

# Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o sin sombra<sup>1</sup>

Pablo Siles Gutiérrez<sup>2</sup> y Philippe Vaast<sup>3</sup>

**Palabras claves:** *Coffea arabica*; conductividad estomática; fotosíntesis; sistemas agroforestales; temperatura foliar.

## RESUMEN

El comportamiento fisiológico del café bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y a pleno sol fue estudiado en las épocas seca y lluviosa en condiciones sub-óptimas en el sur de Costa Rica. La humedad del suelo en la época seca fue menor bajo *T. ivorensis* comparado con café bajo *E. deglupta* o a pleno sol, probablemente debido a una alta transpiración de *T. ivorensis* por sus mayores tasas de conductividad estomática en las horas del mediodía y de la tarde. La temperatura foliar del café fue generalmente superior a 27°C (por arriba del óptimo). En la mañana, la temperatura de las hojas del café bajo *T. ivorensis* fueron 4°C menores que a pleno sol, mientras que al mediodía esta diferencia fue de 2,4°C (bajo *E. deglupta* las diferencias fueron de 1,9 y 1,5°C). La tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> de hojas de café mostró un patrón similar a pleno sol y bajo *E. deglupta*, ya que las máximas tasas se observaron en la mañana y disminuyeron a lo largo del día. Al contrario bajo *T. ivorensis*, las mayores tasas de asimilación de café se alcanzaron en las horas del mediodía debido a una Radiación Fotosintéticamente Activa (RAFA) baja. La conductividad estomática de hojas de café fue mas alta bajo *E. deglupta* que bajo *T. ivorensis* debido a una mayor RAFA y fue también mas alta que a pleno sol debido a menores temperaturas foliares. Estos resultados respaldan la decisión empírica de los agricultores de la zona en preferir *E. deglupta* en comparación a *T. ivorensis* como árbol maderable de sombra para café.

## INTRODUCCIÓN

El café tiene características de una planta de sombra; bajos puntos de compensación luz y daños causados al fotosistema II por altas radiaciones (Rena *et al* 1994; Kumar y Tieszen 1980). Sin embargo, el café es cultivado bajo diferentes condiciones ambientales y prácticas culturales. Los sistemas agroforestales de café ofrecen algunas ventajas con respecto a sistemas de café a pleno sol; los árboles de sombra reducen el estrés en las plantas de

**Physiological response of coffee associated with *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* or without shade.**

## ABSTRACT

The physiological response of coffee growing under *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* and full sun was studied during the dry and rainy seasons in sub-optimal conditions in the southern part of Costa Rica. During the dry season, soil humidity was lower under *T. ivorensis* compared with coffee below *E. deglupta* or without shade, probably due to high transpiration rates of *T. ivorensis* due to higher stomatal conductance at midday and in the afternoon. Coffee leaf temperatures were generally higher than 27°C (above optimal). In the morning, leaf temperatures of coffee under *T. ivorensis* were 4 °C lower than unshaded plants, while at noon this difference was 2.4 °C (under *E. deglupta* the differences were 1.9 and 1.5 °C). The rates of net CO<sub>2</sub> assimilation of coffee leaves under full sun and *E. deglupta* were similar; higher rates were observed in the morning and diminished during the day. In contrast, under *T. ivorensis*, the highest rates of coffee assimilation were reached only around noon due to low Photosynthetic Active Radiation (PAR). The stomatal conductance of coffee under *E. deglupta* was higher than that under *T. ivorensis* due to a higher PAR and it was also higher than in full sun due to lower foliar temperatures. These results support the empirical decision of coffee farmers in the zone of preferring *E. deglupta* vs. *T. ivorensis* as a timber shade tree for coffee.

café al moderar las condiciones climáticas adversas y los desbalances nutricionales. También mejoran la calidad del café (Willson 1985; Barradas y Fanjul 1986; Guyot *et al* 1996; Muschler 2001; Vaast *et al* 2002).

A pesar que el uso de árboles de sombra presenta ciertas ventajas para el café, esos árboles pueden competir por los recursos necesarios para el crecimiento como agua, luz

<sup>1</sup> Basado en Siles, P. 2001. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* y sin sombra. Tesis M Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

<sup>2</sup> M Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: psiles79@hotmail.com (autor para correspondencia)

<sup>3</sup> Profesor Investigador, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: pvaast@catie.ac.cr

y nutrientes (Beer 1987; Willey 1975). Por esas razones, los árboles pueden reducir el rendimiento del café en ambientes óptimos y especialmente cuando las densidades de árboles asociados es demasiado alta (Galloway y Beer 1997; Muschler 1999; Tavares *et al* 1999; Viera *et al* 1999).

La influencia de los árboles de sombra sobre el café depende mucho de las condiciones de suelo y clima en cada sitio, además de las características de las especies y su manejo. No todas las asociaciones de árboles con café presentan ventajas. Las zonas en que el uso de los árboles de sombra representa mayores ventajas son aquellas que están fuera de las zonas óptimas de crecimiento para el café. Por lo tanto, en este trabajo se midió en una zona sub-óptima para la producción de café, la influencia de árboles maderables de sombra sobre las características micro-climáticas y los procesos de fotosíntesis y conductividad estomática del café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló 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'O; 700 msnm; 3853 mm año<sup>-1</sup>). El suelo es un Ustoxic Palehumult con bajo pH (4,8 - 5,1) y baja fertilidad. Las mediciones se realizaron en un ensayo de *Coffea arabica* cv. Costa Rica 95, establecido entre mayo y julio de 1998, bajo sombra de dos especies arbóreas maderables: *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis*. A las parcelas con árboles se le adjuntaron parcelas a pleno sol al inicio del año 1999. El diseño utilizado fue bloques completos al azar, con tres tratamientos (sombras) y cuatro repeticiones. Cada parcela útil (432m<sup>2</sup>) estaba constituida por 12 árboles maderables y 216 plantas de café, con una línea de árboles como borde. Sin embargo, en este estudio se seleccionó un árbol maderable asociado con 18 plantas de café en cada parcela. El manejo del experimento siguió el manejo tradicional intensivo de la zona con una alta fertilización (200, 7, 92, 42, 1,5, 50 y 42 kg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> de N, P, K, Mg, B, S y B, respectivamente) y un alto uso de agroquímicos (funguicidas y herbicidas).

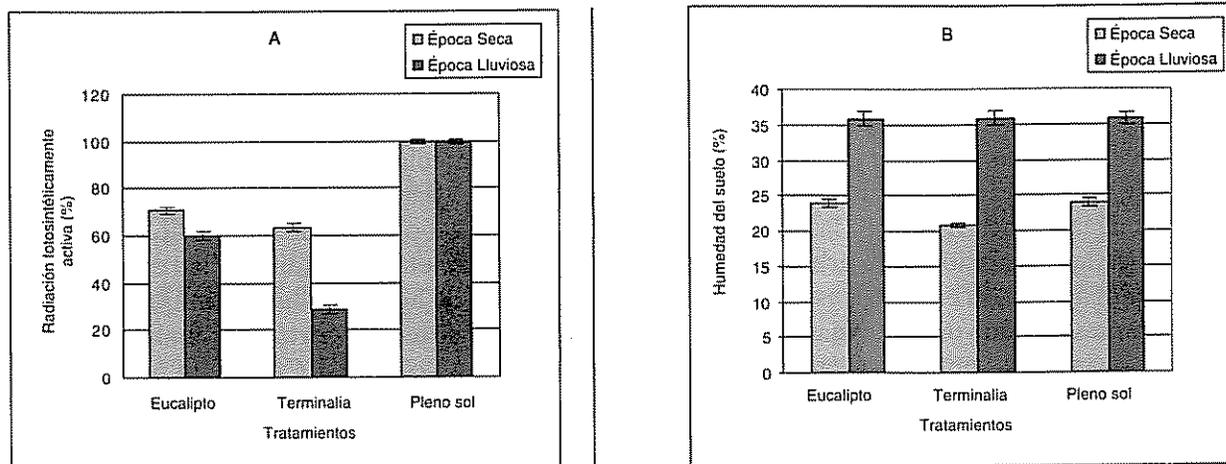
La radiación fotosintéticamente activa (RAFA) bajo la copa de los árboles se midió con un ceptómetro (Line Quantum Sensor, LI-COR), a una altura de 1,80 m, la cual sobrepasó la altura de las plantas de café. En cada parcela se realizó un total de 48 mediciones a diferentes distancias entre cafetos y maderables. Las mediciones fueron tomadas a mediodía durante las épocas seca (marzo) y lluviosa (agosto).

La humedad del suelo fue medida con una sonda TDR (Time Domain Reflectometry), lográndose lecturas directas de humedad a profundidades de 30 cm, donde se encuentra la mayor concentración de las raíces del café (Suárez 1953; Morales y Beer 1998).

En cada parcela se seleccionaron seis plantas de café a diferentes distancias del árbol (0,5; 2,0; y 3,2 m) para llevar a cabo las mediciones fisiológicas. La tasa de fotosíntesis neta, la conductividad estomática, la RAFA a nivel de hojas y la temperatura foliar fueron medidas con sistemas portátiles analizadores de gases (ADC-LCA3 o ADC-LCA4) y un porómetro difusivo (DeltaT-AP4). Las mediciones fueron realizadas a diferentes horarios del día (7:00 a 9:00; 11:00 a 13:00; 15:00 a 17:00) en diferentes meses del año (febrero, mayo y julio) durante periodos de 15 días. En la zona de estudio, febrero representa la época seca y del crecimiento lento de las partes vegetativas. En mayo se presenta el inicio de la época lluviosa y el brote de crecimiento vegetativo. Julio representa la época de una alta demanda de C por parte de los frutos de café en crecimiento, lo cual implica una competencia de C dentro de la planta entre los frutos y el tejido foliar en desarrollo. La conductividad estomática (gs) de las hojas de *E. deglupta* y *T. ivorensis* fue medida de la misma manera que para las hojas de los cafetos, pero solamente en la época seca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*T. ivorensis* disminuyó la RAFA disponible para el café hasta 63% respecto a pleno sol durante la época seca y a solamente 28% durante la época lluviosa, debido a que se presenta un rebrote de follaje muy denso en esta última época (Figura 1A). *E. deglupta* proporciona una sombra menos variable a lo largo del año con una RAFA de 60% durante la época lluviosa y 70% durante la época seca. Beer (1987) y Muschler (1999) mencionan que en sitios sub-óptimos una sombra con niveles intermedios (entre 40 a 80%) es lo más deseable y favorece la producción del café. *E. deglupta* es una especie apreciada por los agricultores debido a su rápido crecimiento y densidad de sombra adecuada relacionada a su bajo crecimiento lateral y poca densidad de follaje (Tavares *et al* 1999). Al contrario, bajo *T. ivorensis* los cambios abruptos a lo largo del año de RAFA disponible para el café (de 63 a 28%), pueden producir daños en el sistema fotosintético de los cafetos, ya que las plantas tienen que adaptarse a diferentes condiciones de sombra.

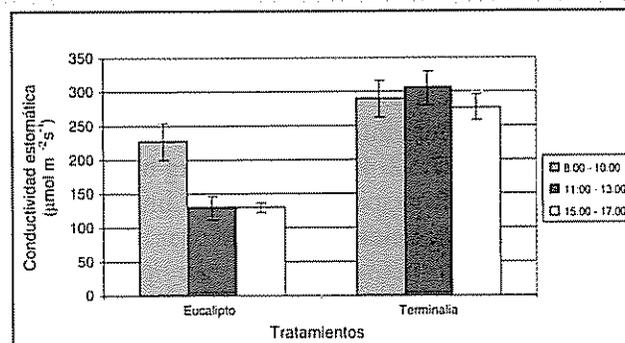


**Figura 1.** Porcentaje de RAFA proyectada a nivel de parcela y humedad del suelo a 30 cm de profundidad en la época seca y lluviosa, en cafetales bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y a pleno sol en la finca “Verde Vigor”, Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).

Los maderables no tuvieron efecto en la humedad del suelo durante la época lluviosa (Figura 1B). Al contrario en la época seca, la humedad del suelo bajo *T. ivorensis* fue menor que bajo *E. deglupta* y a pleno sol. Willey (1975) afirma que la competencia por agua en asociaciones de árboles y cultivos es controversial, ya que los árboles pueden disminuir la evaporación del suelo y transpiración del cultivo inferior al disminuir la insolación y diferencia de presión de vapor del aire, pero por otro lado, disminuye la disponibilidad del agua en el suelo por medio de la transpiración de su propio follaje. En este estudio, la reducción de la humedad del suelo bajo *T. ivorensis* puede ser debido a que esta especie presenta altas tasas de conductividad estomática a lo largo del día, especialmente a mediodía y en la tarde, en comparación con *E. deglupta* (Figura 2). Además, en este sitio *T. ivorensis* presenta más rápido crecimiento que *E. deglupta*; es decir, produce mucho más biomasa lo cual es otra indicación que puede ser más competitiva por los recursos incluyendo el agua.

La RAFA, a nivel de hojas de café a pleno sol, alcanzó un promedio de  $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  desde el inicio de la mañana y decreció marcadamente solo en las horas de la tarde hasta valores de  $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Figura 3A) debido a la nubosidad natural que se presenta en la zona a estas horas. En el café asociado con maderables se siguió el mismo patrón. Sin embargo, los valores máximos alcanzados al mediodía fueron  $480 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  bajo *E. deglupta* y  $380 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  bajo *T. ivorensis*. Además, el

promedio de RAFA bajo maderables en las horas de la tarde alcanzó solamente valores de  $120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Los valores presentados a pleno sol están por encima de los valores de RAFA saturante que se mencionan en la literatura como óptimos ( $600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para hojas de sol; Kumar y Tieszen 1976; Cannell 1985). De igual manera, en los sistemas agroforestales, los valores de RAFA al nivel de las plantas de café son, hasta el inicio de la tarde, por arriba de los valores de RAFA saturante óptimos ( $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) para hojas de sombra.



**Figura 2.** Variación diaria de la conductividad estomática en árboles de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* en la época seca en la finca “Verde Vigor”, Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).



Asociación agroforestal *Coffea arabica* (cv Costa Rica 95) y *Eucalyptus deglupta* en la zona sur de Costa Rica. Foto: P. Vaast

En las horas de la mañana, la temperatura foliar del café bajo *T. ivorensis* fue 4 °C menos que a pleno sol, mientras que al mediodía esta diferencia fue de 2,4 °C. Las reducciones de temperatura bajo *E. deglupta* fueron de 1,9 y 1,5 °C en las horas de la mañana y mediodía, respectivamente. Sin embargo, las temperaturas alcanzadas durante todas las horas son mayores de los 18 a 24°C mencionados como óptimos para la fotosíntesis de café (Kumar y Tieszen 1976); esto es una consecuencia de la baja altitud (700 msnm) de la plantación.

La tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> de hojas de café a pleno sol y bajo *E. deglupta*, alcanzó sus mayores valores en las horas de la mañana y se redujo durante el transcurso del día, mostrando en todos los horarios valores mayores con respecto a *T. ivorensis* (Figura 4A). En estas condiciones climáticas, se puede decir que el factor limitante para la fotosíntesis de café a pleno sol y bajo *E. deglupta* es la alta temperatura. Los promedios de asimilación neta de hojas de café bajo todos los sistemas presentes fueron menores que los valores reportados en la literatura que son entre 7 a 12 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Cannell 1985). Según Nunes *et al* (1968) y Kumar y Tieszen (1976 y 1980), a una temperatura superior a 24°C se presenta una caída drástica de la tasa de fotosíntesis en café. Bajo *T. ivorensis*, las mayores tasas de asimilación se alcanzaron en las horas del mediodía, indicando que la RAFA fue muy limitante para el cafeto bajo esta especie, especialmente en las horas de la tarde cuando las hojas de café presentaron una fotosíntesis neta negativa.

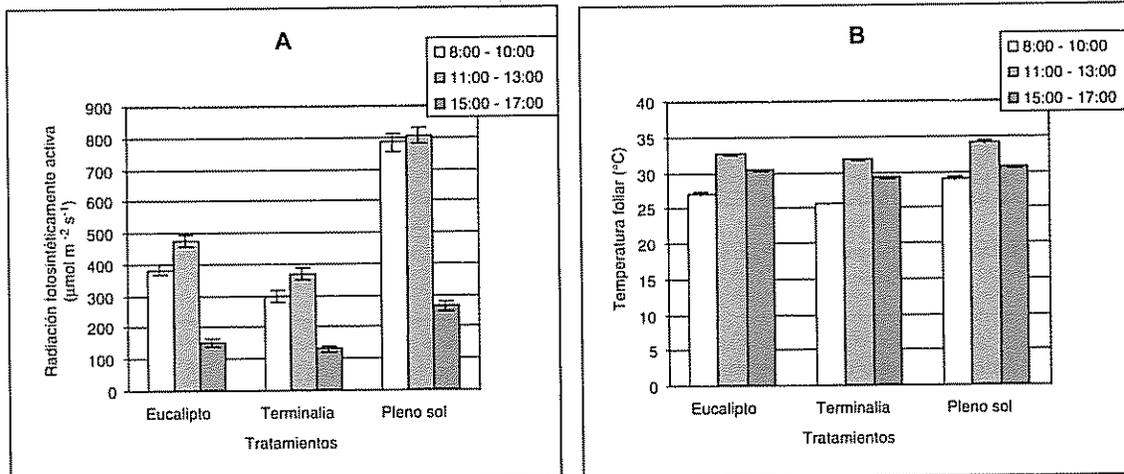


Figura 3. Variables microclimáticas de café (RAFA y temperatura foliar) bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o a pleno sol en diferentes horas del día en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).



Asociación agroforestal *Coffea arabica* (cv Costa Rica 95) y *Terminalia ivorensis* en la zona sur de Costa Rica Foto: P. Vaast

La conductividad estomática del café, en todos los sistemas, alcanzó sus mayores valores en las horas de la mañana (Figura 4B). Esta disminución de la conductividad estomática, asociada con un cierre estomático, se ha reportado por muchos autores y está asociado con una alta temperatura y alta diferencia de presión de vapor al nivel de hoja (Alvim y Havis 1953; Nutman 1937; Gutiérrez *et al* 1994). Bajo la sombra moderada de *E. deglupta*, las plantas de café tuvieron una mayor conductividad estomática que plantas a pleno sol y bajo *T. ivorensis*. Además, los valores de

conductividad estomática de cafetos al mediodía bajo *E. deglupta* fueron similares a los máximos valores que se observaron solamente en la mañana bajo *T. ivorensis* y a pleno sol. Aunque la conductividad estomática de las plantas de café bajo *T. ivorensis* fue mayor a la de plantas a pleno sol, la fotosíntesis fue mayor a pleno sol. Esas observaciones ilustran que existe una baja relación entre la conductividad estomática y la asimilación neta de CO<sub>2</sub> en hojas de café (Gutiérrez y Meinzer 1994).

### CONCLUSIONES

- En la época seca, la humedad del suelo en cafetales fue menor bajo *T. ivorensis* que bajo *E. deglupta* o a pleno sol, debido a una mayor transpiración de *T. ivorensis*. La sombra de los árboles disminuyeron la temperatura foliar de plantas de café en 2 a 4°C y la RAFA disponible para los cafetos hasta 30% (*T. ivorensis*) y 70% (*E. deglupta*). La asimilación neta fue mayor bajo *E. deglupta* y a pleno sol que bajo *T. ivorensis*, debido a valores de RAFA muy bajos a nivel de las hojas de café bajo *T. ivorensis*. Estos datos son consistentes con la decisión de la mayoría de los caficultores de la zona de preferir *E. deglupta* con respecto a *T. ivorensis* como árbol de sombra para café.

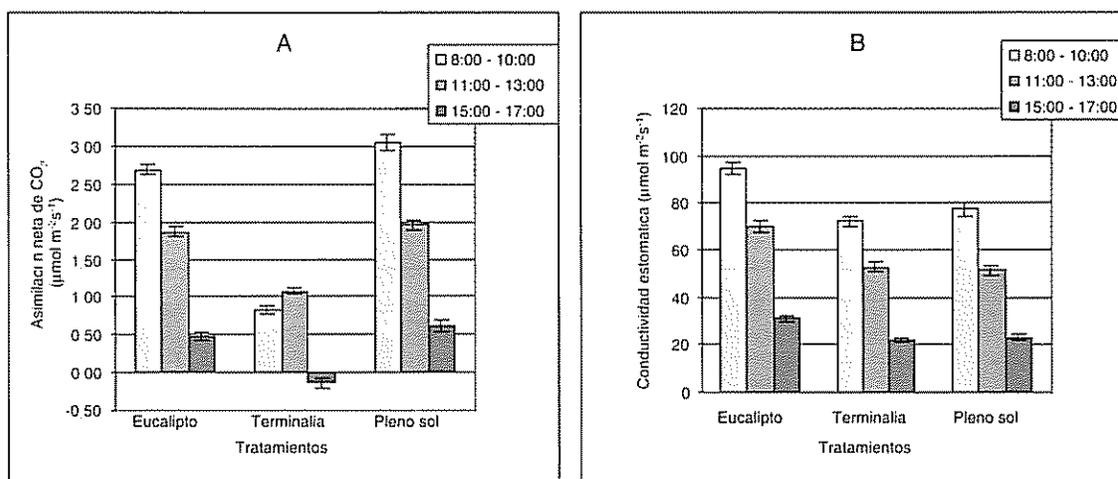


Figura 4. Variables fisiológicas de café (asimilación neta y conductividad estomática) afectadas por la interacción tipos de sombra (*Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o a pleno sol) y horas del día en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).

- En las condiciones sub-óptimas de este estudio, la presencia de maderables jóvenes fue benéfica para los cafetos en aliviar parcialmente las condiciones climáticas drásticas, especialmente en término de temperatura foliar. Sin embargo, no fue suficiente para permitir un buen funcionamiento fisiológico del café.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alvim, PT; Havis, JR. 1953. An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. *Plant Physiology* 29: 97-98
- Barradas, VL; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica*) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101-112.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea. *Agroforestry Systems* 5: 3-13
- Cannell, MGR. 1985. Physiology of the coffee crop. In Clifford, NM; Willson, KC eds. *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London, Croom Helm. p. 108-134
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 168 p. (Serie Generación y Transferencia de Tecnología no. 23)
- 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. *Plantations, Recherche, Développement* Juillet-Août 1996: 272-283.
- Gutiérrez, MV; Meinzer, FC; Grantz, DA. 1994. Regulation of transpiration in coffee hedgerows: covariation of environmental variables and apparent responses of stomata to wind and humidity. *Plant, Cell and Environment* 17: 1305-1313
- Gutiérrez, MV; Meinzer, FC. 1994. Carbon isotope discrimination and photosynthetic gas exchange in coffee hedgerows during canopy development. *Australian Journal of Plant Physiology*: 21: 207-219
- Kumar, D; Tieszen, LT. 1976. Some aspects of photosynthesis and related processes in *Coffea arabica*. *Kenya Coffee* 41 (486): 309-315.
- Kumar, D; Tieszen, LL. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture* 16: 13-19.
- Morales, E; Beer, J. Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucaliptus deglupta* en cafetales del Valle Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 5 (17-18): 44-48.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ. 139 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Muschler, RG. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51(2):131-139.
- Nunez, MA; Bierhuizen, FJ; Ploegman, C. 1968. Studies on productivity of coffee, 1. Effect of light, temperature and CO<sub>2</sub> on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica* 17 (2): 93-102
- Nutman, FJ. 1937. Studies of the physiology of *Coffea arabica*, 1. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Annals of Botany* 1(3): 354-367.
- Rena, AB; Barros, RS; Maestri, M; Söndahl, M. 1994. *Coffee*. In Shaffer, B; Andersen, PC eds. *Handbook of environmental physiology of fruits crops. v. 2, Sub-tropical and tropical crops*. CRC Press. p. 101-122
- Suárez Castro, F. Distribución de raíces de *Coffea arabica* L. en un suelo franco-limoso. *Boletín técnico federación nacional de cafetaleros*. Chinniná, Colombia 1(12):1-28
- Tavares, FC; Beer, J; Jiménez, F; Schroth, G; Fonseca, C. 1999. Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables en plantaciones de café. *Agroforestería en las Américas* 6 (23): 17-20.
- 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. *Acta Horticulturae* 584: 57-62.
- Viera, CJ; Köpsell, E; Beer, J; Lok, R; Calvo, G. 1999. Incentivos financieros para establecer y manejar árboles maderables en cafetales. *Agroforestería en las Américas* 6 (23): 21-23.
- Wiley, RW. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45 (12): 791-798.
- Willson, KC. 1985. Mineral nutrition and fertilizer needs. In Clifford, NM; Willson, KC (eds) *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London, Croom, Helm. p. 108-134.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los dueños y trabajadores de la finca Verde Vigor por su apoyo al manejar el ensayo. Además, los autores agradecen a la Comisión Europea por financiar parcialmente los equipos científicos a través del proyecto CASCA (ICA4-CT-2001-10071) y a los Dres. John Beer, Francisco Jiménez, Jean-Michel Harmand y Reinhold Muschler por sus comentarios y sugerencias.