

MANEJO DE SOMBRAS DEL CACAO: CONSIDERACIONES ECOFISIOLÓGICAS PARA EXPERIMENTOS CON ARBOLES LEGUMINOSOS

Pekka Nygren*

COMPENDIO

Se presentan los resultados de un análisis teórico sobre el efecto que tienen sobre el sombrero del cacao (*Theobroma cacao* L.) el espaciamiento y las podas de los árboles asociados con éste. El análisis se basó en una revisión de literatura y en el uso de un modelo de simulación de la sombra de los árboles. El sol directo puede tener un efecto negativo sobre la productividad fotosintética del cacao, debido a la sensibilidad de esta especie a la fotoinhibición. Los árboles de sombra pueden ser importantes para evitar este problema. El manejo de la sombra mediante podas muy drásticas, causa intensos cambios en el régimen de radiación solar, los que pueden tener un efecto negativo sobre la productividad, debido al tiempo requerido por el cacao para la adaptación a las nuevas condiciones. Para evitar este estrés, se recomienda manejar las sombras con podas parciales. Las ideas presentadas con respecto al manejo de las sombras, deben ser constatadas con experimentos de campo, preferiblemente combinando los aspectos ecofisiológicos y agronómicos del manejo de la sombra y del cacao.

INTRODUCCION

Al igual que en cualquier otra asociación entre árboles y cultivos perennes, la combinación de cacao (*T. cacao* L.) con árboles, se da principalmente con el objeto de manejar el microambiente del cultivo y para diversificar la producción (ej. árboles maderables o frutales), (Beer 1987).

Los árboles leguminosos son utilizados, generalmente, para manejar el microambiente. Entre las ventajas que estas especies tienen para cumplir con este propósito están: fijación biológica del nitrógeno atmosférico, estructura de copa que forma una sombra deseable, estructura radicular que disminuye la competencia subterránea con el cultivo, crecimiento rápido, alta productividad de biomasa y facilidad de manejo (Budowski *et al.* 1984). Existen pocos estudios, sin embargo, que permitan cuantificar estos aportes, salvo aquellos en que se ha determinado la producción de biomasa.

* Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno, CATIE, Turrialba, C.R.

Se agradece al M. Sc. Wilbert Campos por los datos de las dimensiones de los árboles de *E. poeppigiana*, usados como sombra en los experimentos sobre sombrero del cacao en Talamanca, C.R.; y al M. Sc. Florent Maraux por los comentarios importantes al manuscrito.

El manejo del microambiente mediante el uso de árboles leguminosos se produce a través de podas periódicas de los árboles: práctica que es comúnmente empleada por los agricultores para evitar el sombrero excesivo y para suministrar abono verde al cultivo. Para dar recomendaciones acertadas con respecto a esta práctica, se debe estudiar su efecto sobre el microclima del cacaotal y la respuesta del cacao a los cambios microclimáticos.

En los estudios microclimáticos y en la investigación de cualquier problema de manejo en los sistemas agroforestales, los diseños experimentales tradicionalmente utilizados en ciencias agrícolas son difíciles de aplicar, debido al número elevado de tratamientos necesarios y al tamaño relativamente grande de las parcelas, requerido para controlar adecuadamente los efectos microclimáticos y periféricos (Huxley 1985, 1987; Vandermeer 1989.). Por esta razón, es esencial un análisis previo del problema que se desea investigar. En este tipo de análisis, la aplicación de modelos de simulación constituye una alternativa promisoría, ya que permite explorar rápidamente un gran número de diseños y seleccionar los mejores para ser comprobados en el campo (Vandermeer 1986, 1989).

El objetivo del presente trabajo es dar algunas ideas con respecto al diseño de experimentos relacionados con el manejo de sombras en cacao, utilizando árboles leguminosos. Se pretende, además, presentar un análisis inicial para la planificación de experimentos en el campo, mediante el uso de un modelo de simulación de los patrones de sombra de árboles en sistemas agroforestales y el conocimiento ecofisiológico del cacao, determinado en una revisión limitada de literatura. Más que dar respuestas definitivas al problema del manejo de sombras en cacao, se busca formular preguntas para la experimentación desde el punto de vista ecofisiológico.

REVISION DE LITERATURA

El cacao se considera, generalmente, como una especie tolerante a la sombra, por lo que su cultivo, tradicionalmente, se ha realizado bajo sombra. Entre las ventajas de los árboles de sombra se mencionan: protección del cacao contra el calor excesivo y el viento (Alvim 1977) y la pérdida excesiva de agua (Bonaparte 1967). También se ha observado que la necesidad de fertilizar es menor en los cacaotales con árboles que en los no sombreados (Alvim 1977). Se menciona que, para plantaciones jóvenes, la radiación solar óptima debe ser de un 50% (Raja Harun y Hardwick 1987a) o del 30% al 60% (Batista y Alvim 1981). La floración y la fructificación son significativamente más abundantes bajo una sombra "moderada" que a plena exposición (Boyer 1974). El cacao puede producir frutos con un 10% de la radiación solar no sombreada; y en condiciones de vivero las plántulas crecen cuando la radiación es solamente del 3% respecto de la no sombreada (Vernon 1967).

En el Cuadro 1 se resumen algunas respuestas fotosintéticas del cacao ante la densidad del flujo de fotones (*photon flux density*, PFD), las cuales fueron determinadas en condiciones de laboratorio por Raja Harun y Hardwick (1987a). El punto de saturación, es decir la PFD en que se alcanza la tasa máxima de asimilación de dióxido de carbono (A_m), es bastante bajo ($400 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la tasa de asimilación de CO_2 (A) es del 95% de la A_m todavía en la PFD ($200 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$). El punto de compensación, o sea, la PFD en que A es igual a la tasa de respiración, es solamente de $7 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Además, el cacao parece ser bastante sensible a la fotoinhibición.

Cuadro 1. Algunas respuestas fotosintéticas del cacao a la densidad del flujo de fotones (PFD), calculadas a partir de Raja Harun y Hardwick (1987).

Respuesta	PFD [=] molm-2s-1]		PFD/PDFm*
Punto de saturación		400	20%
A 95% de la Am**		200	10%
A 50% de la Am		55	3%
Punto de compensación		7	> 1%
Fotoinhibición después de la exposición de seis horas***	10%	250	12%
	30%	530	26%
	50%	800	40%
Fotoinhibición después de la exposición de dos horas	10%	530	26%
	20%	800	40%

NOTAS:

* Proporción de la PFD de la PFD del mediodía en los trópicos.

** Símbolos: A = Tasa de asimilación de CO₂; Am = Tasa máxima de asimilación de CO₂.

*** Fotoinhibición se expresa en el porcentaje de la reducción de la tasa de asimilación de CO₂ de su valor inicial bajo la misma PFD.

Este concepto se refiere a la disminución de A de su valor inicial bajo una exposición prolongada a una PFD alta, por la incapacidad de las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis para usar la energía solar absorbida (Hall y Rao 1988). Es especialmente notorio que la exposición prolongada (6 h) a la PFD de 250 molm-2s-1, valor inferior al punto de saturación, es suficiente para causar una disminución del 10% de la A, y la exposición a la PFD de 800 molm-2s-1 causa una reducción del 50% de la A (Raja Harun y Hardwick 1987a). En condiciones tropicales y en un día despejado, la PFD es de 800 molm-2s-1 o más durante ocho horas.

Los cambios de la temperatura ambiental en el rango de 20° C - 30° C, no afectaron la A en condiciones de laboratorio, pero la resistencia estomatal disminuyó al aumentar la temperatura de las hojas (Raja Harun y Hardwick 1987b). En el mismo estudio se observó que A no fue afectada por el déficit de presión de vapor del agua atmosférica (DPV) entre 0 y 10 mb (el último valor corresponde aproximadamente a la humedad relativa de 70% a 28° C), pero disminuyó intensamente cuando la DPV aumentó 10 mb. La tasa de transpiración se incrementó en función de la DPV entre 0 y 10 mb y, después, permaneció constante.

La distribución del área foliar en función de la profundidad del dosel y la atenuación de la PFD en plantaciones de cacao no sombreadas se presentan en la Figura 1 (Alvim 1977). La mayor parte del follaje se concentró entre 0.5 m y 1.25 m desde el nivel superior de la plantación. El índice del área foliar (IAF) total (5.35) era bastante alto. La atenuación de la PFD se describió aplicando la Ley de Beer acerca de la transmisión radiativa en un medio turbio (Alvim 1977; ver también Monsi y Saeki 1953; Nobel y Long 1987).

$$\ln(\text{PFD}_0/\text{PFD}_L) = \exp(-KL) \quad (1)$$

donde: PFD₀ es la PFD no sombreada,
L es el IAF acumulativo,
PFD_L es la PFD sombreada por L y
K es el coeficiente de transmisión del dosel.

El valor promedio del último parámetro fue de 0.57, indicando una transmitancia regular del dosel.

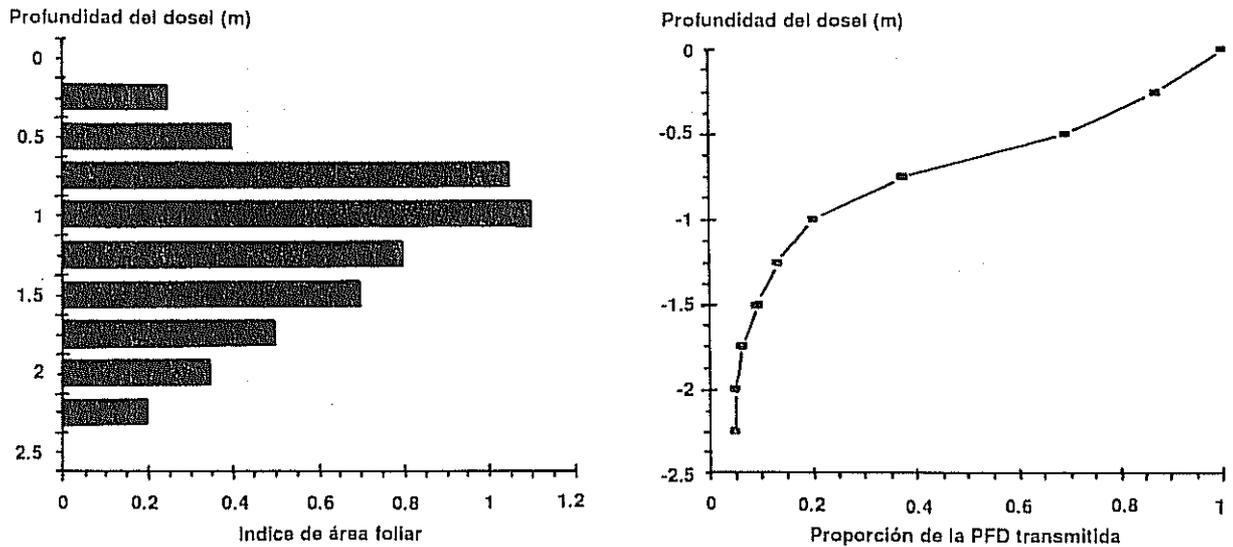


Fig. 1. Índice de área foliar (IAF) y de la proporción de la densidad del flujo de fotones (PFD), transmitida según Alvim (1977) para cacao cultivado sin sombra.

MATERIALES Y METODOS

Para el estudio de simulación se aplicó el programa Sib para los patrones de sombra de los árboles manejados con podas periódicas en sistemas agroforestales (Nygren 1990). El programa permite estimar la exposición de fotones ("photon exposure= PE") potencial durante un período definido por el usuario en un campo con sombra de árboles, cuando se conoce la ubicación de los árboles en el campo, las dimensiones y la forma de la copa, la altura del cultivo, la latitud del lugar y la transmitancia atmosférica para la radiación directa.

El término "potencial", en este caso, significa que no se toman en cuenta las condiciones locales de tiempo, sino que el cálculo se efectúa para condiciones de cielo despejado. Los resultados se presentan en forma de mapa de campo, dividido en cuadrículas de 50 cm x 50 cm, donde se indica la PE durante el período en cada cuadrícula. Los parámetros de la transmitancia de la copa de árboles, corresponden a *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. Sin embargo, cambiando estos parámetros, el programa se adaptaría a cualquier especie de árbol manejada con podas. Los detalles computarizados fueron presentados por Nygren (1990).

El programa fue comprobado en un sistema de cultivo en callejones de *E. poeppigiana* con frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). En estas condiciones, el programa presentó una sobreestimación de 4.9% con respecto a la PE medida, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa (Nygren 1990).

Las simulaciones de este estudio se efectuaron para sistemas de cacao con *E. poeppigiana*, establecidas bajo las condiciones de Turrialba, Costa Rica (9° 53' N, 83° 39' W, 600 msnm, transmitancia atmosférica de 0.748). Se simuló el desarrollo de la PE durante 28 semanas después de una poda completa de los árboles, efectuada el 1 de noviembre de 1990. Se estudió la situación en tres diferentes arreglos espaciales de *E. poeppigiana*: 3 m x 3 m, 6 m x 6 m y 12 m x 12 metros. El desarrollo supuesto de las dimensiones de los árboles se presenta en la Figura 2. Se usaron las mismas dimensiones para los espaciamientos de 6 m x 6 m y 12 m x 12 m, y para el espaciamiento de 3 m x 3 m se aplicó dimensiones de árboles de menor tamaño. La distancia del cacao fue de 3 m en todas las simulaciones.

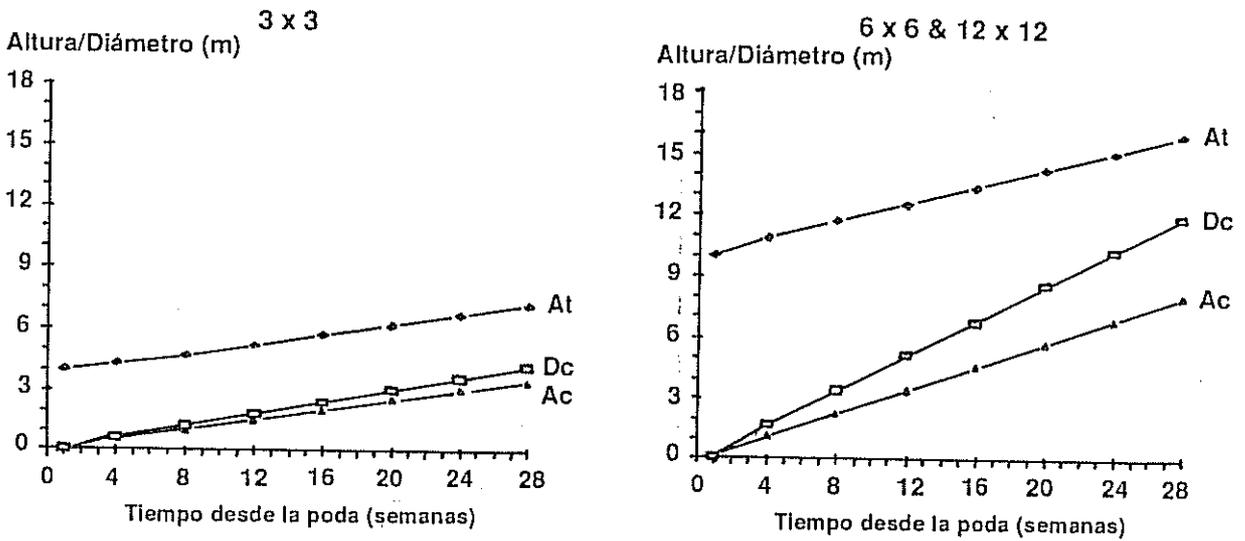


Fig. 2. Desarrollo de la altura total (At), altura de copa (Ac) y diámetro de copa (Dc) de los árboles de *E. poeppigiana* usados en las simulaciones de la exposición de fotones (PE).

En la segunda fase del estudio se contempló la posibilidad de manejar la sombra únicamente mediante podas parciales. Para este fin se determinó primero el grado de sombra adecuado, utilizando el conocimiento acerca de la respuesta fotosintética del cacao al PFD. Después se fijó el IAF requerido para mantener el grado de sombra bajo el dosel de los árboles en este nivel deseado, aplicando la ecuación (1) para árboles con diferentes hábitos de crecimiento.

RESULTADOS

Efecto del arreglo espacial y las podas de *E. poeppigiana* sobre el sombrío del cacao

Se simuló la PE diaria 4, 12, 20 y 28 semanas después de la poda. Para comparar los resultados en diferentes épocas y espaciamientos, las cuadrículas de simulación, cuyo número total fue de 729 para cada caso, fueron clasificadas en cinco clases de PE, a saber: PE menor de 12% de la PE no sombreada; PE 12.1% - 25%; 25.1% - 50%; 50.1% - 75% y 75.1% - 100 por ciento. Las tres primeras clases corresponden a regímenes de radiación solar que permiten la razón A/Am menor que 85%, 85% - 95% y 95% - 100%, respectivamente, mientras en las dos últimas clases el efecto de fotoinhibición

puede bajar la razón A/Am a 70% y a 50%, respectivamente, según lo estimado de los datos presentados por Raja Harun y Hardwick (1987a). Puesto que en ninguno de los casos simulados, ninguna de las cuadrículas fue expuesta a PE menor que el 6% de la PE no sombreada, la PE en las cuadrículas de la primera clase (< 12%), en realidad, es suficiente para una A de 50% - 85% de la Am. Las distribuciones proporcionales se presentan en la Figura 3.

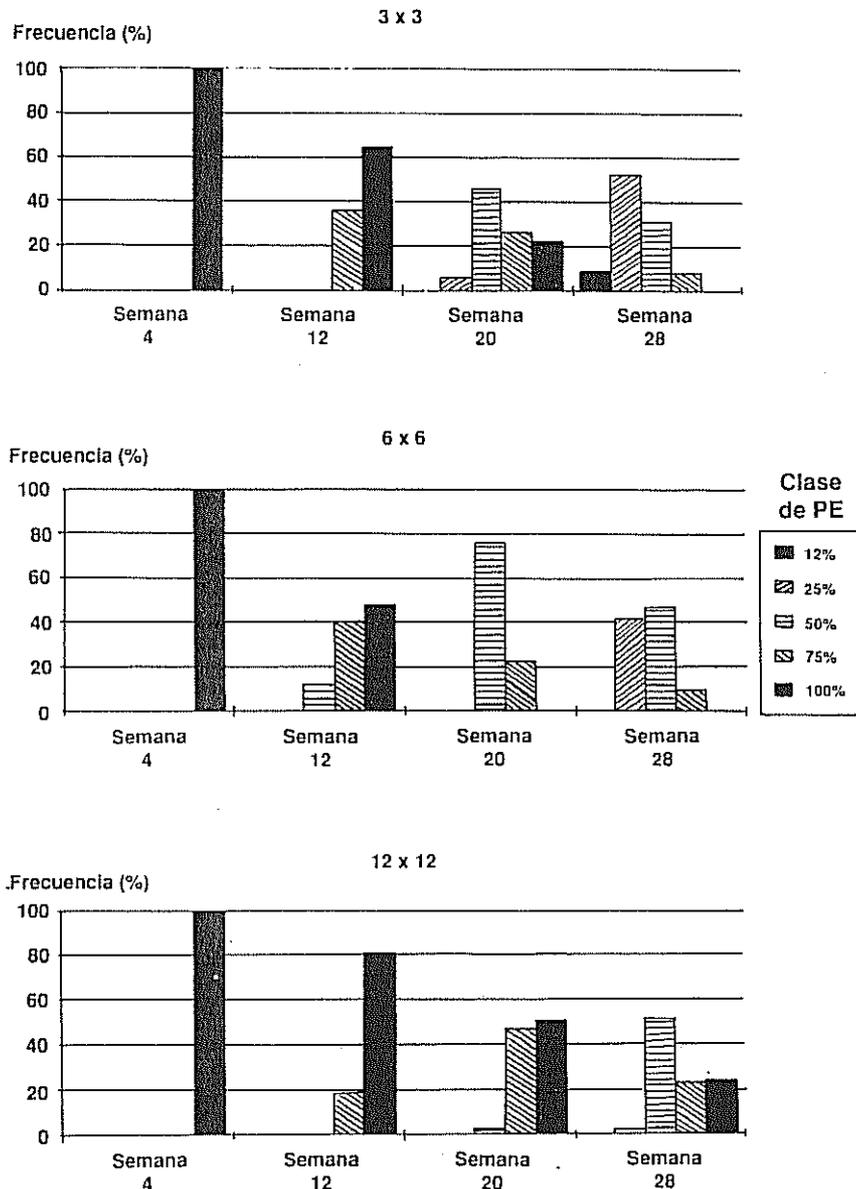


Fig. 3. Distribución proporcional de las cuadrículas de simulación a las clases de exposición de fotones (PE), 4, 12, 20 y 28 semanas después de una poda completa, bajo diferentes espaciamentos del árbol de sombra *E. poeppigiana*. Las clases de PE se expresan en porcentaje de la PE sobre el cacao de la PE no sombreada.

Cuatro semanas después de la poda, todas las cuadrículas fueron expuestas a la radiación solar casi no sombreada, y a las 12 semanas más de la mitad de las cuadrículas se encontraba todavía en esta clase. A las 20 semanas, la mayoría de las cuadrículas en el espaciamiento 12 m x 12 m se encontraban todavía en las dos clases de mayor PE (> 50%); en 3 m x 3 m su proporción era de la mitad, mientras que en 6 m x 6 m la mayor parte de las cuadrículas se encontraban en las clases de PE del 50% o menor de la PE no sombreada. A las 28 semanas, la mayoría de las cuadrículas en el espaciamiento de 3 m x 3 m se hallaban en las clases de PE 25% o menor, mientras que en 6 m x 6 m casi todas las cuadrículas se clasificaron en las clases de 12.1% - 25% y 25.1% - 50% de PE, en proporciones aproximadamente iguales. Un poco más de la mitad de las cuadrículas en el 12 m x 12 m se situaba en la clase de 25.1% - 50%, y el resto todavía estaba expuesta a una PE mayor que el 50% de la no sombreada.

Índice de área foliar para maximizar la fotosíntesis

En la segunda parte del estudio se estimó la distribución vertical de la razón A/Am en un dosel de cacao con diferentes valores de la PFD no sombreada; se aplicaron los datos de Alvim (1977) sobre la distribución vertical del IAF y la atenuación de la PFD, y los de Raja Harun y Hardwick (1987a) sobre la respuesta de la A a la PFD, resumidos en la revisión de literatura. Se calculó la PFD a diferentes profundidades del dosel, usando cuatro diferentes valores de la PFD sobre el cacao, a saber: 500, 1000, 1500 y 2000 molm⁻²s⁻¹. Los resultados se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Atenuación de la densidad del flujo de fotones (PFD) y de la tasa proporcional de la asimilación de CO₂ (A/Am) en función de la profundidad del dosel de cacao, con diferentes valores de la PFD incidente.

Profundidad*	PFD**	A/Am***	PFD	A/Am	PFD	A/Am	PFD	A/Am
0	2 000	50	1 500	50	1 000	50	500	75
0.25	1 734	50	1 301	50	867	50	434	100
0.50	1 381	50	1 036	50	690	55	345	100
0.75	759	50	569	71	379	100	190	96
1.00	405	100	304	98	203	95	101	83
1.25	257	98	193	95	128	91	64	63
1.50	172	94	129	91	86	78	43	46
1.75	130	91	97	83	65	63	32	31
2.00	106	85	80	72	53	52	27	28
2.25	95	83	71	67	47	48	24	22
A/Am del dosel		72	74		77		79	

NOTAS:

- * metros
- ** $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
- *** porcentaje

De observación del Cuadro 2 se desprende que la razón A/Am de todo el dosel de cacao es mayor cuando la PFD que entra al dosel es de 500 molm⁻²s⁻¹ a 1000 molm⁻²s⁻¹. Eso se debe a que si la PFD que entra al dosel es mayor, entonces la parte superior del mismo, que tiene el mayor IAF, sufre del efecto de la fotoinhibición.

Cuadro 3. Índice de área foliar requerido para alterar la densidad del flujo de fotones (PFD) sobre cacao al nivel deseado, con árboles de sombra con diferentes hábitos de ramificación.

Hábito de ramificación	Coeficiente de transmisión	PFD deseado [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]			Ejemplo de especie
		1 500	1 000	500	
Vertical	0.40	0.7	1.7	3.5	<i>Gliricidia sepium</i>
Intermedio	0.65	n.f.	1.1	2.1	<i>Inga spp.</i>
Horizontal	0.90	n.f.	0.8	1.5	<i>Erythrina spp.</i>

n.f. = no es factible usar un IAF tan bajo.

Con base en el análisis de la razón A/Am del dosel entero, se determinó que un dosel óptimo en los árboles de sombra debería permitir una transmitancia de 50% de la PFD sobre éstos al cacao (ver también Batista y Alvim 1981; Raja Harun y Hardwick 1987a). Para este fin se calculó, aplicando la ecuación (1), el rango del IAF que permite la transmisión de un 25% - 75% de la PFD durante el mediodía en las condiciones tropicales (la PFD no sombreada es aproximadamente 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Para los diferentes tipos de dosel, se aplicaron los siguientes valores del coeficiente de transmisión K (Nobel y Long 1987): 0.4 para árboles de ramificación vertical, 0.65 para la ramificación intermedia y 0.9 para ramificación horizontal. Los resultados se presentan en el Cuadro 3 junto con unos ejemplos de especies de árboles que podrían producir el tipo de sombra referido. En el caso de la ramificación intermedia y horizontal, el IAF, para producir la PFD de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, resultó demasiado bajo para ser factible en el manejo de sombras, puesto que si el IAF es mucho menor que uno, los árboles no producen una sombra leve continua, sino un mosaico de sol y sombra.

DISCUSION

En la discusión que sigue se debe tomar en cuenta que los resultados presentados proceden de cálculos matemáticos. Todos ellos tienen fundamento biológico, pero están basados en un sólo factor ambiental: la radiación solar, y en un sólo proceso ecofisiológico: la fotosíntesis. Así se simplifican las varias interacciones biológico-físicas entre planta y ambiente, y también entre los dos componentes principales de un cacaotal sombreado: el cacao mismo y el árbol de sombra. Sin embargo, la materia vegetal —la biomasa— proviene del proceso de fotosíntesis, y la radiación solar es el factor ambiental que más regula la tasa fotosintética de las plantas. Así, los "juegos matemáticos" presentados dan algunas ideas importantes que pueden guiar la planificación de los experimentos de campo sobre el manejo de las sombras en el cacao.

El trabajo de Raja Harun y Hardwick (1987a) sobre la fotosíntesis del cacao indica claramente la adaptación de la especie a las condiciones sombreadas. Especialmente importante es su observación con respecto a la sensibilidad del cacao a la fotoinhibición. Este fenómeno es obvio cuando se combinan los datos de fotosíntesis de Raja Harun y Hardwick (1987a) con las observaciones de Alvim (1977) acerca de la distribución vertical del follaje y la atenuación de la PFD en el dosel de cacao. Bajo condiciones de total exposición, el efecto fotoinhibitorio en la parte superior del dosel es mayor que el efecto positivo de la mayor atenuación de la PFD en la parte inferior del dosel. Sin embargo, las diferencias en la razón A/Am bajo distintos valores de la PFD incidente no son grandes, y esto permite una flexibilidad en el manejo de las sombras.

Además por efecto directo de la exposición prolongada a la radiación solar fuerte, la fotoinhibición es intensificada por temperaturas altas y una DPV alta (Vapaavuori y Aro 1990). El dosel de los árboles modera tanto la temperatura como la DPV (Corlett *et al.* 1989; Nair y Balakrishnan 1977), mostrando de esta forma un efecto positivo indirecto sobre la tasa fotosintética del cacao.

Los resultados de las simulaciones llevadas a cabo en este estudio indican que el régimen de radiación solar sufre cambios bastante fuertes durante el desarrollo del dosel de los árboles después de una poda completa. Esto puede tener un efecto negativo sobre el cacao, puesto que las plantas de cacao pasan de una sombra densa a una exposición directa al sol cuando se podan los árboles. Las hojas desarrolladas en la sombra son especialmente sensibles a la fotoinhibición bajo condiciones soleadas (Hall y Rao 1988). Después, al conformarse el dosel de los árboles, las hojas desarrolladas en el sol se convierten poco a poco en hojas de sombra. Aunque este cambio no es tan rápido como el de la sombra al sol después de la poda, el efecto sobre la productividad puede ser negativo. En el espaciamiento de 12 m x 12 m el régimen de radiación solar es muy variable en el espacio, y es más adecuado hablar de una plantación con un mosaico de sol y sombra que de una plantación sombreada.

Tomando en cuenta los problemas presentados en el manejo de las sombras con podas completas, se considera que el uso de las podas parciales es el método más adecuado para este manejo. El análisis inicial sugiere mantener el IAF entre 0.7 - 3.5 en el caso de árboles con ramificación vertical, entre 1.1 - 2.1 en el de ramificación intermedia y entre 0.8 - 1.5 en el de ramificación horizontal. Estos valores se basan en el conocimiento general acerca de la transmisión de la radiación solar en una cobertura vegetal, y no deben ser interpretados como una recomendación definitiva, sino como valores iniciales para ser probados en experimentos en el campo.

BIBLIOGRAFIA

- ALVIM, P. DE T. 1977. Cacao. In *Ecophysiology of Tropical Crops*. P. de T. Alvim, T.T. Kozlowski (Eds.). New York, EE.UU., Academic Press. p. 279 - 313.
- BATISTA, L.P.; ALVIM, R. 1981. Efeitos da intensidade luminosa e do genótipo sobre o crescimento em altura do fuste do cacauero. *Revista Theobroma (Bra.)* 11: 61-76.
- BEER, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5:3-3.
- BONAPARTE, E.E.N.A. 1967. Interspecific competition in a cocoa shade and fertilizer experiment. *Tropical Agriculture (Tri.)* 44:13-19.
- BOYER, J. 1974. Etude écophysiological du développement de cacaoyers cultivés au Cameroun. *Café, Cacao, Thé* 18:3-30.
- BUDOWSKI, G.; KASS, D.C.L.; RUSSO, R.O. 1984. Leguminous trees for shade. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Bra.)* 19:205-222.
- CORLETT, J.E.; ONG, C.K.; BLACK, C.R. 1989. Microclimatic modification in intercropping and alley cropping systems. In *Meteorology and agroforestry*. W.S. Reifsnnyder, T.O. Darnhofer. Nairobi, Kenia, ICRAF. p. 419-430.

- HALL, D.O.; RAO, K.K. 1988. Photosynthesis. 4 ed. London, U.K., Edward Arnold. 122 p.
- HUXLEY, P.A. 1985. The tree/crop interface or simplifying the biological/environmental study of mixed cropping agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3:251-275.
- HUXLEY, P.A. 1987. Agroforestry experimentation: Separating the wood from the trees?. *Agroforestry Systems* 5:251- 75.
- MONSI, M.; SAEKI, T. 1953. Ber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14:22-52.
- NAIR, P.K.R.; BALAKRISHNAN, T.K. 1977. Ecoclimate of a coconut plus cacao crop combination on the west coast of India. *Agricultural Meteorology* 18:455-462.
- NOBEL, P.S.; LONG, SP. 1987. Canopy structure and light interception. In *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long, J.M.O. Scurlock (Eds.). 2 ed. Oxford, U.K., Pergamon Press. p. 41-49.
- NYGREN, P. 1990. Modelo de patrones de sombra de surcos de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook en sistemas de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 143 p.
- RAJA HARUN, R.M.; HARDWICK, K. 1987a. The effect of prolonged exposure to different light intensities on the photosynthesis of cocoa leaves. In *Conferencia Internacional de Investigación en Cacao* (10., 1987, Santo Domingo, R.D., Lagos, Nigeria). Alianza de Países Productores de Cacao. p. 205-209.
- RAJA HARUN, R.M.; HARDWICK, K. 1987b. The effect of different temperatures and water vapour pressure deficits on photosynthesis and transpiration of cocoa leaves. In *Conferencia Internacional de Investigación en Cacao* (10., 1987, Santo Domingo, R.D. Lagos, Nigeria). Alianza de los Países Productores de Cacao. p. 211-214.
- VANDERMEER, J. 1986. A computer-based technique for rapidly screening intercropping designs. *Experimental Agriculture* (U.K.) 22:215-232.
- VANDERMEER, J. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge, U.K., Cambridge University Press. 237 p.
- VAPAAVUORI, E.; ARO, E.M. 1990. Fotosynteesin biokemiaa. In *Johdatus metsien perustuotanto-biologiaan*. T. Lahti, H. Smolander. Joensuu, Finlandia, Joensuun yliopisto. *Silva Carelica* 16:61-100.
- VERNON, A.J. 1967. Yield and light relationship in cocoa. *Tropical Agriculture* (Tri.) 44:223-228.