

RENDIMIENTO DE CAFÉ (*Coffea arabica* cv Caturra), PRODUCCIÓN DE MADERA (*Cordia alliodora*) Y ANÁLISIS FINANCIERO DE PLANTACIONES CON DIFERENTES DENSIDADES DE SOMBRA EN COSTA RICA

Oscar Hernández G.¹
John Beer²
Henning von Platen³

Palabras clave: Agroforestería, árboles de sombra, *Coffea arabica* cv Caturra, *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana*, producción maderera, análisis financiero.

RESUMEN

Se presenta la producción de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera y análisis financiero bajo diferentes densidades de sombra (100, 200 y 300 *Cordia alliodora*/ha) y sin sombra. La producción por hectárea de café fue mayor a pleno sol, en gran parte debido a una mayor densidad del café; no así por planta, donde la producción a pleno sol y con 100 *C. alliodora*/ha fue similar. La producción de madera a los 10 años varió de 95 a 152 m³/ha para densidades de 107 y 348 *C. alliodora*/ha, respectivamente. En el análisis financiero el café presentó mejores y más estables indicadores financieros, bajo 100 *C. alliodora*/ha.

COFFEE (*Coffea arabica* cv Caturra) YIELDS, TIMBER (*Cordia alliodora*) PRODUCTION AND FINANCIAL ANALYSIS OF PLANTATIONS WITH DIFFERENT SHADE TREE DENSITIES IN COSTA RICA

ABSTRACT

Wood production, coffee (*Coffea arabica* cv Caturra) production and a financial analysis are presented for different shade tree densities (100, 200 and 300 *Cordia alliodora*/ha) and an unshaded plantation.

Coffee production per hectare was greater in unshaded conditions principally because coffee planting density was higher; production per plant in unshaded conditions and with 100 *C. alliodora* trees/ha was the same. Wood production at age 10 years varied from 95 - 152 m³/ha for *C. alliodora* densities of 107 and 348 trees /ha, respectively.

The financial analysis showed better and more stable financial indicators for the plantation with 100 *C. alliodora*/ha.

Las plantaciones de café (*Coffea* spp.) constituyen una de las formas de uso de la tierra más importantes en el trópico húmedo, debido al impacto que tienen en la economía de muchos países y a sus efectos, tanto positivos como negativos en el ambiente.

América Latina es el mayor productor de café (con más del 60% de la producción mundial) y en América Central el café es uno de los principales productos de exportación. A pesar que se pueden obtener producciones superiores con *Coffea arabica* sin sombra y con manejo intensivo, la mayoría de las plantaciones de América Latina están combinadas con árboles para obtener sombra. Se sabe que la densidad de sombra puede tener efecto en el rendimiento de *Coffea arabica*.

Existen muchos tipos de sombra que se utilizan según el tamaño de la finca, el cultivo de otros productos, las preferencias de los productores, el nivel tecnológico que requieren y la capacidad económica de cada caficultor. Las especies más comunes son leguminosas como inga (*Inga* spp.) y poró (*Erythrina poeppigiana*); frutales como cítricos (*Citrus* spp.) y banano (*Musa* spp.) y maderables como el laurel (*Cordia alliodora*) y el cedro (*Cedrela odorata*).

El sistema agroforestal café-poró-laurel es común en la zona "café del Atlántico, media altura" (600-900 msnm), en Costa Rica. Los árboles de *C. alliodora* forman un segundo estrato de sombra sobre el café y de los árboles de *Inga* spp. y de *E. poeppigiana*. La madera de *C. alliodora* tiene gran aceptación en el mercado y la plantación de varios árboles constituye una reserva financiera, cuando fallan los cultivos o se presentan otras eventualidades (von Platen, 1993).

En este sistema se han realizado investigacio-

¹ M.Sc en Agroforestería, San Salvador, El Salvador. E-mail: rhdez@med.ues.edu.sv

² Ph.D. en Agroforestería. Coordinador Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales del CATIE 7170 Turrialba, Costa Rica. E-mail: jbeer@catie.ac.cr

³ Ph.D. en Economía Agrícola. Consultor CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica. E-mail: hvonplaten@catie.ac.cr

nes sobre el control de erosión (Bermúdez, 1980), los niveles de productividad de *C. arabica* (González, 1980; Glover, 1981), y la producción de madera (Somarriba y Beer, 1986); sin embargo se desconoce cual es la densidad óptima y más rentable para la siembra de *C. alliodora* en asocio con *C. arabica*.

El presente estudio se realizó en Turrialba, Costa Rica y busca cuantificar el rendimiento de *C. arabica* bajo diferentes densidades de *C. alliodora*; la producción de madera de esta especie a diferentes densidades y la densidad óptima asociada a *C. arabica*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica; ubicado a una altitud de 600 msnm, una latitud de 9° 54' N y 83° 40' O, en la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Premontano (Holdridge, 1978). La temperatura media anual es de 21.5° C, la precipitación anual es de 2640 mm y la topografía es plana, con pendientes de 0 a 3%. Los suelos son derivados de ceniza volcánica y han sido clasificados como Typic Dystropept.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño sistemático de densidades de sombra sobre *C. arabica*. La parcela principal de *C. arabica* (100 x 50 m), fue establecida bajo diferentes densidades de sombra de *C. alliodora* y *E. poeppigiana*. Hubo dos parcelas a pleno sol, ubicadas a los lados sureste y suroeste. La densidad de *C. alliodora* aumentó en dirección sur-norte, de 107 a 348 árboles/ha; mientras que la densidad de *E. poeppigiana* aumentó en dirección oeste-este, variando de 129 a 258 árboles/ha. No se establecieron repeticiones.

Establecimiento y manejo del ensayo

C. arabica cv Caturra fue plantado (2 por posición) en junio de 1983, a una distancia de 1.67 m entre hileras y 0.83 m entre plantas (7215 plantas/ha) a pleno sol y bajo sombra a 1.67 m. entre hileras y 1.25 m entre plantas (4780 plantas/ha). Los árboles de *C. alliodora* (seudoestacas) y *E. poeppigiana* (estacones) fueron sembrados un año después. Se utilizaron prácticas agrícolas locales para el manejo de *C. arabica* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Manejo promedio de *Coffea arabica* bajo sombra de *Cordia alliodora* y *Erythrina poeppigiana*, en el período 1983-1994 (actividades anuales).

ACTIVIDAD	MES	AGROQUÍMICOS
Control de malezas (2-3 veces/año)	Enero/feb Abril/mayo Set./oct.	Paraquat Glifosfato
Fertilización (3 veces/año)	Enero Mayo/junio Set./oct.	Urea ¹ Fórmula completa ² Fórmula completa
Atomización (2-3 veces/año)	Febrero Mayo/junio Octubre	Fungicida ³ Mezcla ⁴ Mezcla
*Poda café (1 vez/año) *Deshija café (1 vez/año)	Enero/feb. Mayo/junio	Manual Manual (3-4 meses después de la poda)

¹ Nitrógeno 35%, 40 g/planta/año
² 20-7-12-3-1.2 (N, P₂O₅, K₂O, B₂O, Mg O) 40 g/planta/aplicación
³ Atemi[®] o Anvil[®] (Las cantidades variaron durante los 12 años.)
⁴ Atemi[®] o Anvil[®] + Abono foliar + adherente.
 *Actividades hechas a partir de 1988

VARIABLES ESTUDIADAS

La producción total por planta de *C. arabica* por año fue utilizada como variable de respuesta a las densidades de sombra de las dos especies de árboles utilizadas, por medio de análisis de regresión múltiple. Se efectuaron mediciones quincenales de junio a diciembre de cada año y se registró el peso fresco del grano (en gramos), el cual fue convertido a fanegas³.

³ Una fanega = 400 litros = aproximadamente 255 kg de café cereza fresco. Medida de volumen utilizada para pagar a los caficultores costarricenses, que se refiere a la cantidad de café cereza requerida para producir un saco (de 46 kg) de café oro.

Con base en las mediciones de altura total (h; m) y diámetro a la altura del pecho (dap; cm.) cada año (en diciembre) y por diez años consecutivos (de 1984 a 1994), se hicieron estimaciones a 10 y 20 años del volumen/árbol y del volumen/ha.

El análisis financiero se realizó para un período de 20 años, con diferentes densidades de *C. alliodora*, 0, 100, 200 y 300 árboles/ha, asumiendo precios constantes y una tasa de interés real del 6%. Se determinaron como indicadores el margen bruto, la tasa interna de retorno (TIR),

el ingreso por trabajo, el beneficio/costo (B/C) y se hizo un análisis de sensibilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de café

El efecto de la densidad de *E. poeppigiana* no fue significativo. La producción de *C. arabica* es afectada negativamente por la densidad de *C. alliodora*. Entre 1985-1994 la producción promedio fue de 72, 49, 40 y 32 fanegas/ha/año, para densidades de 0, 100, 200 y 300 *C. alliodora* por ha, respectivamente (Figura 1); mientras entre 1992 - 1994 fue de 74, 50, 37 y 26 fanegas/ha/año. La producción a pleno sol fue mayor que bajo sombra, en parte debido a una mayor densidad de café (7215 vs 4780 plantas/ha). Al comparar la producción por planta a pleno sol y bajo sombra, esta fue similar para 100 *C. alliodora*/ha (Figura 2).

El efecto negativo en la producción de café de una mayor densidad de *C. alliodora*, aumentó en 1992 - 1994 comparado con años anteriores. Un aumento de 100 árboles/ha de *C. alliodora* en el rango de 100 a 300 árboles/ha, provocó una disminución del 28% en la producción de *C. arabica* por hectárea.

El efecto negativo de la sombra de *C. alliodora* fue reportado por Detlefsen (1988), Beer (1992) y González (1980), en cafetales con sombra en Turrialba. Sin embargo, la producción bajo 100 *C. alliodora* árboles/ha es alta, comparada con la producción promedio de las fincas comerciales de Turrialba, las cuales producen en promedio, 30 fanegas/ha/año (Comunicación personal G. Ramírez, ICAFE-MAG).

La producción a pleno sol para el período (1992-94) fue de 18811 kg/ha/año, superior al encontrado por Detlefsen (1988) de 15573 kg/ha/año, en el mismo ensayo para el período 85-87, lo cual puede obedecer al hecho de que este investigador trabajó con las primeras cosechas de café, con plantas todavía jóvenes. Bajo sombra la producción para el mismo período fue de 9435 kg/ha/año, inferior al encontrado por Detlefsen de 12219 kg/ha/año, lo cual se debió

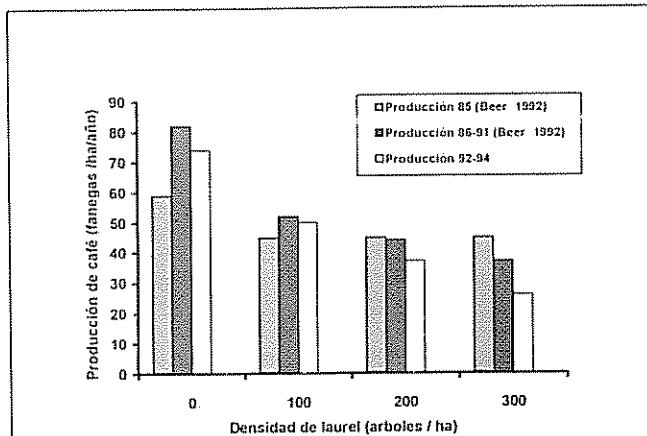


Figura 1. Producción promedio de *Coffea arabica* cv Caturra (fanegas/ha/año) bajo diferentes densidades de sombra de *Cordia alliodora*

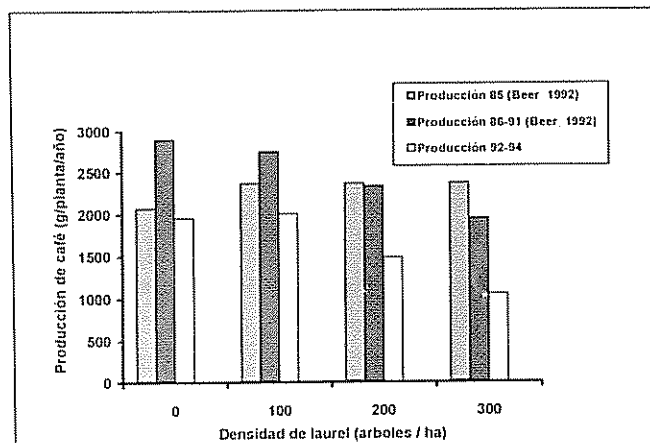


Figura 2. Efecto de las diferentes densidades de *Cordia alliodora* en la producción promedio de *Coffea arabica* cv Caturra (g/planta/año); peso fresco.

en gran parte a un aumento en el efecto negativo de la sombra de *C. alliodora*, debido a un aumento en su tamaño.

Basado en los resultados encontrados y tomando como criterio únicamente la productividad de *C. arabica*, una densidad de 100 árboles de *C. alliodora*/ha o menos, parece ser recomendable para asociar con café, hasta la edad de 10 años, para la zona de Turrialba. Esta relación puede cambiar en el transcurso del tiempo.

Producción de madera

Los incrementos para el período 1992-94 (7 a 10 años) fueron de 1.5 cm/año en dap y 1.5 m/año en altura, los cuales son menores a los encontrados en años anteriores (Cuadro 2). A los 10 años, el dap promedio fue de 31.5 cm, la altura de 18 m y el volumen total del tallo con corteza de 0.56 m³/árbol. La densidad de *C. alliodora* afectó el dap y el volumen, pero no la altura. Un aumento en la densidad de *C. alliodora* de 100 a 348 árboles/ha resultó en una reducción a los 10 años de dap (30%) y volumen (50%). Este efecto negativo en el dap a los 10 años de edad es mayor al reportado por Detlefsen (1988) a los cuatro años y Beer (1992) a los 7 años en este ensayo, debido a que aumentó más la competencia, con respecto a los años posteriores.

Las dimensiones a los 10 años coinciden con lo reportado por Somarriba y Beer (1986) y Heuveldop *et al.* (1985), siendo ligeramente superiores a los datos reportados por Barker (1991) y para plantaciones puras en Costa Rica (CATIE, 1994). Las dimensiones promedio

proyectadas a los 20 años resultó en un dap de 42 cm y una altura 29 m, cifras menores que las estimadas por Hudson (1984), similares a las reportadas por Vega (1977), pero mayor a las de Salas y Valencia (1979). Esta diferencia puede deberse a la calidad de sitio o a las condiciones ecológicas de cada lugar.

Cuadro 3 Volumen con corteza (m³/árbol), incremento medio anual (IMA; m³/ha/año) de *C. alliodora* a diferentes densidades a la edad de 10 años asociado con *C. arabica* cv Caturra y *E. poeppigiana*, en Turrialba, Costa Rica.

Densidad (arb./ha)	Volumen (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/año)
107	95	8.7
110	90	8.1
140	96	8.8
143	114	10.1
180	99	9.1
214	135	12.5
250	158	13.9
285	168	15.4
326	146	13.8
348	152	14.1
Promedio	125	11.5

La producción de madera a los 10 años fue de 95 y 152 m³/ha para densidades de 107 y 348 árboles/ha, respectivamente, lo cual significó un incremento del 62% cuando se aumentó la densidad en 225% (Cuadro 3).

El volumen promedio a 10 años fue de 125 m³/ha, mayor al reportado por Heuveldop *et al.* (1985) e igual al encontrado por Barker (1991). El IMA en volumen (11,5 m³/ha/año) coincide con lo reportado por González (1980), Barker

Cuadro 2. Incrementos periódicos y dimensiones promedio de *Cordia alliodora* a diferentes edades y asociado con *Coffea arabica*.

EDAD (años)	INCREMENTOS		DIMENSIONES		FINAL C/ PERÍODO v (m ³ /árbol)**
	dap* (cm)	h (m)	dap (cm)	h (m)	
0-3	5.0	2.0	15.0	6.0	0.03
3-7	3.0	2.0	27.0	14.0	0.30
7-10	1.5	1.5	31.5	18.5	0.56
10-20 ***	1.0	1.0	41.5	28.0	1.57

* dap = diámetro a la altura del pecho, h = altura total del tallo, v = volumen total.
 **Cálculo con fórmula de Somarriba y Beer (1986)
 *** Estimación con datos no publicados del Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ

Cuadro 4. Volumen de madera de *C. alliodora* a diferentes densidades en asocio con *Coffea arabica* cv Caturra y *E. poeppigiana* a la edad de 20 años.

Densidad	VT(m ³ /ha)	VC(m ³ /ha)	VC(PMT)
100	206	132	47684
200	342	219	79680
300	417	267	97880

VI= Volumen total del tallo
 VC = Volumen comercial (64% de VT)
 PMT = Pulgada maderera tica (1 m³=364 PMT)

(1991) y Beer (1992). A los 20 años, un aumento en la densidad de *C. alliodora* del 100 y 200% resultó en un aumento del 66 y 102% del volumen total/ha, respectivamente (Cuadro 4).

Análisis financiero

El margen bruto/ha y TIR son mayores sin *C. alliodora* y disminuyen conforme aumenta la densidad de éstos. Además, el análisis de sensibilidad mostró que al aumentar por separado los precios de los productos (madera y café) y los costos (mano de obra, insumos) en un 50%, el cultivo de *C. arabica* a pleno sol siempre ofrece ventajas en TIR y en el margen bruto sobre los sistemas con sombra, debido a la mayor densidad de la plantación (7215 vs 4780 planta/ha). En cuanto a la relación beneficio/costo, los

Cuadro 5. Indicadores financieros para el sistema agroforestal *Coffea arabica* cv Caturra con diferentes densidades de *Cordia alliodora* a los 20 años, en colonos de Costa Rica.

Densidad (arb./ha)	Margen bruto/ha (c)	TIR %	B/C	Ingreso jornal (c)
0	5274884	73.2	1.8	3104
100	4076927	66.3	2.2	3463
200	3499743	59.0	2.1	3718
300	2904050	51.1	2.0	3894

sistemas con sombra resultan en todos los casos ser mejores al aumentar el ingreso por trabajo, según se incrementa la densidad de *C. alliodora* (Cuadro 5). Por otro lado, una caída en los

precios del *C. arabica* de un 50%, constituye una desventaja del mismo a pleno sol, aspecto que refleja una mayor fragilidad de esta especie de presentarse estas condiciones. Para los grandes productores que disponen de capital y quieren maximizar ganancias, la mejor alternativa es *C. arabica* a pleno sol; mientras que para los pequeños productores con poco capital y disponibilidad de mano de obra familiar, los sistemas con sombra son la alternativa más recomendable.

Dentro de los sistemas con sombra, 100 árboles/ha resulta ser el mejor sistema para los indicadores TIR, relación B/C y margen bruto, a los cambios en insumos, mano de obra y productos. Un aumento del 50% en el precio de la madera no cambia la ventaja relativa del



Para los productores con limitada capacidad de inversión y disponibilidad de mano de obra familiar, los sistemas asociados con árboles maderables constituyen la mejor alternativa (Foto O Hernández)

sistema con 100 árboles/ha, excepto en ingreso por trabajo. Esto indica que la contribución por venta de madera (200 y 300 árboles/ha), no compensa el efecto negativo de aumentar la densidad de sombra.

CONCLUSIONES

La producción de *C. arabica* por unidad de superficie fue mayor a pleno sol que bajo sombra, en gran parte por la mayor densidad de café sembrada a pleno sol. Un aumento de 100

árboles/ha de *C. alliodora*, en densidades de 100 a 300 árboles/ha, provoca una disminución del 28% en la producción por hectárea.

Un aumento en la densidad de *C. alliodora* (de 100 a 348 árboles/ha) a los 10 años, tuvo un efecto negativo en el dap (30%) y en el volumen (50%) de éstos árboles, pero no en altura.

Sin tomar en cuenta posibles efectos negativos en el ambiente, para los grandes productores con capital el *C. arabica* a pleno sol resulta ser la mejor alternativa. En cambio, para los pequeños productores con limitada capacidad de inversión y disponibilidad de mano de obra familiar, los sistemas asociados con árboles constituyen la mejor alternativa. Además, la rentabilidad del cultivo de *C. arabica* a pleno sol es más sensible a una caída en los precios del café.

En los sistemas con sombra, un aumento de hasta 50% en el precio de la madera no cambia la ventaja relativa del sistema bajo 100 *C. alliodora*/ha. Esto indica que la contribución por venta de madera (200 y 300 árboles/ha), no compensa el efecto negativo que causa la mayor densidad de *C. alliodora* sobre la producción de *C. arabica*.

En fincas pequeñas tipo familiar, el uso de sombra resulta ser la mejor alternativa (con y sin variaciones en los costos y productos) y dentro de estas, 100 árboles/ha en asocio con café presenta el mejor comportamiento, desde el punto de vista productivo y financiero. ☺

RECONOCIMIENTOS

El apoyo técnico y financiero para la realización de este trabajo fue otorgado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y por la Deutsche Gesellschaft für

- ✦ BEER, J. 1992. Production and competitive effects of the shade trees *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in an agroforestry system with *Coffea arabica*. Ph. D. Thesis. Oxford, University of Oxford. 230 p.
- BERMÚDEZ, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentia superficial en el sistema de café (*Coffea arabica*), poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 74 p.
- CATIE. 1994. Laurel (*Cordia alliodora*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE Serie Técnica. Informe Técnico No. 239. 41 p.
- DETLEFSEN, E.G. 1988. Evaluación del rendimiento de *Coffea arabica* cv "Caturra" bajo diferentes densidades de siembra de *Cordia alliodora* y plantados en un diseño sistemático de espaciamiento. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 121 p.
- GLOVER, N. 1987. Rendimiento de café en una plantación de *Coffea arabica* cv Caturra, con sombra de *Erythrina poeppigiana* con y sin *Cordia alliodora*. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 35-52.
- GONZÁLEZ, L.E. 1980. Efecto de la asociación de laurel (*C. alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken) sobre producción de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 110 p.
- HEUVELDOP, J.; ALPÍZAR, L.; FASSBENDER, H. W.; ENRIQUEZ, G.; FOLSTER, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. II Producción agrícola, maderable y de residuos vegetales. Turrialba 35: 347-355.
- HOLDRIDGE, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- HUDSON, J.M. 1984. A note on *Cordia alliodora* in Vanuatu. Commonwealth Forestry Review (G.B.) 63 (3):181-183.
- SALAS, G. DE LAS; VALENCIA, J. 1979. Notas sobre la reforestación con *Cordia alliodora* (R. y Pav) Oken en dos zonas tropicales de bajura: Tumaco y Carare-Opon, Colombia. Bogotá, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. (Serie Técnica No. 10) 34 p.
- ✦ SOMARRIBA, E.; BEER, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. CATIE. Serie Técnica. Boletín Técnico no. 16. 23 p.
- VEGA, C.L. 1977. La silvicultura de *Cordia alliodora* (R & P Oken) como especie exótica en Surinam. Boletín Instituto Forestal Latinoamericano (Venezuela) No. 52:3-26.
- ✦ VON PLATEN, H. 1993. Evaluación económica de sistemas agroforestales de cacao con laurel y poró en Costa Rica. In: Sombras y cultivos asociados con cacao. Ed. W. Philips Mora. Turrialba, C.R., CATIE. p. 163-172. ☺

BIBLIOGRAFÍA

- BARKER, D. J. 1991. An economic analysis of farming coffee and trees at Turrialba, Costa Rica: comparing small farms with poró (*Erythrina poeppigiana*) only to those with both laurel (*Cordia alliodora*) and poró. Thesis. Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 130 p.