera sistemática; dos cafetos para cada una de cinco distancias del árbol de sombra (0,5; 1,5; 2,1; 2,5 y 3,2 m), lo cual resultó en 12 cafetos por distancia al árbol en cada SAF (es decir, tres bloques x dos árboles x dos cafetos por distancia), 60 cafetos medidos por cada SAF (cinco

distancias) y un total de 180 cafetos por medir en los tres SAF. Para las tres parcelas a pleno sol, cada punto de medición (dos por parcela) tuvo 10 cafetos (en total, 60 cafetos medidos a pleno sol).

Se midió la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) bajo la copa de los árboles alrededor del medio día, con un ceptómetro (Line Quantum Sensor, LI-COR), a una altura de 1,8 m, la cual sobrepasó la altura de las plantas de café. En cada parcela útil, se realizó un total de 48 mediciones en un mismo día, a diferentes distancias entre cafetos y maderables, en febrero (estación seca), mayo (transición entre estación seca y lluviosa) y septiembre (estación lluviosa) del 2002. Antes y al final de cada medición en los SAF, se midió la RAFA a pleno sol.

Al inicio de este estudio (enero 2002), se caracterizaron los árboles en las parcelas útiles: altura total, diámetro del tallo a la altura del pecho (dap), y proyección de copa, para calcular el porcentaje de área de influencia del árbol. Se midió un total de 36 árboles de cada especie maderable y 12 árboles de la leguminosa.

También durante los meses de enero, mayo y septiembre del 2002, se evaluó la altura, la proyección de la copa y el diámetro al cuello del tronco de los cafetos. Se midió el crecimiento vegetativo, la floración y el desarrollo de los frutos de café de siete bandolas (subdivisiones de las ramas del cafeto), seleccionadas sistemáticamente en siete estratos dentro de la copa del cafeto; cada cuatro estratos (nudos) en el tronco principal a partir del nudo ocho (posición 1). Se calculó el área foliar por nudo de café según la fórmula utilizada por Siles y Vaast (2002), que establece que esta (*A*) es igual al producto del número de hojas presentes (*N*) por el largo (*L*) y el ancho (*I*) de una hoja por cada nudo y del factor de conversión 0,7007; es decir:

$$A = N * L * I * 0,7007$$

Además, se calculó el incremento en el área foliar de los cafetos entre la primera medición (enero) y la última (septiembre).

Diez días después de cada lluvia, se hizo el conteo de todas las flores abiertas en las bandolas seleccionadas (entre el 22 de enero y el 15 de marzo del 2002). El peso fresco y seco de las cerezas de café fue medido cada dos meses, de junio a septiembre, a partir de muestras compuestas de una misma distancia del árbol

de sombra, para medir el aumento del peso durante el ciclo de producción.

El análisis estadístico se realizó con los programas Statistica (V5 edición 1997) y SAS (Statistical Analysis System, V8), usando un nivel de significancia del 5% y una comparación de promedios con las pruebas de *F* de Duncan y de Newman-Keuls.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rápido desarrollo de *E. deglupta* y *T. ivorensis* (Cuadro 1) confirmó los resultados de los estudios de Kapp *et al.* (1997), Dupuy y Mille (1993) y Amhed (1989) sobre el gran potencial de estas especies en condiciones de buena disponibilidad de agua y de temperatura elevada. En comparación con los datos obtenidos el año anterior en el mismo experimento (Siles y Vaast 2002), hubo un incremento anual del 24% en altura para *E. deglupta* y de 10% para *T. ivorensis*. El incremento en la proyección de la copa fue de 35% para *E. deglupta* y 17% para *T. ivorensis*. Esta última especie ocupó más del 100% de su área por árbol; es decir, las ramas se traslapaban. Asimismo, se notó que *E. deglupta* ocupó más del 90% de su área por árbol. Debido a un espaciamiento más ancho y una poda anual fuerte, *E. poeppigiana* ocupó solamente un 42%. Sin un manejo adecuado, este nivel de desarrollo de los maderables implica una tenaz competencia con los cafetos por la luz y los nutrientes disponibles (Beer *et al.* 1998).

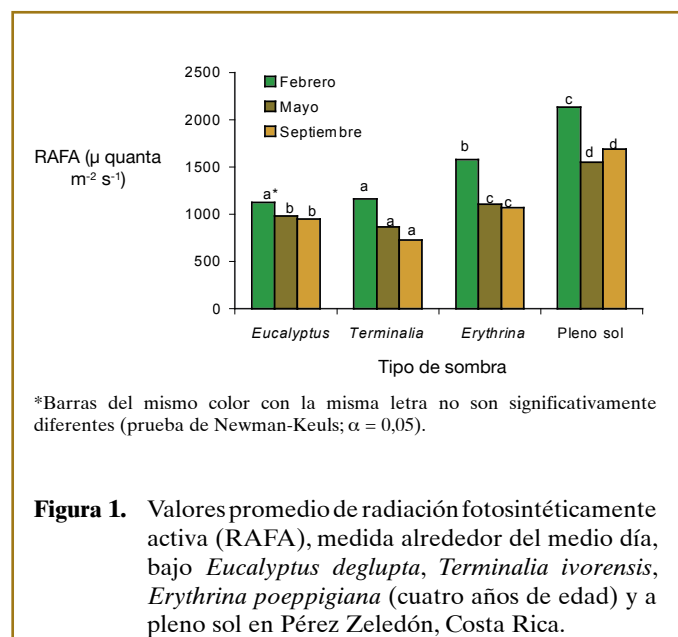
**Cuadro 1.** Desarrollo de los árboles de sombra (cuatro años de edad) asociados con café en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Dimensiones arbóreas	<i>Eucalyptus deglupta</i>	<i>Terminalia ivorensis</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i> <sup>(a)</sup>
Altura total (m)	9,7 b <sup>(y)</sup>	9,5 b	5,2 a
Dap (cm) <sup>(x)</sup>	11,3 a	16,8 b	18,3 b
Área proyectada de la copa (m <sup>2</sup> )	33 b	44 c	27 a
Área ocupada por árbol (% sombreada) <sup>(y)</sup>	91 b	122 c	42 a

<sup>(a)</sup> Podado una vez por año; <sup>(y)</sup> promedios con la(s) misma(s) letra(s) en la misma línea no son significativamente diferentes (prueba de Duncan;  $\alpha = 0,05$ ); <sup>(x)</sup> diámetro del tallo a la altura del pecho; <sup>(y)</sup> a 6 x 6 m, cada maderable tiene 36 m<sup>2</sup>, mientras que *E. poeppigiana* (8 x 8 m) tiene 64 m<sup>2</sup> por árbol.

En febrero hubo una mayor disponibilidad de RAFA en todos los sistemas, gracias a una menor nubosidad durante esta época, que por lo general es muy seca (Fig. 1). Además, los árboles de *T. ivorensis* y *E. deglupta*

presentaron menos hojas durante este período. Tras el inicio de la lluvia (finales de marzo), la RAFA bajo *T. ivorensis* fue menor en comparación con *E. deglupta* y *E. poeppigiana*, debido a que se inició un rebrote de follaje muy denso de esa especie. Entre los SAF, el nivel de RAFA más alto se registró bajo *E. poeppigiana*, por las podas anuales drásticas y los espaciamientos más anchos. *E. deglupta* proporcionó una sombra menos variable a lo largo del año, con una RAFA de 60% en la época lluviosa hasta 70% en la época seca. Muschler (2001) menciona que, en sitios subóptimos, una sombra con niveles intermedios (entre 40 y 80%) es lo más deseable y favorece la producción del café.



**Figura 1.** Valores promedio de radiación fotosintéticamente activa (RAFA), medida alrededor del medio día, bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis*, *Erythrina poeppigiana* (cuatro años de edad) y a pleno sol en Pérez Zeledón, Costa Rica.

El rango de RAFA registrada en los SAF varió entre 728  $\mu\text{mola quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$  bajo *T. ivorensis* en septiembre y 1578  $\mu\text{mola quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$  bajo *E. poeppigiana* en febrero. En general, se ha observado una caída importante de la asimilación neta de *C. arabica* a niveles de RAFA superiores a 800  $\mu\text{mola quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$  o temperaturas superiores a 27 °C (Kumar y Tieszen 1980). Cabe señalar que estas mediciones describen la situación del período del día con la radiación solar más alta, en comparación con lo registrado por Siles y Vaast (2002) al inicio y al final del día en el mismo ensayo durante el año anterior. Sin embargo, estas mediciones permiten analizar el papel de los árboles en la disminución de valores extremos de radiación incidente y temperatura (Boyer 1968, Beer *et al.* 1998).

Los mejores crecimientos en altura, largo no lignificado de bandolas, área foliar por bandola y diámetro al cuello

del tallo del cafeto fueron medidos en los SAF (Cuadro 2). Un área foliar máxima de 800 cm<sup>2</sup> por bandola se registró bajo *T. ivorensis*, siendo casi tres veces el valor a pleno sol. Con menos fluctuaciones de la RAFA y, por lo tanto, con un microambiente más regulado en el tiempo, las condiciones en SAF indujeron una mayor permanencia de hojas y un mayor desarrollo de los cafetos. Al contrario, el menor desarrollo vegetativo registrado a mayor exposición solar puede relacionarse con un mayor estrés de calor de estas plantas; por ejemplo, se registró una temperatura bastante alta (> 30 °C) en el microambiente de las hojas de café en las condiciones de Pérez Zeledón (Siles y Vaast 2002). Según Kumar y Tieszen (1980) y Rena *et al.* (1983), esta temperatura elevada influye negativamente sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del café a pleno sol. Un mejor amortiguamiento de los extremos de temperatura por parte de los árboles de sombra permite una mejor recuperación diaria de los cafetos en caso de estrés hídrico y calor. Lo anterior resulta en un aumento

de la asimilación neta total durante una gran parte del día (Siles y Vaast 2002), una larga permanencia de hojas (Boyer 1968), y un área foliar mayor por hoja (Aguilar 2000).

La floración comenzó al mismo tiempo en todos los tratamientos, pero fue más intensa en febrero a pleno sol (Cuadro 3). El número de flores por nudo productivo fue superior en plena exposición solar, como lo han reportado Boyer (1968), Cannell (1985) y Castillo y López (1966). No obstante, al inicio del período de maduración, el número de frutos por nudo productivo fue superior bajo *E. deglupta* y *T. ivorensis*, debido a que caen más frutos a plena exposición solar o bajo *E. poeppigiana* (36 y 28%, respectivamente) que bajo *E. deglupta* o *T. ivorensis* (15 y 16%, respectivamente). Además de la regulación del microambiente, la disponibilidad de nutrientes en estos sistemas puede contribuir a la mejor productividad (Beer *et al.* 1998).

**Cuadro 2.** Dimensiones de café (*Coffea arabica*) de cuatro años de edad en distintos tratamientos de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Dimensiones del café	Tipo de sombra			
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	<i>Terminalia ivorensis</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Pleno sol
Altura (cm)	180 b	187 c	172 a	171 a <sup>(2)</sup>
Diámetro al cuello del cafeto (mm)	29 b	31 c	29 b	27 a
Área de proyección de la copa (%)	70 c	74 d	67 b	62 a
Largo lignificado de bandola (cm)	39 c	38 c	29 b	25 a
Largo no lignificado de bandola (cm)	19 a	22 b	17 c	14 d
Área foliar por bandola (cm <sup>2</sup> )	638 c	800 d	533 b	296 a
Incremento de área foliar (cm <sup>2</sup> /8 meses)	292 c	368 d	236 b	136 a
Nudos totales por bandolas	21 a	20 a	21 a	21 a

<sup>(2)</sup> Promedios con la(s) misma(s) letra(s) en la misma línea no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls;  $\alpha = 0,05$ ).

**Cuadro 3.** Floración y producción de café (*Coffea arabica*) de cuatro años de edad en distintos tratamientos de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de producción del cafeto	Tipo de sombra			
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	<i>Terminalia ivorensis</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Pleno sol
Nudos productivos por bandola	9 b <sup>(2)</sup>	8 a	7 a	7 a
Floración 1 (8/02/02; % del total)	19 a	18 a	20 ab	25 b
Floración 2 (22/02/02; % del total)	78 a	80 a	76 a	72 a
Floración 3 (15/03/02; % del total)	3 a	3 a	4 ab	3 ab
Flores por nudo productivo <sup>(3)</sup>	10 a	10 a	10 a	11 b
Frutos por nudo productivo <sup>(4)</sup>	8 b	8 b	6 a	6 a
Caída de frutos (%) <sup>(5)</sup>	15 a	16 a	28 b	36 c

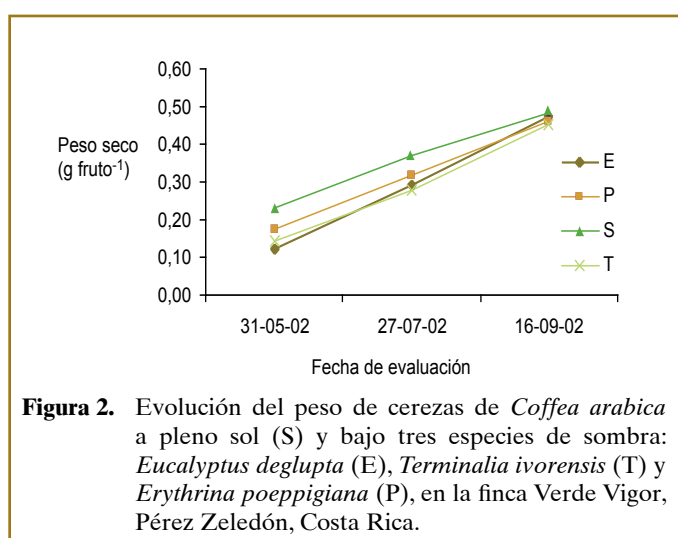
<sup>(2)</sup> Promedios con la(s) misma(s) letra(s) en la misma línea no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls;  $\alpha = 0,05$ ); <sup>(3)</sup> número total de flores al 25 de marzo (después de las tres floraciones); <sup>(4)</sup> número de frutos por nudo productivo 24 semanas después de la primera floración; <sup>(5)</sup> caída de frutos calculada 24 semanas después de la primera floración.

Una mayor distancia de los cafetos a los árboles de sombra no tuvo un efecto sobre el desarrollo vegetativo del cafeto. Sin embargo, Aguilar *et al.* (2001) encontraron un efecto negativo de la cercanía de los árboles de sombra en cafetos en la etapa de establecimiento (dos años de edad).

El número de flores y frutos por nudo productivo fue superior en bandolas más cercanas al ápice del cafeto (Cuadro 4; estratos 8, 12 y 16, es decir, posiciones 1, 2 y 3), consistente con los resultados de Boyer 1968, Jaramillo y Valencia 1980, y Cannell 1985, quienes han reportado un adelanto de la floración de las bandolas más expuestas en sistemas sombreados. Las bandolas que se encuentran en su primera o segunda producción son más productivas (Aguilar *et al.* 2001) que las más viejas y cercanas a la base del cafeto. Sin embargo, el desarrollo de ramificaciones secundarias y terciarias en estas bandolas inferiores permite mantener una productividad aceptable.

Los cafetos a pleno sol tuvieron un mayor peso por cereza 17 semanas después de la primera floración (Fig. 2); el incremento de peso de las cerezas de café en los SAF fue mayor entre las 17 y las 24 semanas. Según Wormer (1965), la cereza de café llega a su peso definitivo alrededor de 30 semanas después de la floración y necesita otras cuatro a cinco semanas para madurar. En el presente estudio, las mediciones cubrieron solo una parte del ciclo de crecimiento de las cerezas de café y

quizás por eso se encontraron mayores diferencias en el momento de la cosecha, como lo sugieren las curvas de evolución del peso. El adelanto de la floración y una maduración más temprana de las cerezas a pleno sol, debido a mayor exposición solar, han sido observados en otros estudios (Guyot *et al.* 1996, Vaast *et al.* 2002). Esta maduración adelantada puede afectar negativamente la calidad del café, no solamente en el tamaño y el peso definitivo de las cerezas, sino también en las características organolépticas del grano (Guyot *et al.* 1996, Muschler 2001). En el presente estudio, la distancia de los cafetos con respecto a los árboles asociados no influyó sobre el peso de las cerezas, resultado similar al de Estivariz (1997) bajo *Erythrina* spp.



**Figura 2.** Evolución del peso de cerezas de *Coffea arabica* a pleno sol (S) y bajo tres especies de sombra: *Eucalyptus deglupta* (E), *Terminalia ivorensis* (T) y *Erythrina poeppigiana* (P), en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

**Cuadro 4.** Crecimiento, floración y producción de bandolas de *Coffea arabica*, de cuatro años de edad, en función de su posición en la copa, en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de respuesta	Posición (estrato) de la bandola en la copa del café (ápice hacia base)						
	1	2	3	4	5	6	7
Largo lignificado de bandola (cm)	20 a <sup>(z)</sup>	30 b	36 c	38 cd	38 cd	39 cd	41 d
Largo no lignificado bandola (cm)	21 d	21 cd	21 cd	20 c	18 b	17 a	16 a
Área foliar de la bandola (cm <sup>2</sup> )	468 a	583 b	678 bc	630 bc	624 bc	719 c	741 c
Incremento en área foliar (cm <sup>2</sup> ; enero-septiembre)	215 a	267 b	311 bc	289 bc	283 bc	322 bc	333 c
Nudos totales (%)	11 a	14 b	19 c <sup>(z)</sup>	21 d	23 d	29 e	33 f
Nudos productivos (%)	5 a	7 b	8 c	9 c	8 c	9 c	9 c
Floración 1 (08/02/02; de la floración total)	33 b	21 ab	20 a	18 a	19 a	17 a	20 a
Floración 2 (22/02/02; de la floración total)	64 a	75 bc	76 bc	78 bc	77 bc	80 bc	78 b
Floración 3 (15/03/02; de la floración total)	3 a	4 ab	4 b	4 ab	4 ab	3 ab	3 a
Flores por nudo productivo (no.) <sup>(v)</sup>	12 c	11 b	10 b	9 a	9 a	9 a	8 a
Frutos por nudo productivo (no.) <sup>(x)</sup>	9 c	8 b	8 b	7 a	6 a	6 a	6 a
Caída de frutos (%) <sup>(w)</sup>	22 a	21 a	18 a	20 a	22 a	20 a	20 a

<sup>(z)</sup> Valores con la(s) misma(s) letra(s) en la misma línea no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls;  $\alpha=0,05$ ); <sup>(v)</sup> números totales de flores al 25 de marzo, después de las tres floraciones; <sup>(x)</sup> números de frutos por nudo productivo 24 semanas después de la primera floración; <sup>(w)</sup> caída de frutos calculada 24 semanas después de la primera floración.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La RAFA fue menos intensa bajo *T. ivorensis* en comparación con los demás SAF (*E. poeppigiana* y *E. deglupta*), y hubo menor fluctuación de RAFA durante el ciclo de producción bajo *E. deglupta*. Este fue asociado con un desarrollo vegetativo de los cafetos en los SAF con maderables superior que a pleno sol, lo cual influye de manera positiva sobre el próximo ciclo de producción del cafeto, al aumentar la disponibilidad de tejidos nuevos en la planta. Bajo *E. deglupta* hubo un mayor número de nudos productivos por bandola que bajo *T. ivorensis*, *E. poeppigiana* y pleno sol. La floración se adelantó en los cafetos y bandolas más expuestos a altos niveles de RAFA, y el número de flores promedio por nudo productivo fue mayor a pleno sol que en los SAF. Sin embargo, el número final de cerezas por nudo productivo fue mayor bajo *E. deglupta* y *T. ivorensis* que a pleno sol o bajo *E. poeppigiana*, debido a una menor tasa de caída de cerezas bajo los maderables. Hubo un incremento más temprano en el peso por cereza a pleno sol, pero la tendencia del desarrollo de cerezas sugiere un peso final por cereza más alto en los SAF.

Se concluye que en las condiciones subóptimas para *C. arabica* en la zona de este estudio, se puede recomendar la producción de café en SAF con maderables, ya que las condiciones climáticas permiten un buen desarrollo de los árboles y una productividad aceptable de café. Sin embargo, es aconsejable considerar raleos tempranos de los maderables

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al personal de la finca Verde Vigor por su apoyo en el manejo del experimento, y a la Comisión Europea por financiar parcialmente los equipos científicos a través del proyecto CASCA (ICA4-CT-2001-10071).

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilar, A. 2000. Evaluación de sistemas agroforestales con café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* e implicaciones metodológicas. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 73 p.
- Amhed, P. 1989. *Eucalyptus* in agroforestry: its effects on agricultural production and economics. *Agroforestry Systems* 8: 31-38.
- Barradas, V; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101-112.
- Beer, J. 1995. Efecto de los árboles de sombra sobre la sostenibilidad de un cafetal. *Promecafé* 68: 13-18.
- \_\_\_\_\_; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Boyer, J. 1968. Influence de l'ombrage artificiel sur la croissance végétative, la floraison et la fructification des caféiers Robusta. *Café Cacao Thé XII*: (4): 302- 319.
- Cannell, MGR. 1985. Physiology of the coffee crop. In Clifford, NM; Willson, KC. eds. *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Londres, UK, Croom, Helm. p. 108-134.
- Castillo, J; López, R. 1966. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. *CENICAFE* 17: 51-59.
- Dupuy, B; Mille, G. 1993. Timber plantations in the humid tropic of Africa. Roma, IT, FAO. 190 p. (FAO Forestry Paper 98).
- Estivariz Coca, J. 1997. Efecto de sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* var. Catura después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 73 p.
- Guyot, B; Gueule, D; Manez, JC; Perriot, JJ; Giron, J; Villain, L. 1996. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. *Plantation Recherche Développement* 272-283.
- Jaramillo, R; Valencia, A. 1980. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L. en Chinchiná, Colombia. *CENICAFE* 127-143.
- Kanten, R; Beer, J; Schroth, G; Vaast, P. 2004. Interacciones competitivas entre *Coffea arabica* y árboles maderables de rápido crecimiento en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41/42: 5-15.
- Kapp, GB; Beer, J; Lujan, R. 1997. Species and site selection for timber production on farm boundaries in the humid Atlantic lowlands of Costa Rica and Panama. *Agroforestry Systems* 35: 139-154.
- Kumar, D; Tieszen, LL. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*: effects of light and temperature. *Experimental Agriculture* 16(1): 13-19.
- Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51: 131-139.
- Rena, AB; Caldas, LS; Jonson, CE; Pereira, AA. 1983. Fotossíntese e o depauperamento de algunas progenies de café resistentes á ferrugem. In Poços de Caldas, MG. ed. *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras* (10, 1983, Brasil). Anais. Río de Janeiro, BR, IBC. p. 171-172.
- Siles Gutiérrez, P; Vaast, P. 2002. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o sin sombra. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36): 44-49.
- Somarriba, E. 1999. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. *Agroforestry Systems* 10: 253-263.
- Staver, C; Guharay, F; Monterosso, D; Muschler, RG. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53: 151-170.
- Vaast, Ph; Génard, M; Dauzat, J. 2002. Modeling the effects of fruit load, shade and plant water status on coffee berry growth and carbon partitioning at the branch level. In Dejong, TM. ed. *Proceedings of the Sixth International Symposium in Fruit Research and Orchard Management*. Acta Horticulturæ 584: 57-62.
- Wormer, TM. 1965. Some physiological problems of coffee cultivation in Kenya. *Kenyan Coffee* 6(2): 1-16.