



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



programa

Agroalimentario Sostenible



Oferta mundial de tecnologías de producción de cacao prioritarias para elevar los rendimientos, mejorar la calidad del cacao y asegurar la sostenibilidad y seguridad alimentaria de las familias cacaoteras de Centroamérica

2 diciembre 2013

Este estudio ha sido elaborado por Eduardo Somarriba de la Unidad de Desarrollo de Agronegocios del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) como parte de la consultoría 'Uso actual y la oferta de tecnologías sostenibles en las cadenas de valor del cacao en Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua para mejorar la seguridad alimentaria', para el Programa Agroalimentario Sostenible, el cual es financiado por el pueblo de los Estados Unidos a través la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) e implementado por la Unidad Regional para el Desarrollo Rural Sostenible (RUTA) del Consejo Agropecuario Centroamericano. La información presentada en este documento, así como las opiniones expresadas, son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente las de RUTA, USAID o el Gobierno de los Estados Unidos.

Contenido

1. Introducción -----	5
2. Uso de clones-----	10
3. Control efectivo de moniliasis -----	14
4. Fertilización de plantaciones-----	17
5. Diseño del dosel de sombra -----	21
6. Tamaño de las plantaciones de cacao -----	29
Bibliografía Citada -----	31



1. Introducción

El cacao se ha cultivado en Mesoamérica por más de 3000 años. Al momento de la conquista española, hace más de 500 años, la producción de cacao se concentraba en el Soconusco, Chiapas (costa pacífica del sur de México), con una segunda zona de producción en Izalco, El Salvador, y pequeñas zonas de producción en Rivas, Nicaragua, en las riberas del lago de Nicaragua en lo que es hoy Guatuzo, Costa Rica, a orillas del río Tempisque de Costa Rica (Touzard, 1993) y en la cuenca del río Sixaola en el caribe de Costa Rica (Patiño, 2002).

Los primeros inventarios tecnológicos de la producción de cacao se realizaron a finales del siglo XV en el Soconusco, aprovechando la excelente información que el imperio Azteca mantenía sobre sus colonias y tributos (Gasco, 1996).

Luego de la declinación de la producción en el Soconusco (debido a la reducción en la disponibilidad de mano de obra por las altas tasas de mortalidad de la población indígena por enfermedades introducidas por los colonizadores europeos) y el envejecimiento de las plantaciones (Gasco, 1996) durante la época colonial, el principal centro de producción de cacao se desplazó primero a Venezuela, luego al Ecuador (Phillips et al., 2013), luego al sur-este de Brasil y, desde hace un poco más de 100 años, hacia África del oeste y central, la principal zona de producción de cacao en el mundo hoy día (www.worldcocoafoundation.org).

Centroamérica nunca fue un centro importante de producción de cacao a escala mundial, ni continental.

Hoy en día, la producción de cacao de Centroamérica (unas 5000 toneladas métricas anuales) sigue siendo insignificante a nivel mundial debido a su reducida cobertura (unas 20 000 ha en seis países: Panamá, Costa Rica, Nicaragua -actualmente el mayor productor de cacao de Centroamérica-, Honduras, Guatemala y Belice) y muy bajos rendimientos, en el rango 150-300 kg/ha/año.

El cacao se cultiva en zonas remotas (Figura 1), muchas de ellas en la frontera agrícola y en los alrededores de importantes áreas de conservación de bosques naturales. El cacao lo producen campesinos mestizos (Nicaragua y Honduras) y, principalmente, varios grupos étnicos, incluyendo: Ngobe y Teribe en Panamá, Bribri y Cabécar en Costa Rica, Mayangna y Miskitos en Nicaragua-Honduras, y Mayas Mopán y Quekchí en Guatemala y Belice.

La prevalencia de grupos étnicos en el cultivo del cacao tiene importantes implicaciones en la adopción de tecnologías de producción, que muchas veces chocan contra valores culturales fuertemente arraigados en la cultura indígena.

Por ejemplo, en la cultura Bribri y Cabécar, el cacao es femenino y existe fuerte resistencia a podar, cortar ramas y “dañar” la planta; la laxitud y frecuencia en la

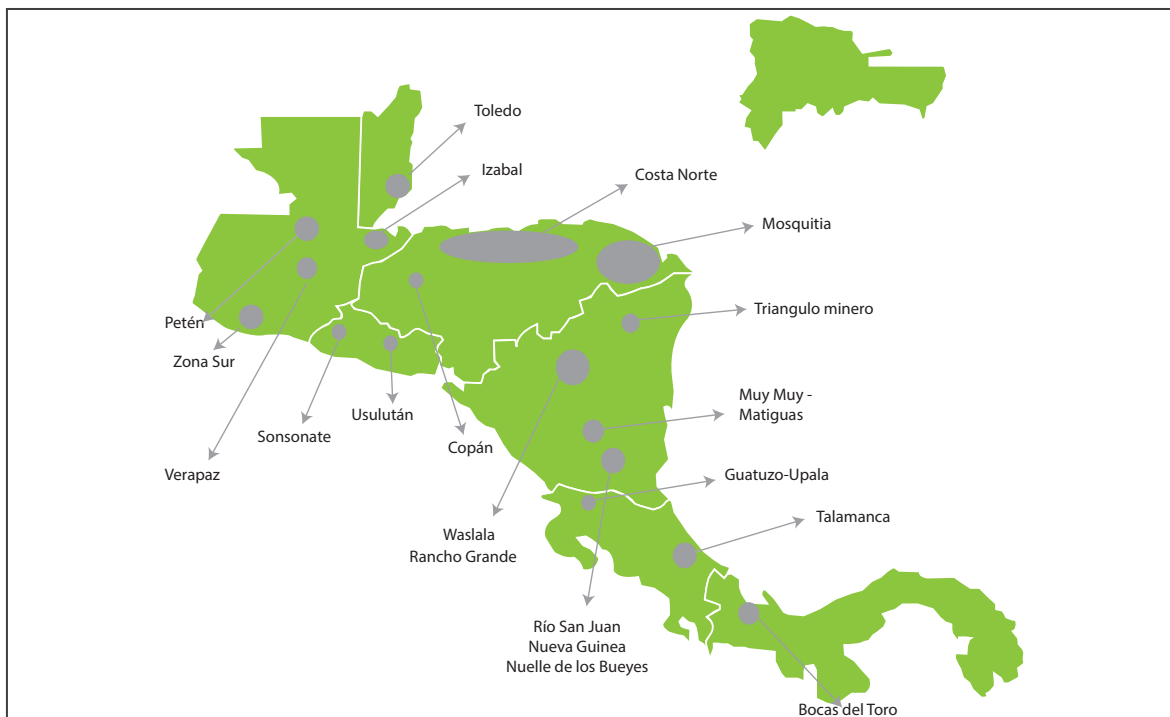


Figura1. Mapa de las zonas de producción de cacao de Centroamérica.

poda anual del cacao tienen efectos negativos sobre el rendimiento de la planta debido a la menor floración y mayor incidencia de plagas gracias a la presencia de un microclima favorable para el desarrollo de plagas y otros patógenos.

Otro ejemplo, Chamanes y ancianos con fuerte influencia en las comunidades indígenas tienen procedimientos precisos sobre la selección de la planta fuente de semilla, de la ubicación del fruto en la planta, de la ubicación de la semilla dentro del fruto y otras especificaciones.

Estos protocolos culturales de reproducción sexual del cacao chocan con las actuales recomendaciones técnicas de utilización de clones (injertos o estacas enraizadas), los cuales pueden producirse sin mediación de semilla sexual y que invalidan todas las tradiciones y posición de poder de chamanes y ancianos en sus comunidades.

En el año 2007, los productores cacaoteros centroamericanos estaban compuestos por aproximadamente 16,400 hogares (equivalentes a 98,400 mil personas) y se dedican a la agricultura de

subsistencia (arroz, maíz, frijol, bananos y plátanos, yuca) y al cultivo del cacao.

Las familias cacaoteras de la región cultivan, en conjunto, unas 18 mil ha de cacaotales, producen anualmente casi seis mil toneladas de cacao con un valor bruto aproximado de US\$ 7 millones por año (Orozco-Aguilar., et al 2014). Los grupos campesinos e indígenas que cultivan el cacao se concentran en una o varias “zonas o territorios” cacaoteros en cada país.

En Panamá, la zona cacaotera principal (concentra >90% de la producción y hogares cacaoteros del país) se localiza en varias localidades de la Provincia de Bocas del Toro.

En Costa Rica, los territorios cacaoteros principales se encuentran en Talamanca (piedemonte, valles aluviales, planicie costera); en el eje ferroviario entre Limón y Guápiles; y en la zona norte entre Guatuzo-Upala.

En Nicaragua, hay al menos tres núcleos cacaoteros, cada uno con varias localidades: el más antiguo y

más grande entre los Municipios de Rancho Grande y Waslala; el triángulo minero en el noreste de Nicaragua; y el eje sur en los departamentos de Río San Juan y la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS).

En Honduras se cultiva cacao a lo largo del piedemonte de la costa norte, y en Río Plátano.

En Guatemala existen tres zonas cacaoteras bien diferenciadas:

1. la costa sur (Pacífico, sur occidental o Boca Costa), los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa, colindando con el Estado de Chiapas en México;

2. en los Municipios de Cahabón y Lanquín en Alta Verapaz, en la ladera atlántica de Guatemala; y
3. el Departamento de Izabal.

En Belice, las zonas cacaoteras incluyen varias localidades de los Distritos de Toledo (varias comunidades en las colinas Maya), Cayo, Stan Creek y Belice.

En El Salvador existen muy pocas plantaciones de cacao (Orozco-Aguilar et al., 2014), aunque eso está cambiando rápidamente.

Los cacaotales se cultivan en terrenos de laderas, en zonas húmedas de la región Atlántica de Centroamérica, en zonas cálidas con altitudes debajo de los 600 m (Cerda et al., 2014). (Cuadro 1)

Cuadro 1. Características climatológicas de los terrenos de los cacaotales en Centroamérica

Característica	Guatemala	Costa Rica	Nicaragua	Honduras	Panamá
Precipitación (mm y ⁻¹)	1700-2300	3000-4500	2000-2700	2000-2500	2800-3500
Temperatura (°C)	29-35	26-30	26-30	30-35	25-30
Humedad relativa (%)	75-80	75-99	70-85	80-85%	80-90
Altitud (m)	190-500	62-400	153-774	17-556	22-410
Pendiente (%)	0-62	0-36	3-44	0-123	0-53
Área del cacaotal (ha)*	0.53±0.74	1.08±1.00	1.00±0.54	2.41±2.27	2.09±1.8

* La cifra a la derecha del signo ± es la desviación estándar
Fuente: Cerda et al., 2014

Las fincas de las familias cacaoteras de Centroamérica suministran entre 20-50 productos agropecuarios para la venta y el consumo en el hogar (Orozco-Aguilar et al., 2014). Se manejan en promedio 20 productos agrícolas en las fincas, entre frutales, granos básicos (arroz, maíz y frijol), musáceas, tubérculos, especias, ganadería mayor y menor. Las fincas con mayor diversificación agrícola se encuentran en Honduras, Nicaragua, Belice y Guatemala y las fincas menos diversificadas en Costa Rica y Panamá.

El cacao es el cultivo más importante para el 50% de las fincas cacaoteras; en el restante 50% de las fincas, el cacao ocupa el segundo o tercer lugar de importancia productiva. Por ejemplo, en Belice las fincas producen frijoles, naranjas, cacao, maíz y arroz; en Alta Verapaz, Guatemala, producen cardamomo, maíz, cacao, café

y frijoles; en la costa sur de Guatemala las fincas cacaoteras producen banano, cacao, café, madera aserrada, frutales; en la costa norte de Honduras, plátano, cacao, naranjas, ganado doble propósito y maíz; en Waslala, Nicaragua producen cacao, ganado de carne, frijoles, cerdos y café y maíz; en Talamanca, Costa Rica, las fincas producen cacao, plátano, banano, cerdos y arazá; y en Bocas del Toro, Panamá, las fincas cacaoteras producen cacao, madera aserrada, pejíbaye, banano y plátano.

Los cacaotales centroamericanos se encuentran entre los 100-830 m de altitud, con rendimientos medios de 205 kg/ha/año-1 (60-328 kg/ha/año) y se cultivan en pequeñas áreas de 1 ha por finca (0.8-3.0 ha por finca). Los productores cultivan tres tipos de cacao: 1) cacao "criollo" (esta denominación no corresponde al grupo

genético criollo sino de Trinitarios plantados hace más de 40 años), conocido también como indio, local o primitivo, fue el material más viejo, plantado entre 1960-1980; 2) cacao híbrido o mejorado, plantado en la década de los 90's; y 3) cacao injertado.

El cacao centroamericano se produce con muy poca tecnología. Los principales rasgos tecnológicos de las plantaciones son:

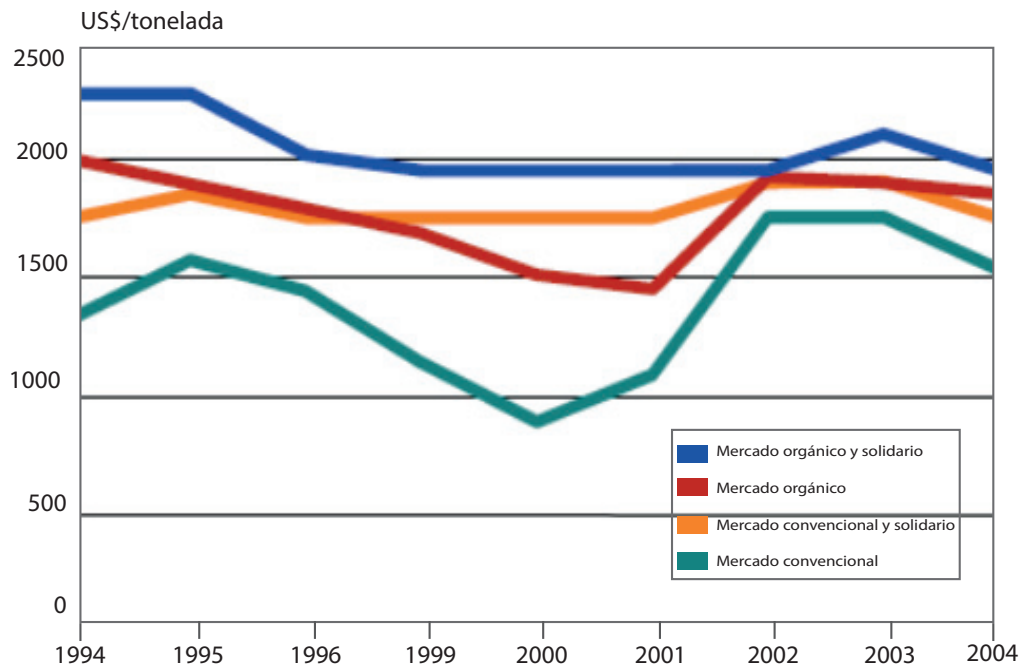
1. Pequeñas plantaciones, típicamente en el orden de 1.5 ha, con algunas diferencias notorias entre países (Cerde et al., 2014). Por ejemplo, los productores hondureños (2.4 ± 2.3 ha/finca) y panameños (2.1 ± 1.8 ha/familia) manejan plantaciones un poco más grandes que en Nicaragua y Costa Rica (1.0 ± 0.5 ha/finca), y especialmente, más grandes que las plantaciones de cacao en Guatemala (0.5 ± 0.7 ha/finca). La cifra a la derecha del signo \pm es la desviación estándar.
2. Plantaciones envejeciendo y perdiendo productividad; muchas tienen >25 años, aunque hay muchas nuevas plantaciones en Nicaragua.
3. Plantas de semilla híbrida (no siempre de primera generación, F1). El uso de semilla colectada de plantaciones familiares (es decir, semilla F2 o F3) pierden progresivamente el vigor híbrido y alcanzan menores rendimientos. En los últimos 10 años se estableció en la región un proceso muy dinámico de utilización de injertos y clones en lugar de plantas de semilla; el proceso es irreversible.
4. Control deficiente de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), principal enfermedad fungosa de la región, responsable de pérdidas de hasta el 90% de la cosecha cuando no se maneja. Pérdidas menores son también causadas por la incidencia de mazorca negra (*Phytophthora palmivora*), otra enfermedad fungosa que daña frutos y otros tejidos de la planta. La región centroamericana se encuentra amenazado por el avance de la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), actualmente presente en la región atlántico sur de Panamá y avanza hacia el norte. La escoba de bruja es una enfermedad tan severa como la monilia.
5. Cacao Trinitario con buenas características organolépticas y con una reputación comercial favorable en el mercado internacional. El cacao Trinitario se cultiva en todo el arco de las Antillas (unas 200 000 ha), norte de América del Sur (especialmente Venezuela y Colombia, quienes en conjunto cultivan unas 100 000 ha) y en otras regiones del mundo como Sri Lanka, Indonesia, Madagascar y Tanzania.
6. Bajas densidades de siembra del cacao, típicamente en el orden de 500-600 plantas/ha; la densidad de siembra recomendada para los híbridos que se cultivan en la región es de 1111 plantas/ha, equivalentes a espaciamientos de 3x3 m.
7. No se aplican fertilizantes (orgánicos, ni inorgánicos) en cantidades conmensurables con los rendimientos esperados. Muchos agricultores orgánicos usan fertilizantes orgánicos basados en compost, bocashi y bio-fermentos, pero las cantidades producidas y aplicadas son demasiado pequeñas para proveer los nutrientes necesarios y en las cantidades necesarias para mantener rendimientos sostenibles encima de 500 kg/ha/año. Por ejemplo, se requiere la aplicación de >4 toneladas de compost por hectárea para mantener rendimientos de una tonelada por hectárea y año, aproximadamente. La preparación y aplicación de este tonelaje es prohibitivo y prácticamente imposible de implementar en las fincas remotas (sin fuentes suficientes de desechos animales con altos tenores de N, P y otros nutrientes) y en terrenos con pendientes de moderadas a fuertes.
8. Con excepción de Guatemala y en parte de Honduras, la producción de cacao es certificada orgánica – comercio justo. Esta condición es resultante del apoyo de ONGs y otros organismos de la cooperación internacional durante los 1980's y 1990's cuando los precios bajos del cacao provocaron el abandono o el manejo laxo de las plantaciones y se pensó que el bajo nivel de tecnología aplicado ofrecía oportunidades para explorar estos mercados certificados y obtener mejores precios (Figura 2).
9. Uso de doseles de sombra mixtos, con árboles que además de sombra producen fruta, madera, medicina y mejoramiento

de la fertilidad del suelo (mayormente mediante el uso de especies leguminosas de los géneros *Gliricidia*, *Inga* y *Erythrina*).

10. Poda del cacao una vez por año o menos. La falta de poda produce plantaciones muy compactas, con las copas de árboles vecinos entrecruzadas, mucha auto-sombra que reduce la floración y crea un microclima favorable para el desarrollo de las enfermedades fungosas típicas de la región.
11. Calidad baja del cacao debido a pobres procesos de cultivo, corta, fermentación, secado y almacenamiento. El inadecuado manejo post-cosecha del cacao desaprovecha el valioso potencial de alta calidad, buenos mercados y precios que ofrece el mercado internacional por el cacao Trinitario.

Se requieren innovaciones en estos once elementos de la cacaocultura centroamericana. Sin embargo, hemos priorizado cinco innovaciones por sus posibles impactos en rendimientos, calidad y seguridad alimentaria, y por la factibilidad de implementación.

Las innovaciones priorizadas son: cambio de híbridos por clones (nuevo germoplasma y tipo de planta), control químico de moniliasis, fertilización inorgánica, diseño del dosel de sombra y cambios en tamaño de las plantaciones. A continuación se describe en detalle el estado de la línea base en la región para cada componente tecnológico, se listan y describen las innovaciones propuestas y sus posibles impactos, y se ofrece un listado de publicaciones clave y enlaces web en cada sección.



Fuente: Hinojosa 2002

Figura 2. Precios de mercado para el cacao convencional y varios esquemas de certificación

2. Uso de clones

Línea base

La identificación, selección, mejoramiento y uso de germoplasma superior de cacao es una de las principales herramientas para elevar los rendimientos (por hectárea, por dólar o por jornal invertido), reducir el impacto de plagas y enfermedades, y producir las calidades industriales y organolépticas requeridas por la industria y los consumidores.

La composición genética de las plantaciones de cacao de hoy son el producto de un largo proceso evolutivo en el uso de germoplasma a nivel mundial, y regional. Un trazado histórico de la utilización de germoplasma en Centroamérica y en todo el mundo se presenta a continuación.

Hasta inicios del siglo XX, el cacao cultivado en el mundo estaba constituido por genotipos seleccionados por los mismos productores utilizando rasgos fenotípicos de interés, por ejemplo, altos rendimientos, frutos con muchas semillas grandes (> 1 g peso seco), adaptación a ciertas condiciones ambientales, etc.

A partir de 1930 y hasta 1960, luego de las primeras expediciones de recolección de germoplasma silvestre de cacao en la cuenca Amazónica, se evaluaron experimentalmente los clones o individuos con características deseables que se usarían como progenitores para producir semilla híbrida (cruces inter-clonales). De este esfuerzo salieron las series de clones ICS de Trinidad (Johnson, 2009), UF de la United Fruit Company, EET y LCTEEN del Ecuador, las series Pound, IMC y Escavinas del Perú, la serie GU de Guyana, SIAL de Brasil, y muchas otras. Entre 1960 y 1980 se generalizó el uso de semilla híbrida de cruces inter-clonales entre progenitores seleccionados de estas series.

En Centroamérica, la estrategia fue utilizar semilla híbrida cruzando clones Trinitarios (que producen cacao de alta calidad organoléptica) y Forasteros de alto vigor, adaptabilidad, tolerancia a enfermedades (especialmente a mazorca negra ya que en esa época la moniliasis aún no había llegado a la región) y buena calidad industrial (contenidos de manteca, tamaño de semilla, rendimiento de cascarilla, etc.).

La calidad se trataba como un problema de post-cosecha: lograr buena fermentación y secado del grano con poca atención a los aspectos organolépticos, salud humana y bio-seguridad.

El período 1980-2000 fue un período de transición y cambio genético, propiciado por la aparición de la moniliasis, para la cual no existía resistencia incorporada en los híbridos utilizados comercialmente en Centroamérica.

En ese período, sin tiempo para realizar la investigación necesaria que determinara la resistencia a la moniliasis de los híbridos actuales y otros nuevos por desarrollar, se afinaron las recomendaciones de híbridos y se comenzó a distribuir material clonal (de clones progenitores de los cuales se tenía conocimiento de su respuesta a moniliasis en Suramérica, o pre-seleccionados según estudios de inoculación artificial).

En esa época se comenzó a investigar sobre la generación de nuevos clones e híbridos con tolerancia a moniliasis usando progenitores con tolerancia determinada mediante inoculaciones artificiales y marcadores moleculares.

En la colección de germoplasma de cacao del CATIE se identificaron cinco clones progenitores con tolerancia a moniliasis, se cruzaron mediante polinización manual, sus progenies se plantaron en el campo (en las condiciones del trópico húmedo costarricense y con alta presión de inóculo de monilia) y los individuos se evaluaron durante 13 años para identificar los genotipos superiores.

Los genotipos superiores se clonaron y establecieron en plantaciones clonales puras para determinar su adaptación al ambiente, productividad, tolerancia a moniliasis y calidad de chocolate. De este proceso se seleccionaron seis clones que se comenzaron a distribuir en la región con apoyo del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC-CATIE) entre 2008-2012 (Phillips, 2013).

La distribución de clones de cacao, en lugar de semilla híbrida, se ha intensificado a partir del año 2000. La lista de clones utilizados incluye los de la

serie CATIE_Rx, clones internacionales (varios de la serie ICS) y selecciones locales de productores y otras instituciones de investigación en cacao y ONGs en Centroamérica (INTA, FHIA, Estación Experimental Bulbuxa de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, TechnoServe).

Innovación: masificar el uso de clones y plantas injertadas de porte bajo

Un estudio de línea base en Centroamérica en el 2007 mostró que 94% de las plantaciones son híbridas (dos generaciones de materiales híbridos plantados entre 1960-1980 y entre 1980-2000); apenas el restante 6% eran plantaciones comerciales con clones (Orozco-Aguilar et al 2014).

No hay estudios recientes que nos permitan determinar qué porcentaje de las plantaciones actuales usan híbridos y clones, pero la mayoría de las nuevas plantaciones establecidas en los últimos cinco años usan clones y plantas injertadas.

Las plantaciones híbridas actuales son mezclas de progenies de cruces inter-clonales de una larga lista de clones progenitores, incluyendo (lista no exhaustiva): UF 668, Pound 7, IMC 67, UF 677, UF 613, Pound 12, SPA 9, UF 296, CC 18, CC 252, Catongo, UF 654, UF 12, UG 296, UF 676, UF 667, CC 9, UF 29, SCA 6, SCA 12, UF 650, EET 96, EET 48, EET 162, EET 95, EET 62, EET 75, EET 96, EET 399, EET 400, ICS 8, ICS 95, ICS 1, ICS 6, ICS 8, ICS 39, ICS 60, TSH 568, CATIE 1000, PA 169, SPA 9, P 23, ARF 22, ARF 6, ARF 37 y otros.

Las poblaciones híbridas de cacao se caracterizan por la elevada variabilidad en el rendimiento por planta, siguiendo la Ley de Pareto: 70% de la producción por hectárea es producida por el 30% de los árboles de cacao. Hay muchos árboles improductivos en una población híbrida de cacao y todos requieren manejo (y esto conlleva costos) y por eso no es de extrañar el interés actual de plantar únicamente genotipos altamente productivos, clonados para reducir la variabilidad genética por planta.

El uso de clones e injertos en lugar de plantas de semilla tiene además efectos significativos sobre el tamaño de planta (plantas más pequeñas y con poco crecimiento apical en los injertos y plantas de porte alto y profusa producción de chupones que elevan constantemente la altura de la copa y dificulta y encarece el control de la moniliasis (y de la escoba de bruja).

En la actualidad, los programas de fomento cacaotero se basan en la utilización de los clones superiores del CATIE (CATIE_R1, CATIE_R4, CATIE_R6, CC 137 y PMCT 58) y clones internacionales (ICS 1, ICS 95, CCN 51, Caucasia 39, Caucasia 43) y selecciones locales (ejemplo: FHIA 708, FHIA 719, FHIA 738).

Los nuevos clones del CATIE y otros clones internacionales promisorios permiten alcanzar rendimientos entre 1000 – 2300 kg/ha/año (Cuadro 2), pérdidas por moniliasis entre 5-30% (Cuadro 3) y excelente calidad físico-química y organoléptica (Cuadro 4 y Cuadro 5) (Phillips-Mora et al 2013).

Estos clones se han establecido en jardines clonales en toda la región y se encuentran en plena fase de expansión. En esta fase inicial de expansión del uso de clones, es necesario ampliar la disponibilidad de los nuevos materiales fomentando el establecimiento de jardines clonales por toda la región, en cantidades suficientes para satisfacer la demanda.

Por ejemplo, la sustitución de unas 20 mil ha de plantaciones híbridas con densidad promedio de 600 plantas/ha por la misma superficie de plantaciones clonales a 1000 plantas/ha, requiere la producción de unos 30 millones de injertos.

A la par de aumentos en la disponibilidad de yemas y semillas para patrón en los jardines clonales, se necesita mejorar la capacidad humana y física para propagar asexualmente estos genotipos (mediante injertos, estacas enraizadas, embriogénesis somática, etc.).

El uso de clones y plantas injertadas, en lugar de plantas de semilla sexual, es un cambio mayúsculo en la manera de cultivar cacao en la región.

La utilización exitosa de clones e injertos requerirá nuevas destrezas en las familias para propagar asexualmente el cacao, manejar nuevos sistemas de poda para mantener plantas de porte bajo y facilitar el manejo de la monilia, y eventualmente, de la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), otra enfermedad fungosa que se encuentra en Panamá y avanza hacia el norte de Centroamérica.

El uso de material genético de alto rendimiento, como son estos clones, también requerirá ajustes en el manejo de sombra y en la fertilización del cacao. Los productores requerirán mucha capacitación y orientación en el desarrollo de un nuevo modelo de producción de cacao basado en clones de alto rendimiento.

Cuadro 2. Rendimiento y pérdidas por moniliasis y mazorca negra de clones de la serie CATIE_Rx y de series internacionales de referencia.

Clon	Promedio primeros 7 años			Promedio 11 años			Promedio últimos 5 años		
	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra
CATIE - R6	1018	5	0	1485	5	0	2363	4	0
CATIE - R4	977	7	1	1336	9	1	2070	12	1
CC - 137	854	24	2	990	32	1	1321	43	0
CCN - 51 T2	772	37	5	824	45	4	1034	56	2
CATIE - R1	745	10	8	1066	12	7	1674	15	6
PMCT - 58	703	20	5	789	26	4	1036	35	2
ARF - 22	667	49	1	756	54	0	1012	62	0
UF - 273 T1	655	13	5	933	14	4	1395	16	3
EET - 183	645	27	3	760	30	3	1038	33	2
CATIE - R 2	640	9	7	839	12	6	1204	18	2
Árbol - 81	634	45	1	732	47	1	976	48	0

Fuente: Phillips-Mora et al (2013).

Cuadro 3. Producción e incidencia de enfermedades de los clones del CATIE y otros clones internacionales de referencia.

Clon	Incidencia natural de enfermedades (%)				Reacción artificial		Producción (kg/ha/año)		Indices			
	Moniliasis		Mazorca negra		Moniliasis ^{1/}	Mazorca negra ^{2/}	Promedio de 11 años	Promedio de últimos 5 años	Mazorca	Semilla	Eficiencia	
	Promedio de 11 años	Promedio de últimos 5 años	Promedio de 11 años	Promedio de últimos 5 años								
Clones Seleccionados	CATIE - R6	12	15	7	6	MR	S	1066	1674	29	1.3	4.05
	CATIE - R4	9	12	1	1	R	S	1336	2070	18	1.5	3.81
	CATIE - R6	5	4	0	0	R	MR	1485	2363	24	1.4	5.34
	CC - 137	32	43	1	0	MS	MR	990	1321	24	1.7	3.71
	ICS - 95 T1	26	32	6	4	MS	MR	636	926	22	1.2	3.79
	PMCT - 58	26	35	4	2	MS	AS	789	1036	27	1.2	4.35
Testigos	CCN - 51	45	56	4	2	MS	S	824	1034	18	2.14	4.45
	POUND - 7	75	86	0	0	MS	R	542	668	25	1.23	2.21
	SCA - 6	75	84	2	0	MS	AR	94	117	47	0.58	0.90
	UF - 273 T1	14	16	4	3	R	AS	933	1395	31	1.32	5.00

Fuente: Phillips-Mora et al (2013).

Cuadro 4. Características físico-químicas de los nuevos clones distribuidos por el CATIE para plantaciones comerciales.

Parámetros	CATIE - R1	CATIE - R4	CATIE - R6	CC-137	PMCT-58
Peso promedio del grano fermentado y seco (g)	1.25	1.30	1.35	2.00	1.15
Grasa (%)	52.3	56.2	55.7	50.6	59.1
Cafeína (mg/g P.S.L.G.)	6.31	4.22	3.77	8.64	5.74
Teobromina (mg/g P.S.L.G.)	18.98	22.90	19.30	30.67	23.64
Relación teobromina/cafeína	3.01	5.43	5.12	3.55	4.12
Aminoácidos libres (mg/g P.S.L.G.)	16.85	14.43	14.18	9.60	23.77
Azúcares reducidos (mg/g P.S.L.G.)	2.059	1.787	2.046	1.492	0.836
Polifenoles totales (mg/g P.S.L.G.)	55.19	52.13	52.45	64.17	62.83
Epicatequina (mg/g P.S.L.G.)	4.63	2.22	3.20	7.35	3.07
Catequina (mg/g P.S.L.G.)	0.16	n.d	n.d	0.32	n.d

Fuente: Phillips-Mora et al (2013).

Cuadro 5. Características organolépticas de los clones del CATIE distribuidos para plantaciones comerciales.

CATIE - R1: Acidez suave inicial que definitivamente es de carácter frutal. Muy agradable. Gusto moderado a cacao en el medio con algún amargor. Astringencia presente pero moderada. Termina con nota frutal a cacao muy agradable junto con un amargor suave.

CATIE - R4: Acidez inicial que es un cruce entre acidez frutal y mineral similar a la del cacao de Papúa-Nueva Guinea. En el medio cambia a una nota muy aromática y floral-maderosa similar a cedro fragante. El sabor a chocolate es moderado, con una ligera astringencia pero más amargor. Tiene un tipo de sabor a almendra muy interesante.

CATIE - R6: Acidez moderada hasta acidez mineral con notas de acidez frutal. En el medio tiene algunas notas de madera oscura con moderada astringencia. Mas tarde, tiene una nota a fruto seco. Tiene un sabor a buen chocolate del medio hacia el final.

CC-137: Acidez moderada hasta una mezcla de acidez frutal (cítrica) y mineral. El sabor a cacao es relativamente bajo. Tiene poco amargor y moderada astringencia. Tiene algunas notas oscuras genéricas. Este no es un grano particularmente distintivo. Podría ser usado como chocolate muy suave con leche.

PMCT - 58: Acidez moderada temprana que propicia unas notas a fruto seco, a cuero y pasas secas. Sabor limpio. Tiene poca astringencia y moderado amargor. Algo de sabor a chocolate pero es suave. Tiene un perfil de sabor muy interesante

Fuente: Phillips-Mora et al (2013).

3. Control efectivo de moniliasis

Línea base

La monilia es un hongo (familia Marasmiaceae) originario del noroeste de Colombia (Departamento de Santander) que ataca los frutos de las especies del género *Theobroma* (*T. cacao*, *T. bicolor*, *T. grandiflorum*, *T. mammosum*,...) y *Herrania*, en un amplio rango de condiciones ambientales, desde el nivel del mar hasta 1500 m de altitud, entre 800 – 5500 mm/año de lluvia y entre 18 – 26 °C de temperatura media anual del aire (Evans 1981; Phillips-Mora, 2003).

Se han identificado cinco grupos genéticos de monilia, dos de los cuales tienen una amplia distribución geográfica: el grupo “Bolivar”, distribuido al norte de Santander, Colombia, este de Venezuela y alrededores de Perú y Ecuador; y el grupo “Co-West” distribuido en el oeste de Colombia, centro de Ecuador y Centroamérica. Los otros tres grupos (“Co-East”, “Co-Central” y “Gileri”) parecen ser endémicos a Colombia (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007ab).

La monilia se dispersa mediante billones esporas producidas en los frutos enfermos y dispersas localmente por el viento; los humanos son los principales dispersores a larga distancia de la monilia al transportar frutos aparentemente sanos (favorecido por el largo período que transcurre entre la infección y la aparición de signos visibles).

La severidad de la infección es mayor en frutos jóvenes de < 3 meses de edad; la dispersión local de las esporas por el viento se favorece con climas secos pero requiere humedad y una película de agua sobre el fruto para la germinación de la espora y la infección del fruto.

El ciclo de vida de la monilia dura aproximadamente 90 días (tres meses), iniciándose con la llegada de la espora a la superficie del fruto y su germinación e ingreso al interior del fruto a través de los estomas; los primeros síntomas son visibles a los 30 días desde la infección. Luego, el hongo se desarrolla dentro del fruto y dependiendo de las condiciones del fruto y del ambiente, produce las manchas cafés de forma

irregular entre 20 – 50 días; el micelio blanco con esporas aparece a los 8-12 días. El fruto cubierto por el micelio blanco produce y dispersa esporas durante al menos 7 meses (Phillips-Mora y Cerda, 2009).

En Centroamérica el cacao se cultiva mayormente en zonas húmedas de la región Atlántica (10 – 15 ° latitud norte, 2000 – 5000 mm/año sin un periodo seco prolongado y bien diferenciado, 20 – 26 °C, a elevaciones < 700 m altitud) en condiciones favorables para la dispersión, desarrollo e infección del hongo (Cuadro 1). En estas condiciones el cacao concentra su producción en dos periodos de cosecha (una cosecha menor entre junio – agosto y una cosecha mayor entre octubre – febrero, dependiendo de la latitud y altitud del sitio de plantación) pero con pequeñas floraciones todo el año que resultan en la presencia de frutos de varias edades en la mayor parte del año. Esta condición es favorable para el desarrollo y persistencia de la monilia porque siempre hay frutos jóvenes susceptibles que atacar y utilizar para producir más inóculo. La monilia es capaz de causar pérdidas entre 10 – 90% de la cosecha si se usan genotipos susceptibles y se maneja en forma deficiente la plantación y la enfermedad.

Innovación: incorporar medidas efectivas de control de monilia en el manejo del cacao

El genotipo (híbridos y clones) y las condiciones locales del sitio (por ejemplo, la existencia de fuentes de inóculo cercanas a la plantación, la altitud por su efectos sobre la temperatura, etc.) tienen marcados efectos sobre la incidencia y virulencia del patógeno. Por ejemplo, las pérdidas por monilia en híbridos pueden variar entre 600 – 1200 kg/ha/año, dependiendo del genotipo y de las condiciones locales del sitio (Somarriba y Beer, 2011); las mayores pérdidas en el sitio en Panamá son producidas por la fuerte presión de inóculo de plantaciones de cacao abandonadas en los alrededores del sitio experimental; el sitio experimental en Costa Rica estaba rodeado de plantaciones de banano, sin fuentes cercanas de inóculo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento de cacao seco en grano y porcentajes de pérdidas de cosecha debido a monilia y otras fuentes en Talamanca, Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá.

Sitio	Cruce inter-clonal	Rendimiento (kg/ha)	Pérdidas (%)
Costa Rica	Pound7xUF668	1200±288	32±6
Costa Rica	UF613xPound12	1112±205	39±13
Costa Rica	UF676xIMC67	917±328	37±7
Costa Rica	UF29xUF613	726±383	33±8
Costa Rica	CatongoxPound12	723±262	30±8
Costa Rica	UF613xIMC67	698±289	38±9
Panamá	UF12xPound7	1048±275	52±11 a
Panamá	UF613xUF29	826±159	69±7b
Panamá	UF613xPound7	805±290	56±10
Panamá	UF29xCC18	686±230	56±8
Panamá	CatongoxPound12	665±227	52±10
Panamá	UF676xIMC67	664±250	56±11

Nota: Valores son promedios ± desviación estándar

Fuente: Somarriba E, Beer J. (2011)

La mayoría de los genotipos híbridos en las plantaciones comerciales actuales son susceptibles a este hongo porque se utilizaron progenitores sin tolerancia a monilia en la producción de semilla híbrida distribuida hasta el año 2000. Entre los clones, se pueden detectar notorias diferencias en la incidencia de moniliasis (Phillips-Mora et al., 2013), con algunos sufriendo pérdidas de >70% y otros con < 10% (Cuadro 3). Similares resultados se han obtenido en la costa norte de Honduras con individuos superiores seleccionados de progenies de progenitores con tolerancia a monilia (FHIA, 2013).

Muy poca investigación se ha dedicado al desarrollo de medidas efectivas para el control de la moniliasis, quizás debido a su distribución restringida en América Latina (aún no se ha reportado la presencia de monilia en Brasil, el principal productor con unas 650.000 ha de cultivo, ni en los países del Caribe, que incluye a la República Dominicana con >200.000 ha plantadas). Desafortunadamente, la moniliasis se encuentra aún en expansión en América Latina y podría eventualmente alcanzar otras regiones productoras del mundo (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007; Phillips-Mora et al., 2006).

La mayoría de las recomendaciones de control se centra en el manejo del microclima dentro de la plantación (regulación de sombra, poda del cacao, mantenimiento de drenajes, uso de plantas de porte bajo para inspeccionar y remover fácilmente los frutos enfermos), acompañadas de prácticas culturales de manejo de la enfermedad (remoción semanal de frutos con síntomas de monilia, especificaciones sobre la disposición de los frutos enfermos para evitar la diseminación de las esporas –por ejemplo, eliminando frutos infectados en las primeras horas del día y en días lluviosos, enterrar o aplicar nitrógeno a los frutos infectados para acelerar la descomposición y evitar el desarrollo de las esporas, etc.-) (Phillips-Mora y Cerda, 2009). Los métodos de control biológico no ofrecen un control efectivo de la enfermedad en todas las condiciones ambientales donde se cultiva el cacao porque las poblaciones de hiper-parásitos benéficos no logran establecerse en condiciones de campo y proporcionar medidas confiables de control (Krauss y Soberanis., 2010; Krauss et al., 2001). Existen pocas experiencias y conocimiento de tecnologías de control químico de monilia, aunque sabemos que en lugares con un período seco bien definido y suficientemente prolongado (donde se rompe el ciclo anual de la enfermedad con la llegada del período

seco) y en zonas altas y frías la incidencia de moniliasis es menos severa que a nivel del mar, con mayores temperaturas, la efectividad de los fungicidas de contacto a base de hidróxido de cobre (190 litros/ha a razón de 1.5 kg de ingrediente activo por hectárea, usando bombas de motor y boquillas nebulizadoras dirigidas a los frutos) como medida profiláctica permiten controlar efectivamente la enfermedad y aumentar los rendimientos (Bateman et al., 2005; Krauss et al., 2010). Se necesita un enfoque integrado al manejo de la enfermedad, incluyendo prácticas culturales, bio-control y control químico para reducir las pérdidas de cosecha a niveles aceptables. Hace falta más investigación sobre alternativas de control integrado de la monilia.

El control efectivo de la monilia para aumentar rendimientos requiere:

- 1) la selección adecuada de los genotipos a cultivar y el uso de plantas de porte bajo (por ejemplo, mediante el uso de plantas injertadas, pero también por enanismo controlado genéticamente –hay investigación en curso buscando los genes que controlan el enanismo y desarrollo de las plantas de cacao; ya se conocen algunos genotipos de porte bajo y se trata de asociarlos con genes de alto rendimiento y buena calidad de chocolate);
- 2) la selección de zonas de cultivo que incluyan un período sequía suficientemente largo (3-4 meses) y severo que rompa el ciclo de vida del patógeno y produzca en el cacao floraciones concentradas en uno o dos eventos, sin floraciones intermedias. De este modo, el ataque de la monilia ocurrirá durante los primeros meses de vida de los frutos del cacao y facilitará y abaratará el control (cultural, biológico o químico) de la monilia;
- 3) mantenimiento de buenas condiciones micro-climáticas dentro de la plantación (ejemplo, buena aireación que mantenga seca la superficie de los frutos y limite la germinación de las espora;
- 4) al menos una poda anual profunda del cacaotal

para evitar condiciones de alta humedad y estimular la floración y formación de frutos;

- 5) remoción semanal de frutos durante los periodos de máxima cosecha y en forma quincenal o cada tres semanas en épocas de baja fructificación;
- 6) eliminación de mazorcas enfermas minimizando la dispersión de las esporas por la manipulación de los frutos enfermos (se trata de remover los frutos con la aparición de los primeros síntomas, en los estadios tempranos de desarrollo de la infección y así evitar la producción y dispersión de las esporas);
- 7) uso de medidas de control químico en dosis, frecuencia y forma de aplicación (por ejemplo, con equipo de aspersión que produzca gotas de agua del tamaño adecuado y que cubran el fruto en forma duradera; el crecimiento continuo de los frutos durante sus primeros tres meses de vida implica la ampliación de la superficie del fruto y requiere de varias aplicaciones y el uso de adherentes (fixer o pegas) para evitar la germinación de las esporas) congruente con el ciclo de vida del patógeno y fenología local del cacao; y
- 8) uso de medidas de bio-control que muestren efectividad en las condiciones locales.

Los productores necesitan conocer a profundidad la biología (especialmente la identificación temprana de los síntomas de la infección), epidemiología y alternativas de control para lograr un buen manejo agro-ecológico de la moniliasis. Se necesita conocer los valores críticos de infección, costos y efectividad de las medidas de control. Un estudio en Costa Rica indica que la aplicación de fungicidas para el control de la monilia es financieramente viable a partir de un precio de 1.5 US\$/kg de cacao seco (Bateman et al., 2005). Los precios actuales y los observados durante los últimos 10 años se han mantenido por encima de este valor crítico.

4. Fertilización de plantaciones

Línea base

No se aplican fertilizantes en la mayoría de las plantaciones de pequeños productores de cacao de Centroamérica (y del mundo, en general, con la excepción de Indonesia y Malasia). La fertilización inorgánica es práctica común en las explotaciones empresariales de cacao en Brasil, Ecuador, Indonesia y Malasia.

En las plantaciones no-fertilizadas, la producción de cacao depende únicamente de:

1. la migración de la producción cacaotera a nuevas zonas de bosque natural con suelos de buena fertilidad (Assiri et al., 2007; 1995); y
2. la caída de hojarasca, descomposición del mantillo y la liberación de nutrientes para el desarrollo y producción de los árboles de cacao y de las plantas del dosel de sombra (Hartemink, 2005).

La utilización de nuevas áreas boscosas para la producción de cacao no es una opción políticamente aceptable para muchos países hoy en día debido a que cada vez hay menos bosques que cortar y la sociedad está más preocupada por los problemas y consecuencias ambientales de la deforestación (Asase et al., 2009).

Por ejemplo, la expansión del cacao acabó con los bosques tropicales de Nigeria, Ghana y Costa de Marfil, los principales productores de cacao del mundo. Los bosques naturales en Camerún y en la cuenca del Congo (únicos remanentes de bosque tropical húmedo de África) se encuentran amenazados por la expansión del cacao para satisfacer la demanda de la industria mundial. A diferencia de América Latina, donde el cacao se mira como un cultivo “ecológicamente bueno” porque se cultiva en zonas previamente deforestadas, el cacao es fuentes de deforestación y degradación de ecosistemas naturales en África y Asia.

En América Latina, el cacao es responsable de la pérdida del ecosistema de bosque Atlántico del Brasil. Los productores eliminan todo el soto-bosque

(vegetación de menos de 10 cm de diámetro de tronco) y el 50-70% de las plantas altas del dosel de sombra para favorecer la entrada de luz y permitir la plantación del cacao.

Estos cacaotales “boscosos”, conocidos como Cabruca (Sambuichi, 2006; Sambuichi y Haridasan, 2007), son en realidad caricaturas degradadas del bosque natural, incapaces de ofrecer condiciones para la reproducción exitosa de las especies nativas valiosas del bosque natural (Rolim y Chiarello, 2004).

Varios estudios han documentado los flujos de la materia orgánica y los nutrientes en la hojarasca y el mantillo de los cacaotales de Centroamérica y otros lugares del mundo (Beer et al., 1990; Fassbender et al., 1991; Hartemink, 2005; Heuveland et al., 1988; Wienowicki, 2008). Los cacaotales de Centroamérica mantienen en promedio unas 260 Mg/ha biomasa, incluyendo 113 Mg/ha en el suelo, 109 Mg/ha en la vegetación arriba del suelo, 6 Mg/ha de raíces finas y gruesas y 1 Mg/ha de hojarasca (Somarriba et al., 2013). En promedio, 10 Mg/ha/año de hojarasca (rango entre 5-20 Mg/ha dependiendo de las condiciones de clima y vegetación en el dosel de sombra) con tenores (promedio \pm 1 desviación estándar) de N, P y K de 14.9 ± 3.3 g/kg, 1.2 ± 0.5 y 8.9 ± 5.1 , respectivamente (Hartemink, 2005).

La mayoría del Nitrógeno (N) del cacaotal se encuentra en la capa superior del suelo y menos del 10% se encuentra en la biomasa de los árboles de cacao y plantas del dosel de sombra y que entre 20-45% de este N se transfiere anualmente al suelo en la hojarasca. El Fósforo (P) en la biomasa de cacao y árboles de sombra es igual al contenido de P en el suelo superficial; la hojarasca que cae al suelo contiene entre 10-30% del N en la biomasa. La acumulación del Potasio (K) es baja en los cacaotales; el K intercambiable en la capa superficial del suelo varía entre 100 - 550 kg/ha.

La cosecha del grano de cacao es la principal pérdida de nutrientes del cacaotal. La cosecha de 1000 kg de grano de cacao extrae del sistema unos 20 kg de N, 4 kg de P y 10 kg de K; si se retiran también las cáscaras del fruto que contiene 1000 kg de grano seco, las cantidades de nutrientes perdidos ascienden a 35 kg N, 6 kg P, y 60 kg K (Hartemink 2005). Otros

Cuadro 7: Cantidades de Nitrógeno (N), Fósforo (P₂O₅), Potasio (K₂O) y Calcio (CaO) extraído en la cosecha de 1000 kg de grano de cacao y requerimientos de fertilizantes en la producción de cacao.

	Kg/ha				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
Pérdidas de nutrientes (en 1000 kg cacao seco)	36	13	79	11	8
Nutrientes en cáscara del fruto (en 1000 kg cacao seco)	14	4	68	6	7
Requerimientos de fertilizante (kg/ha)	453	114	788	221	540

Fuente: Jadin y Snoeck, 1985

estudios (Jadin y Snoeck, 1985) muestran cifras más altas (Cuadro 7).

Aunque las pérdidas de nutrientes por lixiviación (y también por erosión, a menos que se trate de cacaotales en zonas de ladera y cultivados sin sombra) son reducidas (Wienowicki, 2008), el balance de entradas y salidas de N, P y K en los cacaotales sin fertilización es negativo, especialmente el K (Hartemink, 2005).

La fertilización es imprescindible para elevar y sostener los rendimientos de cacao. La fertilización inorgánica es práctica común en plantaciones medianas y grandes, pero inexistente en plantaciones de pequeños productores.

En la producción orgánica, un número reducido de productores elabora y aplica pequeñas dosis de abonos y fermentos foliares orgánicos. Sin embargo, las dosis aplicadas no se corresponden con los niveles de rendimientos esperados. Por ejemplo, se requiere producir y aplicar > 5000 kg/ha/año de compost para satisfacer las demandas de nutrientes de una plantación con rendimientos alrededor de 1000 kg/ha/año de grano seco de cacao. Muchos agricultores no cuentan con suficientes fuentes de nitrógeno orgánico para producir compost y bio-fermentos de calidad en las cantidades requeridas para sostener altos rendimientos de cacao y otros productos del cacaotal; los costos de transportar las materias primas a las fincas (en zonas remotas con pobres vías de acceso, en regiones montañosas y plantaciones

en pendientes, etc.) y producir los abonos son muy altos; también son altos los costos de aplicación de los abonos orgánicos. Estos elementos hacen financieramente no-rentable la fertilización orgánica de las plantaciones de cacao de alto rendimiento. La aplicación de fertilizantes químicos es inevitable si se quiere mantener menores costos de manejo y altos niveles de rendimientos. Sin embargo, los costos crecientes de los fertilizantes inorgánicos, a la par de la mentalidad de bajo uso de tecnología prevaleciente en la producción del cacao, hacen poco atractivo el uso de fertilizantes inorgánicos. Las contradicciones y oportunidades asociadas a la utilización de fertilizantes inorgánicos se presentan con claridad en el escenario africano donde hay un fuerte impulso a la intensificación del manejo del cultivo para lograr mayores rendimientos (Gockowski y Sonwa, 2011; Ruf y Bini, 2011; Stemler, 2012).

La industria mundial del chocolate ha manifestado su disposición a comprar únicamente cacao certificado sostenible en el futuro cercano (2020); la certificación sostenible aceptada por la industria asigna un fuerte peso a los niveles de rendimiento. Por ejemplo, rendimientos < 400 kg/ha/año, característicos de la mayoría de países productores, se consideran no-sostenibles. Centroamérica, con rendimientos promedios alrededor de 200 kg/ha/año, quedará fuera de este mercado si no eleva sus niveles de productividad. La aplicación de fertilizantes, junto con la utilización de nuevos genotipos, son las dos principales rutas de intensificación del cultivo de cacao en marcha hoy en día.

Innovación: fertilización inorgánica de las plantaciones de cacao de Centroamérica

Aunque no se han desarrollado suficientes estudios de fertilización y respuesta de los rendimientos del cacao en Centroamérica, estudios en otras partes del mundo muestran claramente que se puede evitar el empobrecimiento de los suelos debido a la exportación de nutrientes con las cosechas y duplicar los rendimientos de grano con el uso de cantidades apropiadas de fertilizantes. Por ejemplo, en Costa de Marfil, la aplicación de fertilizantes completos eleva los rendimientos en 77% el primer año, 143% el segundo año y 107% el tercer año de aplicación de fertilizantes en plantaciones comerciales adultas (Stemler, 2012). La respuesta en rendimiento de cacao a los fertilizantes varió dependiendo de la edad y manejo de las plantaciones y la fertilidad natural del sitio. En cambio, la rentabilidad depende del costo de los fertilizantes, del costo de la distribución a finca

y del precio del cacao. Se concluyó que se justifica financieramente el uso de fertilizantes cuando la relación de precios de 1 kg fertilizante y 1 kg de cacao se encuentra encima de 1:3 (Ruf y Bini, 2011; Stemler, 2012).

En general, se requieren entre 300 – 600 g/árbol/año de fertilizantes completos (por ejemplo, para Honduras la recomendación es el uso de 60-30-60 g/árbol) para elevar y sostener los rendimientos de cacao alrededor de 1000 kg/ha/año (Dubón, 2011; Stemler, 2012). En suelos de baja fertilidad en Centroamérica, la aplicación de fertilizantes requerida puede ascender a 120, 60, 150, 150, 340 y 15 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, SO₄, CaO y MgO, respectivamente (Enríquez 1985). Respuestas significativas en rendimiento de grano y retornos financieros de la producción de cacao a la fertilización han sido documentadas para Colombia (Uribe et al., 1998, 2001) (Cuadro 8 y 9).

Cuadro 8. Respuesta del rendimiento de cacao a diferentes niveles de fertilización en Colombia.

100 Tratamientos - Kg/ha150			Rendimiento kg/ha
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
50	90	50	560
100	90	50	574
150	90	50	572
50	90	100	601
100	90	100	650
150	90	100	943
50	90	200	819
100	90	200	1049
150	90	200	1160
Testigo			562

Fuente: Uribe et al., 1998, 2001

Cuadro 9. Tasa de retorno marginal a la aplicación de fertilizantes en la producción de cacao en Colombia.

Tratamientos kg/ha			Beneficio neto parcial \$/ha*	Costo variable fertilizantes \$/ha	Incremento marginal		Tasa retorno marginal %
N	K	P			Beneficio neto	Costo Variable	
150	90	20	1310500	258200	115250	37300	308
150	90	10	1195250	220900	103000	40100	256
150	90	200	1092250	180800	424400	37300	137
50	90	200	886150	184500**			
100	90	100	695300	182200**			
50	90	400	667850	143500	36700	18650	196
50	90	50	631150	124850			
Testigo			615700	14300**			
100	50	50	611350	163550**			
150	50	50	569950	202250**			

* Pesos Colombiano (2200 pesos por dólar)

** Tratamientos dominados

Fuente: Uribe et al., 1998, 2001)

Debido a la reducida utilización de fertilizantes en la producción de cacao de Centroamérica, la introducción de esta importante innovación requerirá de:

- 1) estudios de la fertilidad natural de los suelos donde se cultiva cacao actualmente,
- 2) estudios de la respuesta en rendimientos físicos y financieros de los cacaotales existentes a la aplicación de enmiendas y fertilizantes según las características del suelo y de los niveles de rendimientos esperados;
- 3) de las otras innovaciones en el manejo de las plantaciones (especialmente en el manejo de las podas del cacao y en el diseño y manejo del dosel de sombra, Wessel, 2008) que son requeridas para lograr los beneficios derivados de la fertilización; y
- 4) un programa sostenido de formación y actualización de los técnicos y productores en el manejo de la fertilización del cacao.

5. Diseño del dosel de sombra

Línea base

El 99% del cacao de Centroamérica se cultiva bajo sombra (Somarrriba et al., 2013), utilizando diferentes modelos o tipologías de producción, incluyendo (Cuadro 10): cacaotales a pleno sol, cacao con sombra especializada de leguminosas arbóreas de servicios (varias especies del género *Inga*, *Erythrina* y *Gliricidia sepium*), cacao con sombra productiva (por ejemplo, cacao con bananos-plátanos, cacao

con maderables, cacao con coco o con caucho, etc.), cacaotales con sombra mixta de musáceas, frutales, maderables y especies de servicio (los más comunes en Centroamérica) y cacaotales rústicos, es decir, cacao bajo bosques raleados y sin sotobosque. Un 83% de todos los cacaotales tienen sombra productiva y mixta.

Los cacaotales contienen entre 125-145 especies arbóreas en el dosel de sombra (dato de 25 ha de plantaciones inventariadas por país).

Cuadro 10. Porcentaje de cacaotales por tipología de cacao en Centroamérica en el año 2011 (n = 229 fincas en total).

País	Sin sombra	Sombra especializada	Sombra productiva	Sombra mixta	Sombra rústica	Total
Nicaragua	0	4	51	46	0	100
Guatemala Alta Vera Paz	0	60	0	40	0	100
Honduras	0	3	55	42	0	100
Costa Rica	0	0	44	56	0	100
Panamá	0	0	52	48	0	100
Guatemala Costa Sur	8	0	14	48	30	100
Total	1	10	37	46	6	100

Fuente: Somarrriba et al., 2013

La densidad promedio de árboles de sombra es de 128 árboles/ha con variaciones 85-198 árboles/ha. Los árboles se distribuyen en tres estratos verticales (bajo <-10 m-, medio-10-20 m- y alto->20 m) con proporción de 50:30:20 (%) de la densidad total. Los cacaotales con menor densidad y número de especies de árboles de sombra fueron los de Belice, Honduras y Panamá. La mayoría de las especies son plantadas, manejadas y aprovechadas como madera, fruta, leña y sombra (Orozco-Aguilar et al., 2014). Varias especies arbóreas se utilizan para un mismo fin. Por ejemplo, laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) se utilizan como fuente de madera para consumo en la finca y en el hogar y para venta. Varios genotipos de bananos, guineos y plátanos (*Musa*), la naranja (*Citrus* spp.), Coco (*Cocos nucifera*), mamón chino (*Nephelium lappaceum*), mango (*Mangifera indica*), zapote (*Pouteria sapota*) y el aguacate (*Persea americana*) son los frutales más comúnmente plantados en los cacaotales centroamericanos. Otras

especies de sombra abundantes en los cacaotales fueron madre cacao (*Gliricidia sepium*), Guabas (*Inga* spp.), pataxte (*Theobroma bicolor*), leucaena (*Leucana leucocephala*) y la palma de pejibaye (*Bactris gasipaes*).

La densidad de población y área basal por tipo de planta en los cacaotales de Centroamérica se presenta en Cuadro 11.

La composición mixta de la sombra de los cacaotales de Centroamérica asegura una producción diversificada que contribuye a los medios de vida y al beneficio familiar (Cuadro 12, Figura 3), mejora la seguridad alimentaria de la familia (Figura 4), reduce el riesgo financiero (Figura 5), conserva biodiversidad (Figura 6) y provee otros servicios ecosistémicos tales como la captura de carbono y la mitigación del cambio climático (Cuadro 13).

Cuadro 11. Densidad de población y área basal (promedio±desviación estándar) por tipo de planta en el dosel de sombra de las plantaciones de cacao de Centroamérica. 2011.

	Nicaragua	Honduras	Guatemala Alta Verapaz	Costa Rica	Panamá	Guatemala Costa Sur	Promedio
Densidad (árboles/ha)							
Maderables	42±52a	91±99b	170±91d	119±84bc	134±77cd	88±98b	104±92
Frutales	60±57bc	35±65ab	14±23a	84±63c	64±148bc	48±49abc	52±81
Otros árboles	24±29ab	18±28a	36±43bc	42±58c	15±21a	20±30ab	25±37
Palmas	8±25ab	37±83c	1.43±5.5a	43±48c	24±34bc	22±29bc	22±45
Bananos	158±152b	42±74a	0.57±2.0a	193±261bc	240±163c	31±42a	117±169
Cacao	562±98b	583±205b	604±128b	591±218b	588±215b	335±148a	545±192
Total	855±190b	808±295b	826±156b	1071±242c	1065±323c	544±199a	866±296
Área basal (m ² ha ⁻¹)							
Maderables	2.2±2.9a	6.3±5.9b	7.1±3.5b	8.2±5.6b	7.5±5.1b	8.0±7.8b	6.4±5.8
Frutales	3.1±3.5cd	1.4±3.0ab	0.5±1.0a	1.9±1.7bc	1.2±1.5ab	4.3±4.1d	2.1±3.0
Otros árboles	1.1±1.6a	1.1±3.1a	1.1±1.5a	0.9±2.2a	1.8±3.6ab	3.0±6.1b	1.5±3.3
Palmas	0.2±0.6a	0.6±1.6a	0.4±1.6a	0.9±1.2a	0.6±0.9a	2.6±3.5b	0.8±1.9
Bananos	2.7±2.7b	0.7±1.3a	0.02±0.1a	3.4±4.6bc	4.3±2.9c	0.5±0.7a	2.1±2.9
Cacao	10.7±5.3b	12.8±5.9c	14.2±4.7c	10.2±4.3ab	8.2±4.1a	8.6±3.2a	10.7±5.1
Total	19.9±6.2a	22.9±10.1ab	23.3±7.2bc	25.5±7.4bc	23.6±6.2bc	27.5±14.5c	23.6±8.3

Letras diferentes en las hileras indican diferencias estadísticamente significativas entre países (LSD Fisher, $p < 0.05$).

Fuente: Orozco-Aguilar et al., 2014

Cuadro 12. Frecuencia (%) de fincas cacaoteras, rendimientos (kg/ha/año) de cacao, bananos, naranjas, pejibaye; cosecha anual de madera (H, m³/ha/año) y volumen total de madera comercial en pie (V, dap > 30 cm, m³/ha) en cacaotales de Centroamérica; dap = diámetro a la altura del pecho, en cm.

Producto	Costa Rica		Guatemala		Honduras		Nicaragua		Panamá		Centroamérica
	F	Media	F	Media	F	Media	F	Media	F	Media	Promedio
Cacao	100	146	100	296	100	119	100	494	100	163	243
Banano	58	427	11	13	62	88	94	2728	100	6884	2100
Naranja	42	318	42	62	0	0	63	138	26	10	105
Pejibaye	72	377	0	0	0	0	71	412	92	711	305
H	39	0.33	14	0.45	24	0.68	14	0.11	87	0.53	0.42
V	100	16.3	100	2.2	100	5.1	100	5.6	100	25.4	11.2

F: Frecuencia Media: Media de rendimiento V: Volumen H: Altura

Fuente: Orozco-Aguilar et al., 2014

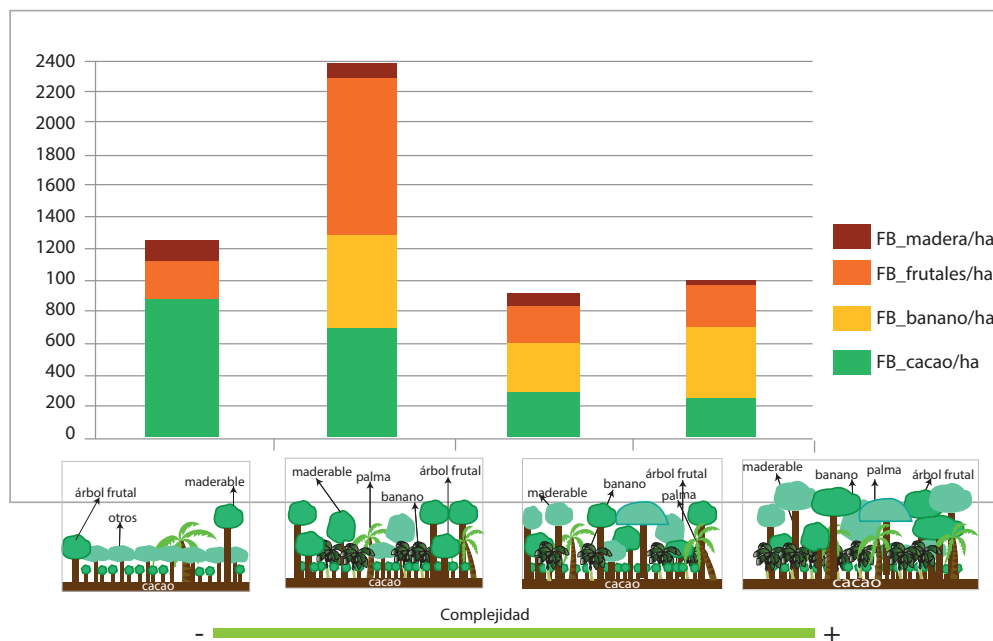
Cuadro 13. Carbono almacenado (Mg/ha) por compartimento en cacaotales de Centroamérica. Año 2011.

Compartimento	Nicaragua	Honduras	Guatemala Alta Verapaz	Costa Rica	Panama	Guatemala Costa Sur	Promedio
Suelo	48.3±14.7	33.3±11.5	52.8±10.3	49.3±8.5	56.9±13.2	64.1±13.4	51.0±15.2
Biomasa sobre suelo	33.1±19.5	45.1±29.0	39.4±19.4	52.7±21.7	56.7±47.4	74.4±47.0	49.2±34.9
Raíces gruesas	6.9±3.6	9.4±5.4	6.6±3.6	9.3±3.6	11.5±8.3	13.4±8.0	9.4±6.2
Raíces finas	3.8±2.5	1.3±0.8	1.4±1.1	1.9±0.9	2.1±0.9	1.6±0.8	2.1±1.7
Necromasa gruesa	0.01±0.06	6.2±4.8	3.7±5.1	6.2±5.1	3.2±4.9	0.02±0.07	3.0±4.7
Necromasa fina	0.3±0.1	0.1±0.1	1.2±0.1	1.2±0.5	0.7±0.4	0.3±0.1	0.6±0.5
Mantillo	0.3±0.1	0.8±0.4	0.4±0.	1.2±0.4	0.9±0.3	3.6±1.8	1.1±1.3
Total	93±30	96±37	106±25	122±24	132±60	155±58	117±47
Edad (años)	20.3±6.7	20.5±6.5	18.1±8.4	24.9±14.5	26.9±6.1	30.8±20.2	23.5±12
Tasa fijación de carbono total (Mg/ha/año)*	5.4±3.4	5.6±4.7	7.9±5.3	6.9±4.3	5.3±3.3	7.9±6.2	6.4±4.6
Tasa fijación carbon arriba suelo (Mg/ha/año)	1.9±1.6	2.6±2.7	2.6±1.9	3.0±1.9	2.2±1.8	3.7±3.7	2.6±2.4

*Sobre estima la tasa real de acumulación de carbón porque no se conocía el contenido de carbón en el suelo al momento de establecer la plantación de cacao.

Fuente: Somarriba et al., 2013

Beneficio familiar (US\$/ha)
FB = CF + autoconsumo valorado económicamente



Fuente: Somarriba, 2011

Figura 3. Beneficio familiar obtenido de cacaotales (cacao + dosel de sombra) de Centroamérica. Año 2011.

Seguridad Alimentaria y nutricional: nutrientes en las frutas del dosel de sombra

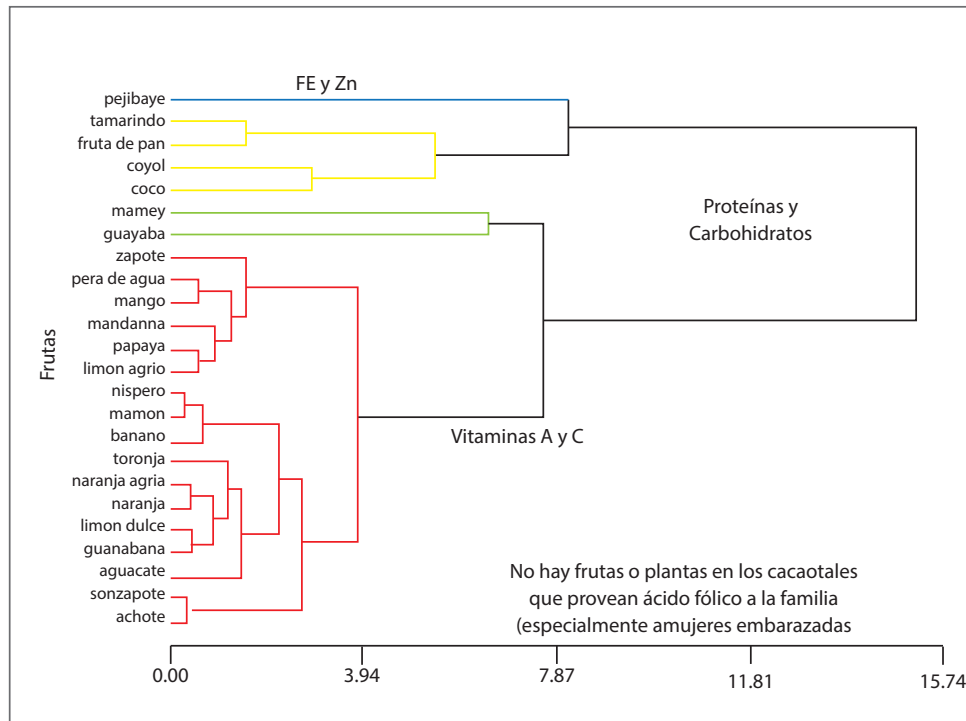
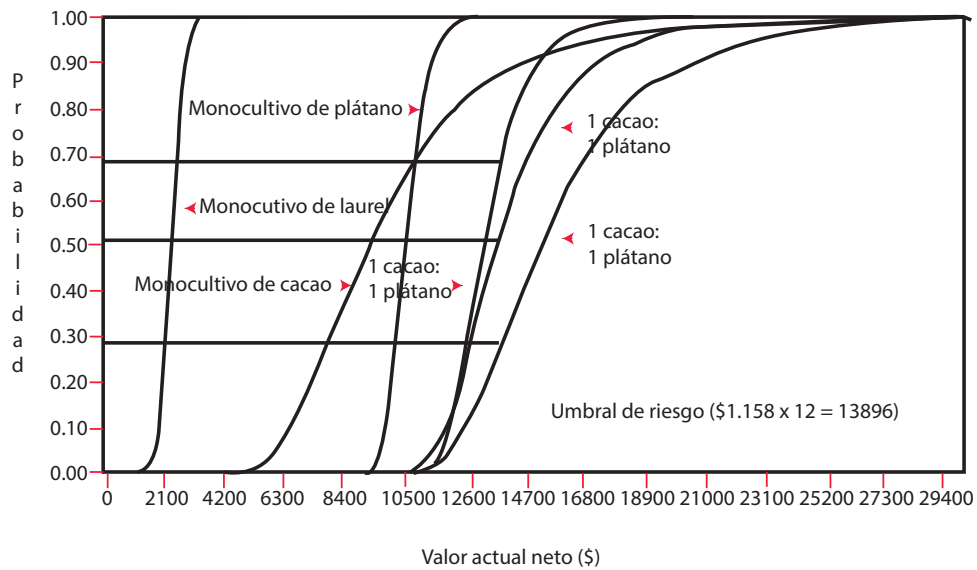


Figura 4. Contribución de las plantas de dosel de sombra de cacaotales de Centroamérica a la seguridad alimentaria y nutricional de las familias rurales.



El riesgo se mide como la probabilidad de obtener un ingreso anual menor que el esperado, indicado por la línea vertical en la marca de \$18896.00 requeridos por una familia panameña.

Figura 5. Riesgo financiero de varios sistemas mixtos de producción cacaotera combinando cacao, madera y plátano en Bocas del Toro, Panamá.

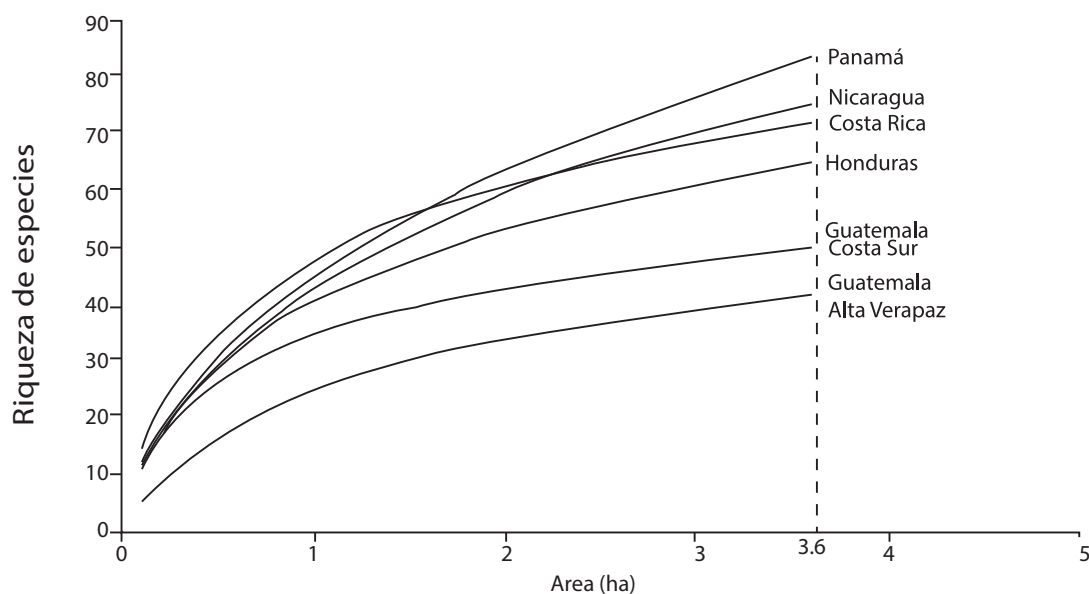


Figura 6. Número de especies en el dosel de sombra según esfuerzo de muestreo en cacaotales de Centroamérica.

La producción diversificada de los cacaotales de Centroamérica se puede mejorar sustancialmente con buen diseño del dosel de sombra que optimice la contribución del cacao, frutas, madera y otros bienes y servicios. De particular relevancia es la optimización de la producción de madera debido a que la producción de fruta, aunque muy importante como fuente alimenticia para la familia, tiene serias restricciones logísticas para el desarrollo de la producción (zonas remotas, largas distancias a los centros de mercados, pobre infraestructura para mantener una línea de frío y abaratar costos de transporte, etc.).

La mayoría de la fruta que se produce en estos cacaotales se pierde por falta de condiciones de mercado.

La madera, en cambio, es un producto no-perecedero cuyo precio se mantiene en constante crecimiento debido a la deforestación y pérdida de bosques naturales y a la reducida producción y creciente demanda de madera de plantaciones (Detlefsen y Somarriba, 2012).

Innovación: uso generalizado doseles cacaotales con sombra de maderables

Varios autores han propuesto el uso de sistemas cacao – madera como una alternativa viable para satisfacer simultáneamente las necesidades familiares (autoconsumo y venta) y proveer servicios ecosistémicos (Ofori-Bah and Asafu-Adjaye, 2011; Gockowski and Sonwa, 2011; Ruf, 2011; Somarriba and Beer, 2011).

Varios estudios han documentado la contribución de la madera proveniente de los cacaotales al consumo familiar, atención de emergencias familiares, aumentar el valor de las fincas y reducir el riesgo financiero (Orozco-Aguilar, 2005; Ramírez et al., 2001) y se ha demostrado que el daño causado al cacao por la cosecha de los árboles maderables es insignificante (Ryan et al., 2009).

La producción combinada cacao – madera puede realizarse con dos modelos básicos: cacao con árboles plantados o con árboles de regeneración natural.

En el primer modelo todos los árboles son de la misma edad, crecen y sombrean el cacao hasta el punto que se requieren raleos de los maderables para permitir la entrada de luz y estimular la producción del cacao; todos los árboles se cosechan cuando alcanzan el tamaño comercial (Figura 7).

En los sistemas de regeneración natural, los árboles maderables son de todos los tamaños y el crecimiento depende de los procesos demográficos: reclutamiento, crecimiento, mortalidad, raleo y cosecha (Figura 8).

Se cuenta con varias estimaciones del rendimiento maderable de sistemas cacao – maderables plantados (FHIA, 2004, 2007, 2013; Somarriba y Beer, 2011). Por ejemplo, en Turrialba, Costa Rica, con árboles de laurel (*Cordia alliodora*) plantados a 278 árboles/ha rinden unos 14.6 m³/ha/año a la edad de 7 años (Heuveldop et al., 1988).

En Honduras, sistemas de cacao – maderables plantados inicialmente a 185 árboles/ha acumularon madera a razón de 4.36 y 7.08 m³/ha/año para *Cedrela odorata* y *Cordia megalantha* a los 24 años de edad, respectivamente (FHIA, 2013; Sánchez et al., 2002). Otros estudios reportan incrementos maderables de *C. alliodora* como sombra de cacao entre 4-6 m³/ha/año (Beer et al., 1998).

Estudios cacao – maderables en Bocas del Toro, Panamá, registraron crecimientos maderables de 12.8, 9.7 y 17.2 m³/ha/año a los 11 años de edad, para laurel, *Tabebuia rosea* y *Terminalia ivorensis*, respectivamente (Somarriba y Beer, 2011).

Estos rendimientos son comparables a los medidos en modelos cacao – madera de regeneración natural. Por ejemplo, los cacaotales con sombra mixta de Talamanca, Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá, producen anualmente unos 4.43 m³/ha/año de madera, equivalentes a un ingreso adicional al cacao de 265 US\$/ha/año.

Adicional a la cosecha anual de madera, estos cacaotales mantienen en pie unos 44 m³/ha de madera comercial con un valor (2013) de 2633 US\$/ha (Somarriba et al., 2014).

En Honduras, la FHIA ha estudiado el crecimiento de un gran número de especies maderables nativas asociadas con cacao (FHIA, 2013), mostrando la importancia de la selección apropiada de las especies a utilizar (Cuadro 14).

El desempeño financiero de los sistemas cacao – madera es mejor que los basados únicamente en el uso de árboles leguminosos de servicio o de combinaciones con frutales (Cuadro 15).

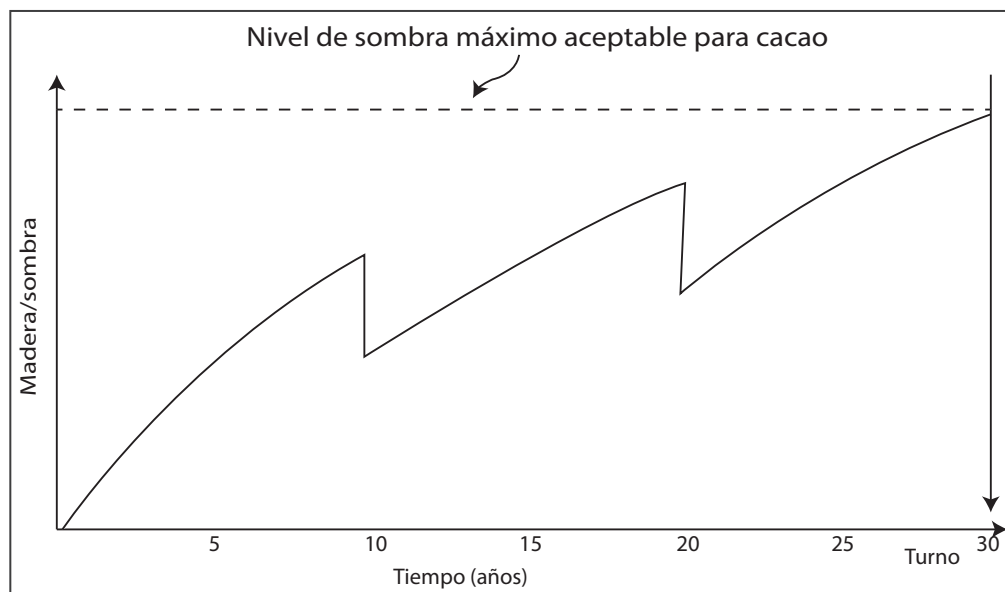
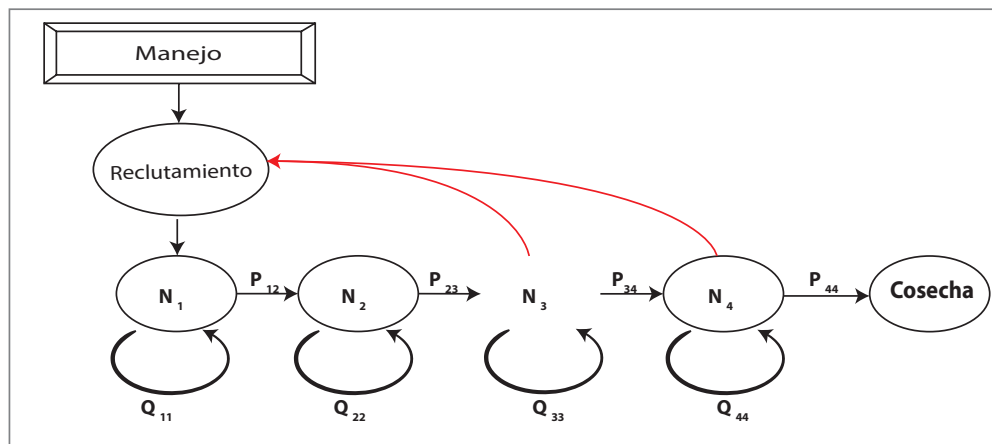


Figura 7. Modelo idealizado de la evolución del crecimiento maderable y el sombreado del cacao en sistemas de cacao – maderables plantados.



N1,...N4 simboliza el número de árboles por clase diamétrica, P12,...P44 representa la fracción de árboles que avanzan de una clase diamétrica a la siguiente en una unidad de tiempo y Q11,...Q44 representa la fracción de árboles que permanecen en la misma clase diamétrica al cabo de una unidad de tiempo (normalmente un año). Ambos P's y Q's dependen del crecimiento y sobrevivencia de los árboles en cada clase diamétrica.

Figura 8. Representación idealizada de la dinámica poblacional de árboles maderables de regeneración natural en cacaotales.

Cuadro 14. Volumen en pie e incrementos medios anuales (IMA) de madera de varias especies latifoliadas nativas evaluadas como sombra para cacao en Honduras

NO.	Especie	Edad (años)	Población/ha	m3 ha -1	IMA Vol. ha -1 (m3)
1	Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)	18	77	53.9	3.0
2	Laurel Negro (<i>Cordia megalantha</i>)	18	75	187.5	10.4
3	San Juan Guayañeño (<i>T.donnell-smithii</i>)	17	28	56.0	3.3
4	Granadillo rojo (<i>Dalbergia glomerata</i>)	17	72	144.0	8.5
5	Flor Azul (<i>Vitex gaumeri</i>)	Cosechado	-		
6	Redondo (<i>Magnolia yoroconte</i>)	17	63	nd	nd
7	Barba de Jolote (<i>Cojoba arborea</i>)	16	44	35.2	2.2
8	Cedrillo (<i>Huerteia cubensis</i>)	16	58	121.8	7.6
9	Marapolán (<i>Guarea grandifolia</i>)	16	62	43.4	2.7
10	Homigo (<i>Plathymiscium dimorphandrum</i>)	16	48	43.6	2.7
11	Cumbillo (<i>Terminalia amazonia</i>)	15	65	104.0	6.9
12	Limba (<i>Terminalia superba</i>)	15	35	294.0	19.6
13	Rosita (<i>Hyeronima alchorneoides</i>)	15	72	79.2	5.3
14	Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	15	114	57.0	79.8
15	San Juan Areno (<i>Illex tectonica</i>)	15	118	65.5	95.3

^{1/} Cálculos efectuados con la fórmula de Smalian

Fuente: FHIA, 20123)

Cuadro 15. Margen bruto de sistemas cacao – madera, cacao – fruta y cacao – leguminosa de servicio, al cabo de 24 años en Honduras.

Parámetros	Cacao-Laurel	Cacao-Cedro	Cacao-rambután	Cacao-Leguminosas
Producción cacao (Kg.ha ⁻¹)	11.279	14.662	14.381	14.066
Ingresos cacao (L.Ha ⁻¹) ¹	253.307	332.336	338.117	329.801
Producción rambután (miles de frutas ha ⁻¹)	-	-	1.650	-
Ingreso ramután (L.ha ⁻¹) ²	-	-	413.200	-
Producción maderables (pies tablares ha ⁻¹) ³	72.000	44.000	-	-
Beneficio maderales (L.ha ⁻¹) ⁴	1.728.000	1.540.000	-	-
Total ingresos (L.ha ⁻¹)	1.981.307	1.872.336	751.317	329.801
Total costos (L.ha ⁻¹) ⁵	251.0006	231.566	191.332	175.059
Ingreso neto (L.ha ⁻¹)	1.730.301	1.640.770	559.985	154.742

¹ Precio Promedio kilo cacao seco 2011:L 66.00

² Precio promedio millar de Rambután 2011: 6.250 (75 plantas ha⁻¹)

³ Estimado en base a 90 árboles ha⁻¹ - con la ecuación de Vol.=0.0026203+0.00002984 x DAP²xA

⁴ Precios promedios por pie tablar: laurel negro = L.24.00 y cedro L.35.00 (diciembre, 2011)

⁵ Incluye costos aprovechamiento de la madera (cosecha)

Fuente: FHIA, 2013)

6. Tamaño de las plantaciones de cacao

Línea base

Los cacaotales de Centroamérica son pequeños, con una superficie promedio de 1.0 ha y variaciones entre 0.5 – 8 ha; la mayoría de las plantaciones tienen < 2 ha (Cuadro 16).

Debido a que el cacao en la región tiene dos periodos de cosecha y floraciones durante todo el año (Cuadro 17), las pequeñas superficies y los bajos rendimientos anuales por hectárea (250 kg/ha/año) hace que los productores cosechen únicamente el cacao producido en los picos de los dos periodos de cosecha.

Innovación: Aumentar el tamaño de los cacaotales

El simple aumento del tamaño de los cacaotales de 1 ha a 3 ha evitaría la pérdida de aproximadamente el

25% de la producción de anual cacao de la plantación (Figura 9).

Esta innovación requiere de mayores inversiones financieras para el establecimiento de plantaciones más grandes (esto a contrapelo de los patrones de fomento de nuevas plantaciones promovidas por la cooperación internacional que busca apoyar al mayor número posible de familias rurales pobres y termina favoreciendo el establecimiento de pequeñas plantaciones por unidad familiar) y en la construcción de cierta infraestructura de fermentación y secado (si se realiza en la finca, pero se evita si se entrega cacao en baba para post-cosecha centralizado) y almacenamiento.

No se encontraron estudios del efecto del tamaño de los cacaotales sobre el rendimiento anual de cacao; tampoco se encontraron enlaces web sobre el tema.

Cuadro 16. Superficie promedio (\pm desviación estándar) de los cacaotales de pequeños productores de Centroamérica.

País-COA	Área (ha)
Belice	0.80 \pm 0.25
Guatemala Alta Verapaz	0.75 \pm 0.25
Guatemala Costa Sur	1.0 \pm 0.50
Honduras	1.50 \pm 0.75
Nicaragua	1.70 \pm 0.70
Costa Rica	1.40 \pm 0.80
Panamá	3.0 \pm 1.50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17. Patrón mensual de producción de cacao en Talamanca, Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá. Valores en porcentaje de la producción anual total.

Mes	1292-93	93-94	94-95	Promedio
Abril	15	10	9	11
Mayo	10	18	19	16
Junio	14	9	6	10
Julio	4	9	1	5
Agosto	3	4	0	2
Setiembre	2	1	1	1
Octubre	2	5	6	4
Noviembre	8	21	12	14
Diciembre	14	6	25	15
Enero	12	9	10	10
Febrero	7	4	5	5
Marzo	9	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

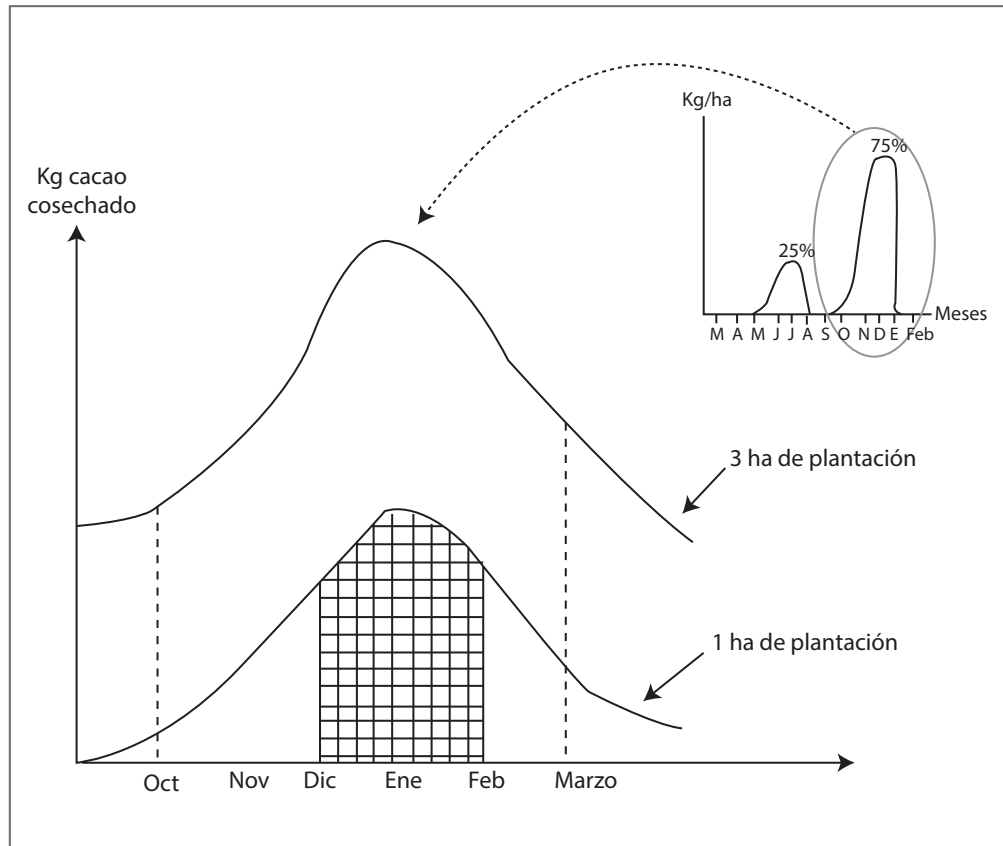


Figura 9. Efecto idealizado del aumento de la superficie de los cacaotales sobre la cantidad de cacao cosechado durante los periodos de cosecha en Centroamérica

Bibliografía Citada

1. Introducción

- Cerda R, Deheuvels O, Calvache D, Niehaus L, Saenz Y, Kent J, Vilchez S, Villota A, Martínez C, Somarriba E. 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforestry Systems* (en prensa).
- Gasco J. 1996. Cacao and Economic Inequality in Colonial Soconusco, Chiapas, Mexico. *Journal of Anthropological Research* 52(4):385-409.
- Hinojosa V. 2002. Comercialización y certificación de cacao (*Theobroma cacao* Linn.) y banano (*Musa AAA*) orgánico de las comunidades indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sci., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 96 p.
- Motamayor JC, Lachenaud P, da Silva e Mota, JW, Llor, R. Kuhn, DN, Brown, JS, Schnell, RJ. 2008. Geographic and Genetic Population differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L.). *PLoS ONE* 3(10): 1-8.
- Orozco-Aguilar L, Deheuvels O, Villalobos M, Somarriba E. 2014. El cacao en Centroamérica: familias, fincas y cacaotales en el año 2007. CATIE, Serie Técnica
- Touzard JM. 1993. L'économie coloniale du cacao en Amérique centrale. CIRAD, Montpellier, France. 95 p.

2. Uso de nuevo material genético y tipo de planta

- Bartley BGD. 2005. The genetic diversity of cacao and its utilization. CABI, Wallingford, UK. 341 p.
- CacaoNet. 2012. A Global Strategy for the Conservation and Use of Cacao Genetic Resources, as the Foundation for a Sustainable Cocoa Economy (B. Laliberté, compiler). Bioversity International, Montpellier, France. 186 p.
- Gultinan M. 2007. Cacao. In: Pua EC, Davey MR (eds) *Biotechnology in Agriculture and Forestry - Transgenic Crops VI*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (in press).
- Johnson ES, Bekele FL, Brown SJ, Song Q, Zhang D, Meinhardt LW, Schnell RJ. 2009. Population structure and genetic diversity of the Trinitario cacao (*Theobroma cacao* L.) from Trinidad and Tobago. 49:564-572.
- Micheli F, Gultinan M, Peres-Gramacho K, Wilkinson MJ, de Oliveira Figueira AV, Cascardo JC de Mattos, Maximova S, Lanaud C. 2010. Functional genomics of cacao. *Advances in Botanical Research* 55:119-177.
- Orozco-Aguilar L, Deheuvels O, Villalobos M, Somarriba E. 2014. El cacao en Centroamérica: familias, fincas y cacaotales en el año 2007. CATIE, Serie Técnica Informe Técnico, Turrialba, Costa Rica. (en prensa).
- Phillips-Mora W, Arciniegas-Leal A, Mata-Quiroz A, Motamayor-Arias JC. 2013. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para plantaciones comerciales. CATIE, Serie Técnica Manual Técnico 105, Turrialba, Costa Rica. 68 p.

- **Enlaces web (links)**
- <http://www.genome.clemson.edu>
- <http://icgd.rdg.ac.uk>
- <http://esttik.cirad.fr>
- <http://cocoagendb.cirad.fr>
- <http://www.icco.org>
- <http://www.worldcocoafoundation.org>
- <http://www.copal-cpa.org/>
- <http://www.CACAONET.org>

3. Control efectivo de moniliasis

- Bateman RP, Hidalgo E, García J, ten Hoopen GM, Adonijah V, Krauss U. 2005. Application of chemical and biological agents for the management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in Costa Rican cocoa (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology* 147:129-138.
- Evans HC. 1981. Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora (monilia) roreri*. *Phytopathology Papers* 24, Commonwealth Mycological Institute, London, UK.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 2013. Programa de cacao y agroforestería: informe técnico 2012. FHIA, La Lima, Cortés, Honduras. 115 p.
- Krauss U, Hidalgo E, Bateman R, Adonijah V, Arroyo C, García J, Crozier J, Brown NA, ten Hoopen GM, Holmes KA. 2010. Improving the formulation and timing of application of endophytic biocontrol and chemical agents against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in cocoa (*Theobroma cacao*). *Biological Control* 54:230-240.
- Krauss U, Soberanis W. 2001. Rehabilitation of diseased cacao fields in Peru through shade regulation and timing of biocontrol measures. *Agroforestry Systems* 53:179-184.
- Phillips-Mora W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (*Theobroma cacao* L.) fungus *Moniliophthora roreri* (Cif.) Evans et al. as determined using molecular, phytopathological and morphological evidence. PhD Thesis, University of Reading, Reading, UK.
- Phillips-Mora W, Castillo J, Krauss U, Rodriguez E, Wilkinson MJ. 2005. Evaluation of cacao (*Theobroma cacao* L.) clones against seven Colombia isolates of *Moniliophthora roreri* (Cif.) Evans et al., representing four major genetic groupings of the pathogen in cacao. *Plant Pathology* 54:483-490.
- Phillips-Mora W, Cerda R. 2009. Catálogo de enfermedades del cacao en Centroamérica. CATIE, Serie Técnica Manual Técnico 93, Turrialba, Costa Rica. 24 p.
- Phillips-Mora W, Wilkinson MJ. 2007a. Biodiversity and biogeography of the cacao (*Theobroma cacao* L.) pathogen *Moniliophthora roreri* (Cif.) Evans et al. *Plant Pathology* 56:911-922.
- Phillips-Mora W, Wilkinson MJ. 2007b. Frosty pod of cacao: a disease with a limited geographic range but unlimited potential for damage. *Phytopathology* 97(12):1644-1647.
- Somarriba E, Beer J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems* 81:109-121.
- **Enlaces web (links)**
- www.worldcocoafoundation.org
- INCOPED – Grupo internacional para el control de plagas y enfermedades del cacao.

4. Fertilización de plantaciones

- Asase A, Ofori-Frimpong K, Ekpe PK. 2009. Impact of cocoa farming on vegetation in an agricultural landscape in Ghana. *African Journal of Ecology* 48:338-346.
- Assiri AKA, Assi A, Salomon E, Florent D, Couloud I, Robert Y. 2007. Rentabilité économique des techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vegers de cocoayers (*Theobroma cacao* L.) en cote d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant sciences* 14(2):1939-1951.
- Beer J, Bonnemann A, Chavez W, Fassbender HW, Imbach AC, Martel I. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. V. Productivity indices, organic material models and sustainability over ten years. *Agroforestry Systems* 12:229-249.
- Dubón A. Manual de producción de cacao. FHIA, La Lima, Cortés, Honduras. 208 p.
- Enríquez G. Curso sobre el cultivo del cacao. Materiales de Enseñanza 22, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 240 p.
- Fassbender, H. W., Beer, J., Heuvel dop, J., Imbach, A., Enriquez, G., and Bonneman, A. (1991). The year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *For. Ecol. Manage.* 45, 173–183.
- Gockowski J, Sonwa D. 2011. Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO₂ emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea rainforest of West Africa. *Environmental Management* 48(2):307-321.
- Hartemink AE. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in Agronomy* 86:227-253.
- Heuvel dop J, Fassbender HW, Alpízar L, Enríquez G, Folster H. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with aurel (*Cordia alliodora*) and Iporó (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6:37-48.
- Jadin P, Snoeck J. 1985. La method du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. *Café, Cacao, Thé* 29(4):255-266.
- Ruf F, Bini S. 2011. Cocoa and fertilizers in West-Africa. Disponible en: www.idhsustainabletrade.com/cocoa-fertilizer-use.
- Sambuichi RHR. 2006. Estrutura e dinâmica do componente arbóreo em área de cabruca na região cacauera do sul da Bahia. *Acta Botanica Brasileira* 20(4): 943-954.
- Sambuichi R, Haridasan M. 2007. Recovery of species richness and conservation of native Atlantic forest trees in the cocoa plantations of southern Bahia in Brazil. *Biodiversity Conservation* 16:3681-3701.
- Somarriba E, Cerda R, Orozco L, Deheuvels O, Cifuentes M, Dávila H, Espin T, Mavisoy H, Ávila G, Alvarado E, Poveda V, Astorga C, Say E. 2013. Carbon stocks in agroforestry systems with cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 173:46-57.
- Stemler C. 2012. Analysis of on-farm fertilizer trials in Cote d'Ivoire and implications for fertilizer distribution strategies. Disponible en: www.idhsustainabletrade.com/cocoa-fertilizer-use.

- Uribe, A., H. Méndez y J. Mantilla. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 28:31-36.
- Uribe, A., H. Méndez y J. Mantilla. 2001. Effect of balanced fertilization on cocoa yield. *Better Crops International* 15(2):3-5.
- Wessel M. 2008. Shade and nutrition. In: *Cocoa*, GAR Wood y RA Lass, editors. 4th edition. Wiley-Blackwell, New Jersey, USA. Pp. 166-194.
- Winowiecki, L. 2008. Soil biogeochemical patterns in the Talamanca foothills, Costa Rica: local soil knowledge and implications for agroecosystems. PhD dissertation, University of Idaho – CATIE, Moscow, Idaho. 172 p.
- **Enlaces web (links)**
 - www.idhsustainabletrade.com/cocoa-fertilizer-use
 - www.ipni.net

5. Doseles de sombra

- Detlefsen G y Somarriba E. Editores. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. CATIE. Serie Técnica, Manual Técnico no. 109. Turrialba, Costa Rica. 244 p
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agropecuaria). 2007. Uso de especies maderables tropicales latifoliadas como sombra del cacao. Nota Técnica 1, FHIA, La Lima, Cortez, Honduras. 5 p.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agropecuaria). 2013. Programa de cacao y agroforestería. Informe técnico 2012. FHIA, La Lima, Cortez, Honduras. 115 p.
- Gockowski J, Sonwa D. 2011. Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO2 emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea rain forest of West Africa. *Environmental Management* 48:307-321.
- Obiri BD, Bright GA, McDonald MA, Anglaaere LCN, Cobbina J. 2007. Financial analysis of shaded cocoa in Ghana. *Agroforestry Systems* 71:139-149.
- Orozco-Aguilar L, Deheuvels O, Villalobos M, Somarriba E. 2014. El cacao en Centroamérica: familias, fincas y cacaotales en el año 2007. CATIE, Serie Técnica Informe Técnico, Turrialba, Costa Rica. (en prensa).
- Orozco-Aguilar L. 2005. Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con maderables valiosos en Alto Beni, Bolivia. Thesis MSc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 114 p.
- R, Deheuvels O, Calvache D, Niehaus L, Saenz Y, Kent J, Vilchez S, Villota A, Martinez C, Somarriba E. 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforestry Systems* (en prensa).
- Ramírez O, 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.

- Ryan D, Bright G, Somarriba E. 2009. Damage and yield change in cocoa crops due to the harvesting of timber shade trees in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 77:97-106.
- Sánchez J, Dubon A, Kringsvold D (2002) Uso de rambután (*Nephelium lappaceum*) con cedro (*Cedrela odorata*) y laurel negro (*Cordia megalantha*) como sombra permanente en el cultivo del cacao. *Proc Interam Soc Trop Hort* 46:57–60.
- Somarriba E, Beer J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems* 81:109-121.
- Somarriba E, Cerda R, Orozco L, Deheuvels O, Cifuentes M, Dávila H, Espin T, Mavisoy H, Ávila G, Alvarado E, Poveda V, Astorga C, Say E. 2013. Carbon stocks in agroforestry systems with cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 173:46-57.
- Somarriba E, Suárez-Islas A, Calero-Borge W, Villota A, Castillo C, Vílchez S, Deheuvels O, Cerda R. 2014. Cocoa - timber agroforestry systems: *Theobroma cacao* - *Cordia alliodora* in Central America. *Agroforestry Systems* (en prensa)
- Somarriba E, Valdivieso R, Vásquez W, Galloway G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51: 111–118.
- **Enlaces web (links)**
 - <http://biblioteca.catie.ac.cr/inaforesta>



programa **Agroalimentario Sostenible**

Unidad Regional para el Desarrollo Sostenible – RUTA
Tel. (506) 22 55 40 11 | Fax (506) 22 22 65 56 | www.ruta.org