

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?

Eduardo Somarriba¹

Palabras claves: composición botánica; diversificación; estructura vertical y horizontal; movimiento solar; *Theobroma cacao*.

RESUMEN

Se presenta una metodología para evaluar y mejorar el dosel de sombra en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*). El análisis se lleva a cabo partiendo de tres preguntas básicas: 1) ¿qué bienes y servicios, además del cultivo principal, espera el productor obtener de su cacaotal?; 2) ¿cuál es el máximo de sombra que deben las plantas del dosel proyectar de modo que se logren las expectativas de rendimientos del cultivo principal?; 3) ¿cuáles especies, en qué densidades, en qué arreglos de plantación y con qué manejo deben introducirse en el dosel para lograr en forma óptima los objetivos del productor? Esta metodología es directamente aplicable en otros sistemas agroforestales multiestratos.

How to evaluate and improve the shade canopy of cocoa?

ABSTRACT

A methodology to evaluate and improve the shade canopy of cacao (*Theobroma cacao*) plantations is presented. The analysis is carried out using three basic questions: 1) What goods and services, apart from cacao, does the farmer hope to obtain from the plantation?; 2) How much should the upper canopy trees project in order to assure an acceptable cacao yield?; 3) which species, in what density, in what plantation arrangement and under what management should be introduced into the shade canopy in order to achieve the objectives of the farmer in the optimum way? This methodology is directly applicable to other multi strata agroforestry systems.

Key words: Botanical composition; diversification; vertical and horizontal structure; solar movement; *Theobroma cacao*.

INTRODUCCIÓN

Los pequeños productores de cacao (*Theobroma cacao*) de todo el mundo plantan, seleccionan de la regeneración natural o retienen del bosque original varias especies de plantas útiles para dar sombra al cacao, en variados diseños agroforestales que responden a sus intereses y condiciones agroecológicas y socioeconómicas particulares (Rice y Greenberg 2000, Somarriba y Harvey 2003, Bentley *et al.* 2004, Somarriba *et al.* 2004). La mayoría de las plantas son árboles, pero también se incluyen diferentes especies de bambú, palmas, arbustos y hierbas gigantes (por ejemplo, bananos y plátanos) que valorizan la propiedad, y proveen de madera, leña, aceites, frutas, medicina, fibras, rito, ornato y otros bienes y servicios de utilidad directa para la venta, el consumo de la familia o de uso en la finca (Shepherd *et*

al. 1977, Ramadasan *et al.* 1978, Oladokun y Egbe 1990, Ekenade y Egbe 1990, Herzog 1994, Amoha *et al.* 1995, Asare 2004). Sin embargo, no todas las plantas del dosel tienen utilidad para el productor (Herzog 1994, Bentley *et al.* 2004, Somarriba *et al.* 2004).

La concurrencia simultánea de árboles y cultivos (cacao, bananos, cítricos, etc.) en la plantación de cacao da lugar a numerosas interacciones ecológicas, agronómicas y económicas que se han evaluado en varios experimentos de largo plazo y han sido objeto de varias revisiones temáticas (Cook 1901, Willey 1975, Gogoi 1977, Beer 1987, Somarriba *et al.* 2004). Por ejemplo, las interacciones entre sombra, fertilidad, recirculación de nutrientes, plagas y enfermedades, agronomía y rendi-

¹ Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. esomarri@catie.ac.cr

mientos han sido estudiadas en Ghana, Trinidad, Papua Nueva Guinea, Costa Rica y otras regiones del mundo (Cunningham 1959, 1963, Hurd y Cunningham 1961, Hardy 1962, Cabala *et al.* 1972, Fordham 1972, Dakwa 1980, Ampofo y Bonaparte 1981, Smith 1981, Alpízar *et al.* 1986, Fassbender *et al.* 1988, Heuveldop *et al.* 1988, Imbach *et al.* 1989, Somarriba y Beer 1999). Los sistemas de producción de cacao y los listados de las especies de sombra utilizadas en varias regiones cacaoteras del mundo han sido descritos en varias publicaciones (ver referencias en Beer 1987, Asare 2004). El valor ecológico del cacaotal para conservar la biodiversidad, fijar carbono atmosférico y mitigar el efecto invernadero, conservar suelos y aguas, amortiguar zonas protegidas de interés nacional e internacional y proveer otros servicios ambientales ha sido objeto de varias publicaciones recientes (Beer *et al.* 2003, Somarriba *et al.* 2004).

A pesar de su potencial y valor, muchos cacaotales poseen doseles subóptimos o francamente deficientes que impiden al productor lograr satisfactoriamente sus objetivos. A continuación, se presenta una metodología para analizar y mejorar los doseles de sombra y, de este modo, lograr los objetivos del productor.

TERMINOLOGÍA

En este artículo se utilizan los siguientes términos: (1) *árboles*, para incluir varios tipos de plantas y hábitos de crecimiento, como árboles, arbustos, palmas, bambúes y hierbas gigantes, como los bananos y plátanos;

(2) *cacaotal* equivale a la plantación de cacao, es decir, incluye las plantas de cacao y de otras especies; (3) *dosel* es el volumen que contiene a toda la vegetación de la plantación. Por ejemplo, un cacaotal de 1 ha (100 x 100 m) con al menos un árbol de sombra de 30 m de altura máxima está contenido en un cubo de 100 m de largo x 100 m de ancho x 30 m de alto (Fig. 1); y (4) *sombra* se refiere únicamente a los cambios en la cantidad, calidad y distribución temporal y espacial de la radiación solar dentro de la plantación provocados por la intercepción de luz por las copas de los árboles, barreras topográficas y vegetación colindante a la plantación y nubosidad local. El concepto “sombra” ha sido utilizado también para describir el conjunto de cambios en el microclima de la plantación, que además de cambios en la radiación solar incluye cambios en el viento, humedad relativa, temperatura, luz ultravioleta, etc.

EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DEL DOSEL

El dosel de una plantación se evalúa respondiendo a tres preguntas básicas:

- ¿Qué bienes y servicios, además del cacao, espera el productor obtener de su cacaotal?
- ¿Cuánta sombra deben proyectar las plantas del dosel para que el cacao produzca a un nivel aceptable para el productor?
- ¿Cuáles especies, en qué densidades, en qué arreglos de siembra y con qué manejo deben introducirse en el dosel para lograr en forma óptima los objetivos del productor?.

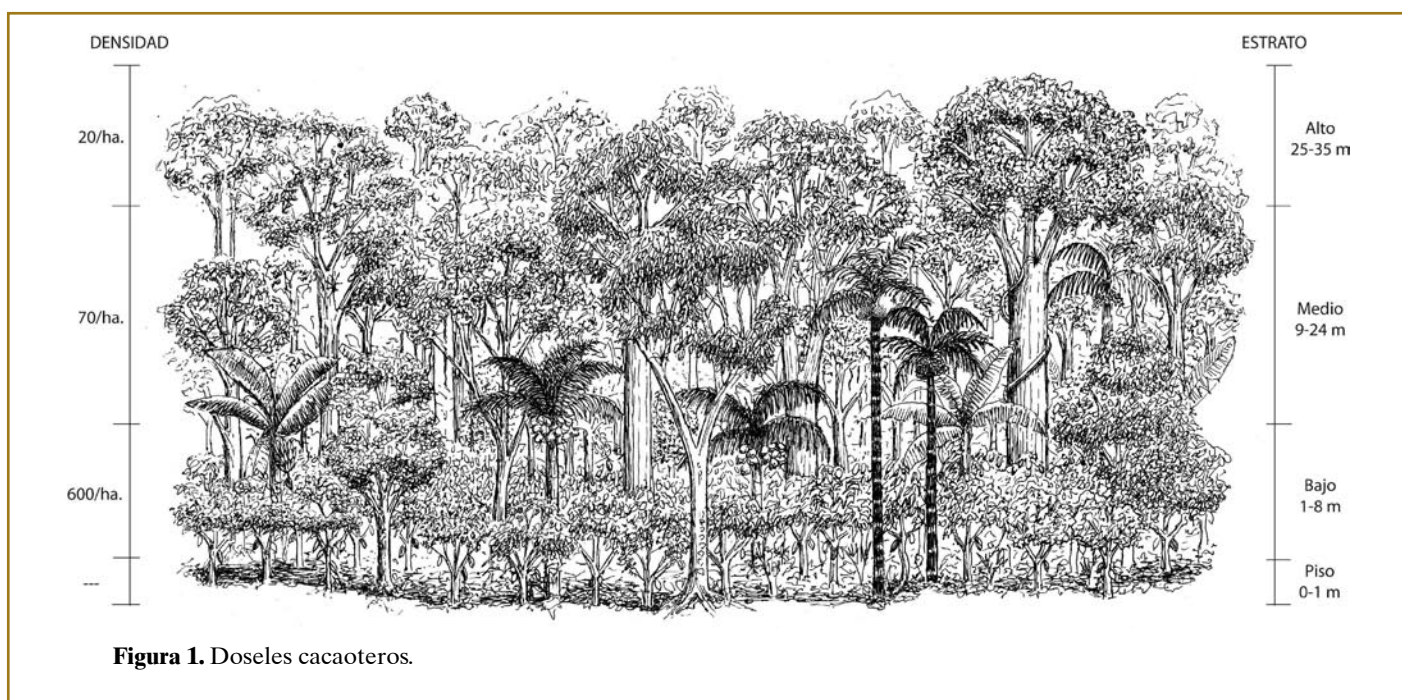


Figura 1. Doseles cacaoteros.

¿Qué bienes y servicios espera obtener el productor de su cacaotal?

Los intereses pueden ser muy variados, pero se puede determinar si la plantación satisface en forma óptima los intereses del productor simplemente enunciando claramente estos intereses y contrastándolos con la composición botánica, los usos y la abundancia de las plantas del dosel. Por ejemplo, algunos productores permiten el establecimiento de los árboles de ciertas especies porque producen frutos para las aves; otros árboles se dejan porque se regeneran abundantemente en forma natural y son fuente de madera de aserrío o leña (p. ej., el laurel —*Cordia alliodora*— y cola de pava —*Cupania cinerea*— en los cacaotales de Bocas del Toro, Panamá; Somarriba y Harvey 2003). Varias especies de guaba (*Inga* spp.), poró (*Erythrina* spp.) y madero negro (*Gliricidia* spp.), clasificadas como “árboles de servicio” (al cacao), se plantan deliberadamente para proveer sombra (Rice y Greenberg 2000). Muchas especies se plantan o seleccionan de la regeneración natural para proveer una combinación de productos y servicios, incluyendo fruta, fibra, hábitat para fauna, mejorar la fertilidad del suelo, conservar suelos y agua, fijar carbono y proveer varios otros servicios ambientales, reducir gastos en efectivo o minimizar el riesgo financiero, entre otros (Rice y Greenberg 2000, Ramírez *et al.* 2001, Beer *et al.* 2003, Bentley *et al.* 2004).

¿Cuánta sombra deben proyectar las plantas del dosel?

Los siguientes cuatro factores intervienen en la determinación del nivel de sombra que deben proyectar las plantas del dosel para que el cacao tenga una buena producción: (1) el ciclo de vida y el ciclo fenológico anual del cacao; (2) las condiciones de sitio; (3) el manejo agronómico del cacao; y (4) las características del dosel.

1) Ciclo de vida y ciclo anual del cultivo

- *Ciclo de vida.* Las plantas jóvenes de cacao requieren de más sombra del dosel durante los primeros años de vida, debido a que sus copas son pequeñas, no ocupan totalmente el espacio de crecimiento disponible, reciben más radiación solar de la que pueden utilizar en la fotosíntesis, se calientan excesivamente, pierden agua y aumenta su probabilidad de morir. A medida que las plantas crecen y desarrollan sus copas, las hojas de las ramas superiores sombrean las hojas de las ramas bajas, produciendo auto-sombra y reduciendo el nivel de sombra deseable de las plantas del dosel. Los agrónomos cacaoteros recomiendan 50-60% de sombra en los primeros dos años de edad del cacaotal y luego

reducirla paulatinamente a medida que el cacao desarrolla su copa, hasta un rango del 20-40% en plantaciones adultas de más de ocho años de edad (Compañía Nacional de Chocolates 1988, Gramacho *et al.* 1992, Arévalo *et al.* 2004, Enriquez 1985, 2004, DEVIDA-CICAD 2004). El uso de sombras temporales (gandules —*Cajanus cajan*—, bananos y plátanos, higuierilla —*Ricinus communis*—, yuca —*Manihot esculenta*— y otros cultivos anuales de rápido crecimiento y porte bajo) durante la fase de establecimiento de las plantaciones es una práctica común en el cultivo del cacao (Oladokun 1990).

- *Ciclo anual, ciclo agronómico o ciclo fenológico.* El cacao requiere de más radiación solar durante la floración y el llenado de los frutos que en cualquier otra etapa del ciclo fenológico anual (Alvim 1984). Por esto, un buen dosel debe proveer niveles variables de sombra durante el año en forma sincronizada con el ciclo fenológico del cacao. En cacaotales con sombra monoespecífica de una especie leguminosa de servicio, como *Inga* spp., *Erythrina* spp. o *Gliricidia* spp., los árboles se podan, descopan y ralean de acuerdo con las necesidades del cacao. Cuando las plantas que dan sombra al cacao son especies frutales o maderables que limitan la capacidad de podar/ralear para dar luz al cultivo sin sacrificar su propia producción, los productores ajustan la sombra del dosel a las demandas del cacao, seleccionando especies que pierden el follaje en las épocas en que el cultivo necesita mucha radiación solar, utilizando monocultivos o mezclas de especies arbóreas para lograr determinados patrones temporales de caducifolia en el dosel, manipulando los arreglos y espaciamientos de siembra y aplicando raleos bien diseñados para abrir el dosel al máximo, sacrificando al mínimo la producción de fruta o madera.

2) Las condiciones de sitio que afectan la sombra en la plantación

No toda la sombra que reciben las plantas de cacao proviene de las plantas del dosel. Las siguientes características del sitio modifican la cantidad de radiación que recibe una plantación y tienen implicaciones directas sobre la densidad de plantas por mantener en el dosel: a) latitud, exposición y pendiente; b) nubosidad local; y c) sombra lateral.

- *Latitud, exposición y pendiente.* Debido a la traslación de la tierra alrededor del sol a lo largo del año, al ángulo de inclinación del eje polar de la tierra con respecto al plano del ecuador solar y a la rotación

diaria de la tierra sobre su eje polar, la posición del sol cambia continuamente a lo largo del año y durante las horas del día. Dos observadores en diferentes latitudes, en un mismo día y hora, observan el sol moverse con diferentes ángulos. El movimiento del sol a lo largo del día y del año es percibido de manera particular en cada punto sobre la tierra, o en cada cacaotal sobre la tierra. La posición del sol observada desde la plantación tiene efectos importantes sobre la radiación que llega al cultivo. Si conocemos exactamente la posición latitudinal de un árbol, podemos determinar la posición del sol con base en dos ángulos: azimut (z) y altura solar (α). Las ecuaciones requeridas para determinar estos ángulos (Fig. 2) son (Quesada *et al.* 1987):

$$\delta = 23,45 * \sin(360 * (284 + N) / 365) \quad [1]$$

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta \sin \tau - \cos \phi \cos \delta \cos \tau \quad [2]$$

$$\cos z = (\sin \delta - \sin \phi \sin \alpha) / (\cos \phi \cos \alpha) \quad [3]$$

Donde:

δ = declinación solar medida en grados

N = día del año (día 1 es 1 enero)

α = altura solar medida en grados (0-90)

ϕ = latitud en grados, con signo negativo en el hemisferio Sur

τ = ángulo horario, medido en grados desde -90 hasta $+90^\circ$, negativos por la mañana y positivos por la tarde (6 am es -90° , 7 am es 75° , 12 mediodía es 0° , 1 pm es $+15^\circ$ y así hasta $+90^\circ$ a las 6 pm)

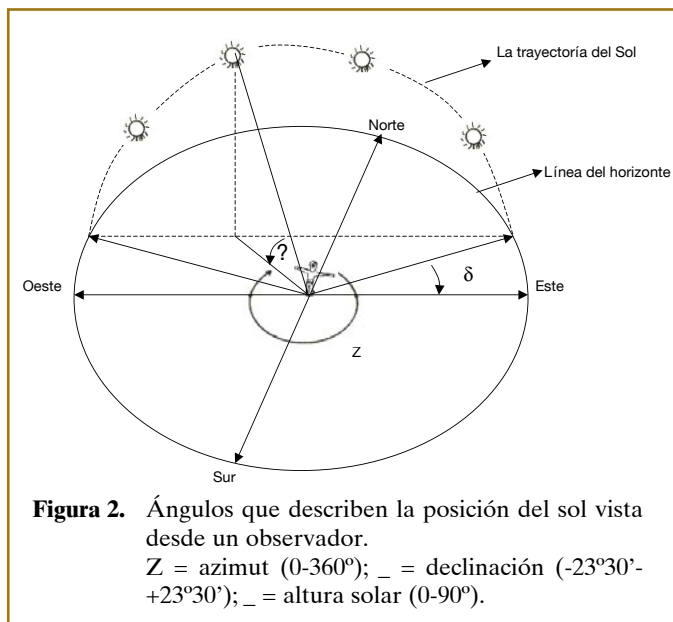
z = azimut, medido en grados sobre el terreno entre el Norte magnético del árbol y el plano que contiene al ángulo de altura solar (0-360).

Ahora veamos algunas consecuencias de estas ecuaciones. Imaginemos una fila montañosa con orientación norte – sur, de modo que la ladera derecha de la cordillera tiene fachada hacia el este, hacia donde sale el sol, y la ladera izquierda hacia el oeste, hacia donde se oculta el sol. En cada ladera se ha establecido un cacaotal. Si las laderas son lo suficientemente altas, muy inclinadas o una combinación de ambas, una plantación en la ladera este recibirá directamente los rayos solares durante la mañana y sombra por la tarde; la plantación en la ladera oeste recibirá sombra por la mañana e insolación directa por la tarde (Fig. 3). Si se rota la cordillera y su eje queda en dirección este – oeste, de modo que la ladera derecha tenga fachada hacia el norte y la izquierda hacia el sur (Fig. 4), la insolación de los cacaotales en las laderas será similar en la mañana que en la tarde, pero variará a lo largo del año. El movimiento aparente del sol a lo largo del año y la ubicación latitudinal de la

plantación determinan la declinación y altura máxima del sol y provocan que una ladera reciba iluminación directa durante más meses del año que la otra. Por ejemplo, en el hemisferio sur (digamos, en Bolivia a 16°S) las plantaciones en laderas con exposición norte reciben iluminación directa del sol durante ocho meses del año, mientras que las plantaciones con fachada hacia el sur reciben iluminación directa apenas cuatro meses del año. Lo contrario ocurre en plantaciones en el hemisferio norte, donde las laderas con exposición al sur reciben más iluminación directa del sol que las laderas con exposición norte (Fig. 4).

La pendiente modifica la “velocidad de tránsito” de la sombra sobre el suelo. Por ejemplo, si a mitad de una ladera con fachada hacia el este y plantada con cacao se establece una hilera de árboles con orientación norte – sur, durante la mañana las sombras de las copas se proyectarán hacia arriba en la pendiente y bajarán la pendiente a medida que el sol se eleve durante el día. Por la tarde, a medida que el sol descende, la sombra transitará sobre el suelo, hacia abajo, con velocidad creciente; la forma de la sombra se alargará y se estirará a medida que se aleje de la base del árbol (al estirarse la sombra aumenta su superficie y eso reduce la “densidad” de la sombra sobre el suelo). El número de horas sombra día⁻¹ que recibe cada punto sobre la franja de terreno por donde transita la sombra es inversamente proporcional a la velocidad de tránsito de la sombra sobre el punto en el suelo. Los productores cacaoteros conocen este efecto y mantienen un menor número de plantas en el dosel arriba en la pendiente donde las sombras se mueven lentamente. Las variaciones en la velocidad de tránsito de la sombra en terrenos inclinados son equivalentes a las producidas en terrenos planos al cambiar la altura a la que se encuentra la copa.

- **Nubosidad local.** Las nubes bloquean directamente los rayos solares que llegan a la plantación y obligan al productor a podar severa y frecuentemente las plantas del dosel o a mantener bajas densidades de plantas para reducir la sombra. La nubosidad puede estar correlacionada con la pluviosidad local o no. Por ejemplo, en zonas cafetaleras muy húmedas de Turrialba, Costa Rica (10°N), con precipitación anual de 3500 mm, la duración del brillo solar es de apenas cuatro horas por día, por lo que el café debe cultivarse con bajas densidades de árboles de sombra. En cambio, en la región cacaotera del Alto Beni, Bolivia (16°S), los meses de otoño (abril – junio) se caracterizan por su elevada nubosidad, temperaturas bajas y casi nula precipitación pluvial. Sin



embargo, los productores no podan ni reducen la densidad de los árboles de sombra porque los siguientes meses de invierno (julio – septiembre), aunque fríos, son muy secos, sin nubes y con alta radiación solar (E. Somarriba, observaciones personales). La fijación del nivel de sombra en función de la nubosidad local toma además en cuenta que las nubes y la humedad que conllevan modifican la severidad de la incidencia de ciertas enfermedades.

- **Sombra lateral.** La vegetación colindante y las barreras topográficas cercanas a un cacaotal pueden proyectar sombra lateral sobre la plantación y forzar al productor a podar o disminuir la densidad de las plantas del dosel para reducir la sombra. La cantidad de sombra lateral proyectada sobre la plantación depende de la altura y densidad de la vegetación colindante y de su posición con respecto al movimiento del sol. La utilización de barreras arbóreas para proyectar sombra lateral es una práctica de manejo de uso común en cafetales en sitios nubosos y ventosos (Somarriba *et al.* 2004).

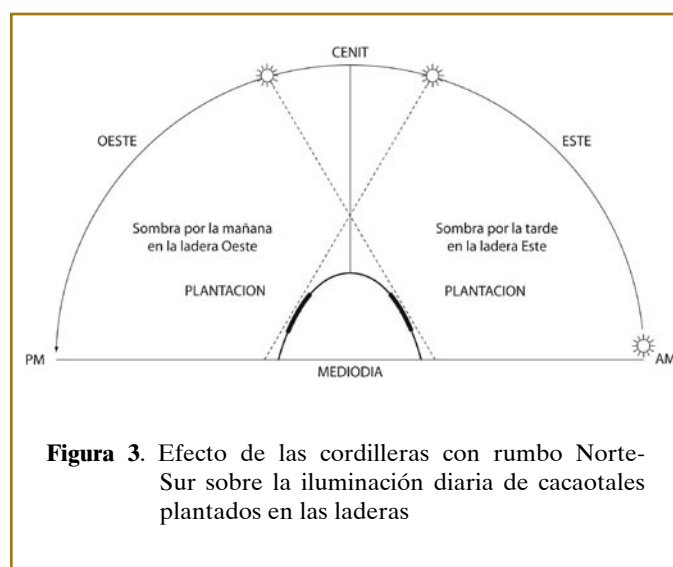
Aunque hemos analizado en forma independiente la influencia de la latitud, exposición, pendiente y vegetación colindante sobre la sombra que recibe una plantación, en la práctica estos factores actúan en forma simultánea y combinada.

3) Manejo agronómico del cacao

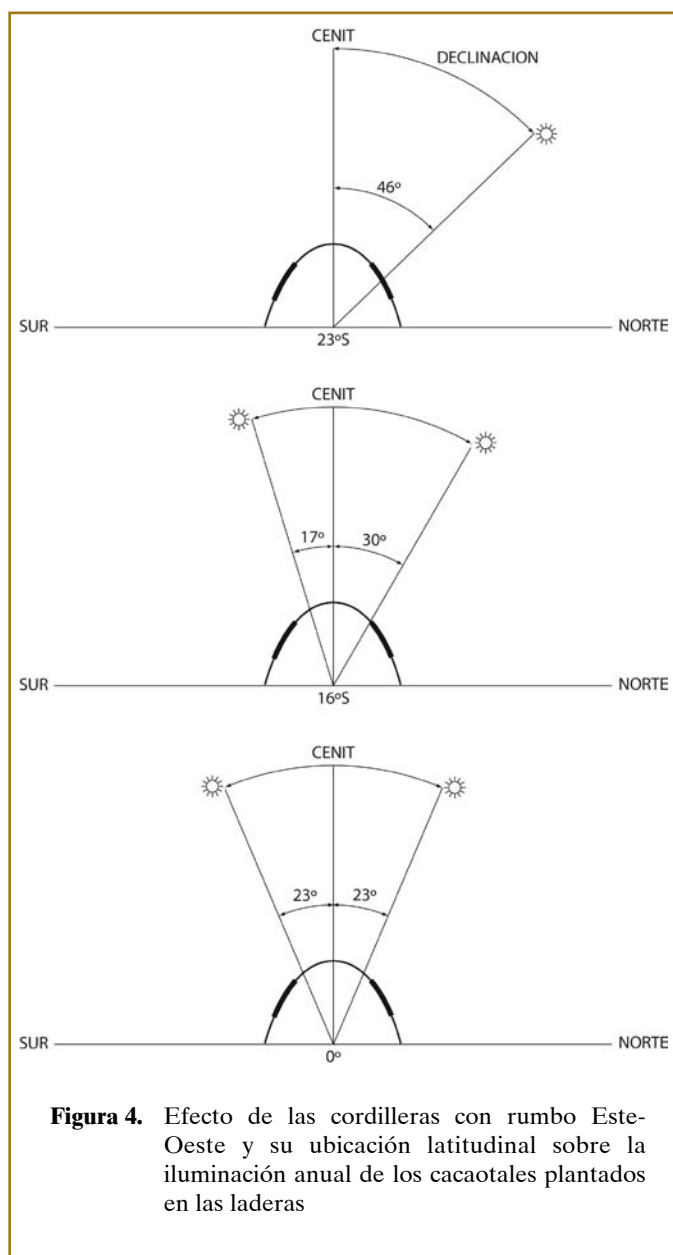
- **Auto-sombra.** La arquitectura de la planta de cacao, ya sea producida por injerto o mediante semilla sexual, los distanciamientos y arreglos de plantación y el desarrollo y manejo de las copas (tipo, frecuencia e

intensidad de podas) determinan la auto-sombra en la plantación. Plantaciones de semilla sexual, con alta densidad de siembra y poca poda, resultan en altos niveles de auto-sombra y requieren, por ende, de pocas plantas en el dosel.

- **El rendimiento esperado del cultivo principal.** El rendimiento de una planta de cacao es determinado por el equilibrio entre la cantidad de radiación solar que recibe y por la fertilidad (natural o artificial) de que dispone. Altos rendimientos exigen mantener altos niveles de radiación solar (poca sombra) y elevada fertilidad del suelo. En suelos de baja fertilidad se recomienda cultivar el cacao bajo sombra para atenuar las demandas nutricionales del cultivo (Beer 1987).



- **Plagas, enfermedades o eventos climáticos extremos.** Estos factores pueden determinar el nivel de sombra permisible en una determinada región cacaotera. Por ejemplo, en países afectados por huracanes o tifones, los árboles altos se quiebran o caen durante las tormentas y los mejores doseles son aquellos que incluyen plantas de servicio de porte bajo y plantados a baja densidad en el cacaotal (E Somarriba y J Beer, observaciones personales en Belice y Fiji). Varios ejemplos en cafetales ilustran las condiciones que podrían presentarse en cacaotales. En cafetales cercanos a volcanes activos y que sufren de lluvias ácidas ocasionales se mantiene un dosel cerrado y compuesto por un selecto grupo de especies tolerante a la lluvia ácida (E Somarriba, observaciones personales en El Crucero, Nicaragua). En sitios ventosos y nubosos, los árboles se plantan en arreglos lineales para controlar el viento, proveer sombra lateral y mantener plena exposición solar dentro de la plantación para reducir la incidencia de enfermedades (Somarriba *et al.* 2004).



4) Las plantas del dosel de sombra

Todas las plantas del dosel, útiles o no, interceptan parte de la radiación solar y proyectan sombra dentro de la plantación. En el dosel, la copa de cada planta se ubica a cierta altura sobre el suelo y posee características particulares de forma, tamaño, densidad (opacidad) y patrón fenológico (especialmente, la intensidad y cronología de la caducidad de las hojas) que determinan las características de la sombra que proyecta sobre los estratos inferiores del dosel. En su conjunto, las plantas del dosel, sus copas y atributos determinan la estratificación vertical, la homogeneidad espacial de la cobertura de las copas en la plantación y la composición botánica, productiva y funcional del dosel.

- **Estratificación vertical.** La distribución de las copas en el perfil vertical del dosel tiene efectos sobre la cantidad y calidad de luz que recibe cada punto sobre el suelo. Los productores conocen que “las copas altas dan sombra rala mientras que las copas bajas dan sombra densa”. Y tienen razón. Si entre 9 am y 3 pm de un día cualquiera observamos el recorrido sobre el suelo que hace la sombra de la copa de un árbol a 25 m de altura y lo comparamos con el recorrido que hace la sombra de la misma copa a 10 m de altura, veremos que el recorrido sobre el suelo de la sombra de la copa a mayor altura es más largo que el recorrido de la sombra de la copa a baja altura (Somarriba 2002). Es decir, las sombras de copas altas transitan más rápido sobre el suelo que las sombras de copas bajas. Una planta de cacao ubicada en el recorrido de la sombra de una copa alta recibirá menos horas sombra día⁻¹ que si estuviera ubicada en el recorrido de la sombra de una copa baja. Los términos “sombra rala” o “sombra densa” con que los productores etiquetan la sombra proyectada por copas altas o bajas realmente significan sombras “rápidas” y “lentas” y, desde el punto de vista de los cultivos en los estratos bajos del dosel, estos términos equivalen a “menos o más horas sombra día⁻¹”.

La distribución vertical de las copas en el dosel se analiza dividiendo el dosel en “capas” o “estratos” de altura y amplitud variables según el sitio y las dimensiones de las plantas que se utilizan localmente. Por ejemplo, los cacaotales de indígenas de Talamanca, Costa Rica (10°N, altitud ≤300 m, >2500 mm año⁻¹, alta humedad relativa) cuentan típicamente con cuatro estratos verticales:

- **El piso de la plantación.** Entre 0-1 m de altura, contiene hierbas, palmas de porte bajo (p. ej., suitea —*Geonoma congesta*—, una palma valiosa utilizada para forrar los techos de los ranchos) y plántulas de especies leñosas de mayor porte.
- **El estrato bajo.** Entre 2-8 m de altura, contiene las plantas de cacao, plátanos y bananos, frutales de porte bajo y latizales y fustales de árboles.
- **El estrato medio.** Entre 9-25 m de altura, contiene árboles de guaba chilillo (*Inga edulis*), naranjas (*Citrus* spp.) y otros cítricos, mamón chino (*Nephelium lappaceum*), pejibayes (*Bactris gasipaes*), cola de pava (*Cupania cinerea*), cocos (*Cocos nucifera*) y otras especies de frutales.
- **El estrato alto.** Entre 26-40 m de altura, contiene árboles dispersos y a bajas densidades de laurel (*Cordia alliodora*), guácimo colorado (*Luehea*

seemanii), sangrillo (*Pterocarpus officinalis*), almen-dro (*Dypterix panamensis*), jabillo (*Hura crepitans*) y otras especies (Somarriba y Harvey 2003).

- **Distribución horizontal.** Los productores tratan de distribuir la cobertura de las copas lo más homogénea-mente posible en la plantación y asegurar que todas las plantas de cacao reciban condiciones agroecológi-cas similares para crecer y producir. Los productores homogenizan la distribución espacial de la cobertura plantando o dejando crecer árboles de la regeneración natural en sitios de la plantación donde el dosel tiene “huecos” sin plantas y eliminando (cortando, anillando o quemando) árboles en los “parches” con alta densi-dad y sombra excesiva. La homogeneidad de la distri-bución horizontal se evalúa haciendo un croquis de la plantación, dividiéndola en una retícula de 10 x 10 m y anotando el porcentaje cubierto por las copas en cada celda. La retícula de 10 m de lado es lo suficientemente grande como para acomodar la mayoría de las especies arbóreas comúnmente encontradas en los cacaotales y, al mismo tiempo, lo suficientemente pequeña como para aplicarse en minifundios y pequeñas plantaciones ($\leq 0,5$ ha).

- **Composición botánica.** Los ecólogos y forestales han desarrollado numerosas metodologías para el inven-tario y análisis de la vegetación (Greig-Smith 1983) que son aplicables en el análisis florístico y estructural del dosel de los cacaotales. El análisis puede hacerse mediante censo (en plantaciones pequeñas) o inventa-rio (utilizando parcelas de muestreo de 1000 m² —50 m x 20 m— ubicadas en sitios representativos de la plantación). En cada caso, los inventarios deben ofrecer la siguiente información sobre cada planta del dosel: nombre (familia, género, especie y nombre común), uso o beneficio indicado por el productor, dimensiones (diámetro del tallo y altura total) y atributos de la copa (altura, forma, dimensiones, opacidad y patrón fenoló-gico y, especialmente, la intensidad y cronología de la caída de las hojas).

¿Cuáles especies, en qué densidades, en qué arreglos de siembra y con qué manejo deben introducirse en el dosel para lograr en forma óptima los objetivos del pro-ductor?

Una vez conocidos la composición botánica, los usos de las especies y el nivel de sombra que debe aportar el dosel, ¿cuáles intervenciones hay que realizar en la plantación para lograr de forma óptima los objetivos

del productor? Se propone que el diseño óptimo del dosel es la búsqueda del equilibrio entre la producción del cacao y la producción de los otros bienes y servicios de interés del productor y, por lo tanto, el diseño depen-derá de muchos otros factores, tales como los precios y costos de producción del cacao y de los demás produc-tos y servicios del cacaotal.

Las intervenciones son fáciles de visualizar. Por ejemplo, habiendo determinado que se puede aumentar en 10% la cobertura de copas de la plantación y que las espe-cies del dosel actual no satisfacen adecuadamente sus objetivos de producción de madera, el productor plan-tará o escogerá de la regeneración natural los árboles maderables que cubran el 10% de cobertura faltante. Al enriquecer su dosel con maderables, el productor puede eliminar algunas plantas de especies sin valor para abrir espacio y aumentar la población de árboles útiles. Por ejemplo, en cacaotales adultos de indígenas Ngöbe de Changuinola, Panamá, se han introducido varias espe-cies maderables (*Terminalia ivorensis*, *Tabebuia rosea*, *C. alliodora*) y se han eliminado varias especies de poco valor comercial y ecológico, con buenos resultados bio-físicos y de adopción (Matos *et al.* 2000). La capacidad de producción maderable de *C. alliodora*, *C. megalantha* y *Swietenia macrophylla* en varios tipos de cacaotales ha sido estudiada profusamente en Costa Rica, Honduras y Brasil (Somarriba y Beer 1987, 1999, Calvo y Meléndez 1999, Melo 1999, Méndez 1999, Neto *et al.* 1999, Matos *et al.* 2000, Ramírez *et al.* 2001, Somarriba *et al.* 2001, Sánchez *et al.* 2002, Suárez y Somarriba 2002).

Las intervenciones son muy variadas, pero con la meto-dología descrita en este artículo el productor, el espe-cialista agroforestal y los agentes de extensión podrán definir objetivos, diagnosticar la plantación actual y di-señar las innovaciones que permitan satisfacer mejor los objetivos del productor. Queda por desarrollar más las herramientas de extensión que permitan llevar a los productores esta metodología de análisis y mejoramien-to de doseles.

APLICACIONES Y RECOMENDACIONES

El cacao ha participado en el mercado mundial de materias primas por más de 100 años, período durante el cual ha sufrido grandes oscilaciones cíclicas de pre-cios de frecuencia y duración variables que han causado grandes pérdidas económicas a familias y gobiernos (Ruf y Schroth 2004). La diversificación productiva de los cacaotales para tener ingresos alternativos cuando caen los precios del cacao ha sido una de las recomen-

daciones más comunes en las épocas de crisis; similares recomendaciones se han presentado durante las crisis del café (Godoy y Bennett 1989). La metodología de análisis y mejoramiento de doseles ayudará en la implementación de los nuevos ciclos de diversificación y, de aplicarse regularmente en el manejo de los cacaotales, puede mejorar sustancialmente la provisión de bienes y servicios al productor y a la sociedad.

No existen muchas iniciativas de investigación y desarrollo dedicadas específicamente al estudio científico y manejo tecnificado de los doseles de cacaotales, ni se ha dedicado suficiente esfuerzo a capacitar a las familias productoras en estas técnicas. Gobiernos, sector privado y donantes tienen en el manejo tecnificado del dosel de sombra una gran oportunidad para mejorar la competitividad y el bienestar de las familias productoras. Se deben desarrollar materiales educativos y de extensión que hagan llegar esta herramienta de análisis a los productores de cacao de todo el mundo.

Aunque esta metodología se elaboró para aplicaciones en cacaotales, es directamente aplicable en cafetales (*Coffea* spp.), cupuazú (*Theobroma grandiflorum*), té (*Camellia sinensis*), cardamomo (*Elletaria cardamomum*), yerba mate (*Illex paraguariensis*) y otros sistemas agroforestales multiestratos con pastos y cultivos anuales

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuvelod, J; Fölster, H; Enríquez, G. 1986. Modelling agroforestry systems of cocoa (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 4(3):175-189.
- Alvim, PT. 1984. Flowering of cocoa. *Cocoa Grower's Bulletin* 35:23-31.
- Ampofo, ST; Bonaparte, EENA. 1981. Flushing, flowering and pod-setting of hybrid cocoa in a cocoa/shade/spacing/cultivar experiment. *International Cocoa Research Conference* (7). *Proceedings*. p. 103-108.
- Amoha, FM; Nuertey, BN; Baidoo-addo, K; Oppong, FK; Osei-Bonsu, K; Asamoah, TEO. 1995. Underplanting oil palm with cocoa in Ghana. *Agroforestry Systems* 30:289-299.
- Arévalo, E; Zúñiga, LB; Arévalo, CE; Adiazola, J. 2004. Cacao: manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la Amazonía Peruana. Tarapoto, San Martín, PE, Instituto de Cultivos Tropicales. 184 p.
- Asare, R. 2004. Cocoa agroforests in West Africa: a look at activities on preferred trees in the farming systems. *Horsholm, DK, Danish Centre for Forest Landscape and Planning (KVL)*. 77 p.
- Beer, JW. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5:3-13.
- _____.; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37/38):80-87.
- Bentley, JW; Boa, E; Stonehouse, J. 2004. Neighbor trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Human Ecology* 32(2):241-269.
- Bonaparte, EN. 1967. Interspecific competition in a cocoa shade fertilizer experiment. *Tropical Agriculture (Trinidad y Tobago)*. 44(1):13-19.
- Byrne, PN. 1972. Cacao shade spacing and fertilizing trial in Papua, Nueva Guinea. *International Cocoa Research Conference* (4, Trinidad y Tobago). p. 275-286.
- Cabala R, FP; de Miranda, ER; Santana, CJL. 1972. Interaction between shade and fertilizers in cacao, in Bahia. *International Cocoa Research Conference* (4, Trinidad y Tobago). p. 181-189.
- Calvo, G; Meléndez, L. 1999. Pseudoestacas de laurel para el enriquecimiento de cacaotales. *Agroforestería en las Américas* 6 (22):25-27.
- Cunningham, RK. 1959. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute, Ghana. *Journal of Horticultural Science* 43(1):14-22.
- _____. 1963. What shade and fertilizers are needed for good cocoa production? *Cocoa Grower's Bulletin* 1:11-16.
- Compañía Nacional de Chocolates. 1988. Manual para el cultivo del cacao. Bogotá, CO. 140 p.
- Cook, OF. 1901. Shade in coffee culture. Washington, US, Department of Agriculture. 79 p. (*Bulletin* no. 25).
- Dakwa JT. 1976. The effects of shade and NPK fertilizers on the incidence of cocoa black pod disease in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science* 9(3):179-184.
- DEVIDA-CICAD/OEA. 2004. Cacao: paquete tecnológico para el valle del río Apurimac – Ene. Lima, PE, Organización de Estados Americanos, CICAD. 111 p.
- Ekenade, O; Egbe, NE. 1990. An analytical assessment of agroforestry practices resulting from interplanting cocoa and kola on soil properties in south-western Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 30:337-346.
- Enriquez, GA. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, CR, CATIE. 239 p. (*Serie Materiales de Enseñanza* no. 22).
- _____. 2004. Cacao orgánico: guía para productores ecuatorianos. Quito, EC, INIAP. 359 p.
- Fassbender, HW; Alpizar, L; Heuvelod, J; Fölster, H; Enríquez, G. 1988. Modelling agroforestry systems of cocoa (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6 (1): 49-62.
- Fordham, R. 1972. The water relations of cacao. *International Cocoa Research Conference* (4, Trinidad y Tobago). p. 320-325.
- Godoy, R; Bennett, C. 1989. Diversification among coffee smallholders in the highlands of South Sumatra, Indonesia. *Human Ecology* 16:397-420.
- Gogoi, BN. 1977. A review of research on shade in tea. *Horticultural Abstracts* No. 10996, 47(11):927.
- Gramacho, ICP; Magno, AES; Mandarino, EP; Matos, A. 1992. Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia. Bahia, BR, CEPLAC. 124 p.
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. *In Studies in Ecology*. Berkeley, California, US, University of California Press. v. 9, 356 p.

- Hardy, F. 1962. La sombra del cacao en relación con la intercepción de la lluvia. *Turrialba* 2(2): 80-86.
- Heuvelod, J; Fassbender, HW; Alpizar, L; Enríquez, G; Fölster, H. 1988. Modelling agroforestry systems of cocoa (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6(1):37-48.
- Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Cote d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27:259-267.
- Hurd, RG; Cunningham, RK. 1961. The cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute 3. Physiological results. *Journal of Horticultural Science* 36(2):126-137.
- Imbach, AC; Fassbender, HW; Borel, R; Beer, J; Bonnemann, A. 1989. Modelling agroforestry systems of cocoa (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. IV. Water balances, nutrient inputs and leaching. *Agroforestry Systems* 8(3):267-287.
- Matos, EN; Beer, J; Somarriba, E; Gómez, M; Current, D. 2000. Validación, adopción inicial y difusión de tecnología agroforestal en cacaotales con indígenas Ngöbe, Panamá. *Agroforestería en las Américas* 7(26):7-9.
- Melo, ACG. 1999. Enriquecimiento de cacaotales con caoba. *Agroforestería en las Américas* 22:31.
- Mendes, FAT. 1999. Evaluación financiera de sistemas agroforestales con cacao en Brasil. *Agroforestería en las Américas* 22:31-32.
- Neto, PJ; Melo, ACG; Dos Santos, MM. 1999. Cacao bajo sombra de caoba en Pará, Brasil. *Agroforestería en las Américas* 22:32.
- Oladokun, MAO. 1990. Tree crop based agroforestry in Nigeria: a checklist of crops intercropped with cocoa. *Agroforestry Systems* 11:227-241.
- _____. 1990. Yields of cocoa/kola intercrops in Nigeria. *Agroforestry Systems* 10:153-160.
- Quesada, F; Somarriba, E; Vargas, E. 1987. Modelo para la simulación de patrones de sombra. Turrialba, CR, CATIE. 87 p. (Serie Técnica, Boletín Técnico no. 118).
- Ramadasan, K; Abdullah, I; Teoh, KC. 1978. Intercropping of coconuts with cocoa in Malaysia. *The Planter* 54(627):329-342.
- _____. 1963. What shade and fertilizers are needed for good cocoa production? *Cocoa Grower's Bulletin* 1:11-16.
- Ramírez, OA; Somarriba, E; Ludewigs, T; Ferreira, P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems* 51:141-154.
- Rice, RA; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29:167-173.
- Ruf, F; Schroth, G. 2004. Chocolate forests and monoculture: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. In Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscape*. Washington, DC, US, Island press. p. 107-134.
- Sanchez, J; Dubón, A; Krigsvold, D. 2002. Uso de Rambután (*Nephelium lappaceum*) con Cedro (*Cedrela odorata*) y Laurel Negro (*Cordia megalantha*) como sombra permanente en el cultivo del cacao. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 46:57-60.
- Shepherd, R; Gilbert, JR; Cowling, PG. 1977. Aspects of cocoa cultivation under coconut on two estates in peninsular Malaysia. *Planter (Kuala Lumpur)* 53:99-117.
- Smith, ES. 1981. The interrelationships between shade types and cocoa pest and disease problems in Papua, Nueva Guinea. *International Cocoa Research Conference (7)*. *Proceedings*. p. 37-43.
- Somarriba, E. 2002. ¿Cómo estimar visualmente la sombra en cafetales y cacaotales? *Agroforestería en las Américas* 9(35-36):86-94.
- _____. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 18: 113-126.
- _____. 1999. Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6(22):7-11.
- _____. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51: 111-118.
- _____. 2003. ¿Cómo integrar simultáneamente producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):12-17.
- _____. 2004. Biodiversity in neotropical *Coffea arabica* plantations. In Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscape*. Washington, DC, US, Island press. p. 198-226.
- Suárez, A; Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36):50-54.
- Suatunce, P. 2002. Diversidad de escarabajos estercoleros en bosques y en cacaotales de diferente estructura y composición florística, Talamanca, Costa Rica. *Thesis Mag. Sci. Turrialba, CR, CATIE*. 122 p.
- Vernon, AJ. 1967. New development in cocoa shade studies in Ghana. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 18: 44-48.
- Wiley, RW. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45(12):791-798.