



El Colegio de la Frontera Sur

El sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México.

Tesis
presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Gestión de Ecosistemas y Territorios

Por

Angelita López Cruz

2018



El Colegio de la Frontera Sur

San Cristóbal de las Casas, Chiapas, 11 de mayo de 2018.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Angelita López Cruz

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada

El sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México.

para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**.

	Nombre	Firma
Directora	Dra. María Lorena Soto Pinto	_____
Asesora	Dra. Marisela Salgado Mora	_____
Asesora	Dra. Graciela Huerta palacios	_____
Sinodal adicional	Dr. Bruce G. Ferguson	_____
Sinodal adicional	Dra. Raimunda Araújo Santana	_____
Sinodal suplente	Dr. Obeimar Balente Herrera	_____

Dedicatoria

A las productoras y productores de cacao de Acacoyagua, por el inmensurable apoyo recibido, sin el cual no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

Agradecimientos

A la Divinidad, por permitir la conclusión de este proceso, que estuvo colmado de grandes aprendizajes promovidos por las personas que lo acompañaron, y que contribuyó en mi crecimiento personal y académico.

A mi comité tutorial, que está conformado por mujeres maravillosas, admirables por su calidad humana y desempeño académico:

A la dra. María Lorena Soto Pinto, por sus enseñanzas y contribuciones durante la redacción del escrito, por el apoyo financiero otorgado para la realización de las salidas de campo, y en especial por el cariño, la confianza y la paciencia compartidos.

A la dra. Marisela Salgado Mora, por sus atenciones, apoyo incondicional, acompañamiento constante y comentarios que constituyeron una enseñanza y una mejora para el trabajo.

A la dra. Graciela Huerta Palacios, a quién agradezco de manera especial por aceptar unirse a la mitad del proceso de redacción del documento de tesis, en verdad hubiese sido agradable el acompañamiento desde la parte inicial, ya que sus comentarios y sugerencias fueron de mucha ayuda para alcanzar mayor claridad en la información presentada.

A las personas que estuvieron conmigo en el trabajo de campo, que no solo fueron acompañantes sino también son grandes amigas y personas excepcionales: Sebastiana Reyes Jiménez (quién con sus amplios conocimientos en el campo facilitó en gran medida las actividades desarrolladas) y Selene Elizabeth Espinosa Méndez.

A mi mamá, Inés Cruz Hernández, quien participó con su apoyo y amor siempre constantes, facilitando diversas actividades durante las salidas de campo y redacción del escrito.

A mi hermano, Raúl Antonio Cruz y a mi papá, José Ramón López Méndez, quienes forman parte fundamental de mi vida, y representaron inspiración y fortaleza durante el proceso de desarrollo del estudio. Gracias por el cariño y el apoyo invaluable recibidos.

A las personas integrantes del sínodo: Dra. María Raimunda Araújo Santana, Dr. Bruce G. Ferguson y Dr. Obeimar Balente Herrera por sus valiosas aportaciones que permitieron solventar los vacíos en el escrito y que ofrecieron una mejor perspectiva del trabajo.

A la generación 2016-2017, fue para mí un honor coincidir con cada una de las personas que la integra.

A todas las personas que durante el proceso compartieron conmigo una comida, una cena, un café, un mezcal... su amistad, cariño, risas, historias, etc., pues formaron una plataforma de apoyo importante para mantener el buen ánimo durante los cursos y durante la redacción de la tesis. No terminaría de nombrarles, pero en verdad, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	4
I. CAPÍTULO INTRODUCTORIO	6
Los sistemas agroforestales de cacao y sus funciones socio-ambientales	7
Problemáticas en el sistema de producción de cacao.....	11
La tradición del cultivo de cacao en el Soconusco	12
II. Artículo.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
RESULTADOS	20
DISCUSIÓN	32
CONCLUSIONES.....	36
RESUMEN	37
AGRADECIMIENTOS	37
REFERENCIAS.....	37
III. CAPÍTULO FINAL	43
IV. LITERATURA CITADA.....	47
V. ANEXO.....	54

Índice de figuras y cuadros

Figura 1. Localización de las parcelas de muestreo en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México. Muestra las curvas de nivel reportadas por CONABIO (1998) y el uso de suelo y vegetación registrado por INEGI (2016).....	18
Figura 2. Esquema de la vegetación por tipos de estructura.....	28-29
....	
Tabla 1. Especies registradas en los SAF de cacao en Acacoyagua, Chiapas, México (DAP \geq 5 cm) con la abundancia relativa, forma biológica, origen, usos, calidad de la sombra, índice de importancia y presencia en los tipos de estructura de cacao.....	23-25
Tabla 2. Características estructurales y rendimientos de cacao en tres tipos de estructuras de cacao en Acacoyagua, Chiapas, México.....	30-31

Resumen

En la región Soconusco el cacao se desarrolla en sistemas agroforestales y es importante por su historia y tradición en la producción desde tiempos de la conquista española, en la actualidad, mantiene la mayor producción de cacao en el estado. Sin embargo, se ha posicionado en estado de riesgo debido a la pérdida de la estructura arbórea con el fin de combatir la moniliasis. Las relaciones entre estructura y función de los SAF de cacao han sido escasamente estudiadas por tanto se desconoce cómo los cambios de estructura afectan las funciones en los sistemas de producción de cacao. El objetivo de este trabajo fue tipificar la estructura y manejo en los cultivos de cacao y relacionar los tipos con funciones socioambientales en Acacoyagua, Chiapas, México. Se estudiaron 27 parcelas, se aplicó una entrevista semiestructurada a cada productor(a) para obtener información de características sociales, productivas y de comercialización del grano. En cada parcela, se delimitaron cuadros de 20 x 20 m y fueron censados los individuos con DAP \geq 5 cm. Se calculó el índice de diversidad de Shannon y el valor de importancia para el sistema cacao. Por tipo de estructura, se determinaron variables de estructura, composición florística, valor de uso y rendimientos. El SAF de cacao está basado en una organización familiar y en un manejo de bajos insumos. Las especies asociadas al cultivo son principalmente para alimentación, sombra y maderables. La diversidad fue de 3.15; *Lonchocarpus* sp., *Roseodendron donnell-smithii* y *Cedrela odorata* obtuvieron los valores más altos de importancia. Se identificaron tres tipos de estructura: a) cacao en policultivo tradicional, con 6.4 estratos en promedio constituidos por especies nativas y cultivadas, maderables y para alimentación; b) cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*, dominado por árboles de uso específico para sombra (4.5 estratos en promedio); y c) cacao con árboles dispersos, con 3.6 estratos en promedio, sin un patrón identificado de uso de árboles de sombra. Las parcelas con cacao en policultivo tradicional proveen más productos para el aprovisionamiento de las familias y juegan un papel importante como habitat para la flora nativa de la región. La simplificación de la estructura arbórea no

tuvo un efecto significativo en los rendimientos de cacao y disminuye el potencial de los SAF para el mantenimiento de las funciones de conservación de biodiversidad y aprovisionamiento. Las prácticas de manejo como renovación de los árboles de cacao y el control de crecimiento vegetativo podrían mejorar los rendimientos y facilitar el control de propagación de enfermedades como la moniliasis.

Palabras clave: sombra, riqueza, valor de uso, rendimiento, Soconusco.

I. CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Los sistemas de producción que combinan el cultivo con especies leñosas para sombra se denominan agroforestales. Esta denominación incluye la forma de uso de la tierra y las prácticas o tecnologías desarrolladas, en donde los individuos leñosos son deliberadamente integrados con cultivos agrícolas y/o animales en la misma área de manejo, bajo alguna forma de arreglo espacial y secuencia temporal (Atangana et al. 2014). El manejo de las parcelas que determina un sistema agroforestal (SAF) constituye un conjunto de viejas prácticas que actualmente han retomado auge. Debido a las problemáticas de la pérdida de cobertura de suelo a causa de la deforestación, los SAF se han propuesto como una alternativa ante la agricultura convencional. Las prácticas de agroforestería ofrecen perspectivas prometedoras dentro de un contexto de reducción de la disponibilidad de tierras cultivables, de aumento de la presión demográfica, crisis alimentaria, cambio climático, y el hecho de que la intensificación de la agricultura convencional ha llegado a sus límites. El trabajo con los SAF se está concentrando en promoverlos como una alternativa para detener la pérdida de biodiversidad. Se trata de no abrir nuevas tierras para cultivo sino estudiar la forma de mejorar y diversificar estos sistemas para aumentar la productividad (Duque 2004; Atangana et al. 2014; Montagnini et al. 2015). Los SAF mantienen una mayor complejidad estructural, funcional y económica que otros sistemas de producción gracias a su similitud con los bosques (Ruf y Schrot 2004; Kumar et al. 2008). Sin embargo, para consolidar esta propuesta, hace falta incrementar los esfuerzos en el estudio del funcionamiento de estos sistemas. Pues también se ha determinado que el uso de la cobertura de la sombra puede generar diversas problemáticas para los productores, principalmente la disminución de los rendimientos del cultivo debido a un incremento de plagas y, principalmente de enfermedades por hongos, tal como sucede en plantaciones de café y cacao (Kumar et al. 2008; Jezeer et al. 2017). En los sistemas de producción de cacao, está reportado que una estructura de sombra más compleja con un manejo de bajos insumos ofrece numerosas funciones

ambientales pero reduce la productividad del cultivo. Mientras que una estructura más simplificada que proporciona sombra mínima al cultivo aunado a una alta intensidad de manejo genera un incremento significativo en los rendimientos (Wade et al. 2010; Jacobi et al. 2014; Díaz-José et al. 2014; Utomo et al. 2016). Desde la década de los 60', en regiones cacaoteras del mundo se ha reportado la reducción de la cobertura arbórea en los cultivos para permitir la entrada de luz solar (Cunningham y Burridge, 1960), se considera que una mayor cantidad de luz reducirá la humedad en el cultivo y como consecuencia disminuirá la proliferación de los hongos en las mazorcas de cacao. Esta tendencia de simplificación en sistemas de producción de cacao fue ampliamente documentada por Ruf (2011), en donde se menciona que los productores no visualizan los beneficios de la sombra en el cultivo y que lejos de diversificar, tienden a reducir la densidad de árboles en las parcelas y a promover el cacao en monocultivo. Las recomendaciones oficiales invitan a los productores a sustituir los árboles grandes por especies exóticas y con apoyo de las políticas públicas se han incorporado híbridos de cacao para monocultivo sin sombra que favorece la lógica económica de maximización de la productividad (Daghela et al. 2013; Vaast y Somarriba 2014; Scroth y Harvey 2007; Steffan-Dewenter et al. 2007; Anglaaere et al. 2011; Clough et al. 2011; Ruf 2011; Hernández-Gómez et al. 2015). En otros escenarios, la disminución del interés del productor por el cacao puede ocasionar el abandono de las plantaciones o el reemplazo del cultivo con sombra por monocultivos de especies comerciales (Ibarra et al. 2001; Mohamed et al. 2015).

Los sistemas agroforestales de cacao y sus funciones socio-ambientales

El cacao (*Theobroma cacao* L.) actualmente se reconoce como un miembro de la familia Malvaceae. Es un árbol originario de América del Sur, pero su cultivo, historia cultural y uso comenzaron en Mesoamérica hace aproximadamente 3000 años (Zhang y Motilal 2016). Las plantaciones de cacao se distribuyen en las tierras bajas húmedas del trópico y es cultivado por cinco millones de familias rurales a nivel mundial (Somarriba et al. 2014), mayormente por pequeños productores en pequeñas superficies de tierra (Rice y Greenberg 2000; Somarriba et al. 2014; Hernández-Gómez

et al. 2015; Zhang y Motilal 2016). Se estima que el 70 % del cacao en el mundo es cultivado con varios niveles de sombra (Vaast y Somarriba 2014). El 90 % de la producción de cacao, se obtiene de ocho países, cuatro de ellos pertenecen a África Occidental (Snoeck et al. 2016) en donde Costa de Marfil y Ghana son los mayores productores.

Los sistemas de producción de cacao han sido clasificados de acuerdo a la cobertura de la sombra, composición y origen de sus componentes. Los árboles del estrato superior pueden ser conservados de la vegetación original (cultivo rústico) (Rice y Greenberg 2000; Isaac et al. 2009; Somarriba et al. 2014), resultado de procesos de regeneración natural y plantados dentro del cual se han incorporado especies frutales o de importancia comercial (de sombra plantada) (Rice y Greenberg 2000; Andres et al. 2016) o con sombra nula, sin componentes arbóreos (cacao en monocultivo) (Rice y Greenberg 2000; Somarriba et al. 2014; Andres et al. 2016). Rice y Greenberg (2000) señalan que el cultivo rústico alberga una alta biodiversidad pero el manejo continuo por parte de los productores evita la regeneración natural y ocasiona que el sistema se mantenga en un proceso continuo de sucesión. Por otra parte, el sistema de cacao en monocultivo, alberga una baja diversidad de especies (Andres et al. 2016; Rice y Greenberg 2000), presenta mayor sensibilidad ante las plagas y enfermedades (Rice y Greenberg 2000; De Almeida y Valle 2007), está asociado a la erosión de los suelos, susceptibilidad al cambio climático (Andres et al. 2016) y los costos para su mantenimiento son altos; por ello se ha considerado que los monocultivos de cacao son sistemas diseñados para productores con suficiente capital para compensar los faltantes en el sistema debido a la ausencia de la sombra (López 1987; De Almeida y Valle 2007). De acuerdo con Rice y Greenberg (2000) los más recomendados son los sistemas de sombra plantada, debido a las numerosas funciones que estos sistemas ofrecen.

Son diversos los factores que pueden influenciar en la estructura y la función de los sistemas de producción de cacao, tales como la cultura, el medio natural, la historia del cultivo (Harvey y Schroth, 2007; Isaac et al., 2009; Sonwa et al., 2014) y las políticas y

mercados a niveles global o nacional (Sonwa et al., 2014). Los sistemas de producción que combinan cultivos con árboles de sombra se denominan sistemas agroforestales (SAF) de tipo agrosilvícolas (Ospina 2004; Soto-Pinto et al. 2008). Este tipo de plantación por esquema multi-estrato de integración de cultivos y cacao son desarrollados a propósito por algunos agricultores para aumentar los productos de la granja y minimizar la vulnerabilidad por riesgos mediante la diversificación, suplemento de ingresos, la tenencia segura de la tierra y para dar sombra al cacaotal (Idol et al. 2011; Tschardt et al. 2011).

De acuerdo con Tschardt et al. (2011), los beneficios de los árboles de sombra en los SAF se clasifican en aprovisionamiento de recursos alimenticios y no alimenticios; provisión de nutrientes, redes de seguridad y fertilización por abonos; estimulación de la descomposición de la hojarasca, el ciclo de nutrientes y el control de la erosión; aumento del almacenamiento de carbono y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero; mitigación de los efectos del cambio climático y mejoramiento de la biodiversidad funcional.

En un SAF de cacao, los árboles pueden ejercer funciones de sombra, estéticos y culturales, de alimento, materiales para construcción, medicina para autoabasto, uso agrícola o venta (Álvarez-Carrillo et al. 2012; Somarriba et al. 2014; Ramírez-Meneses et al. 2013; Andres et al. 2016; Vaast et al. 2016; Salgado-Mora et al. 2007; Roa-Romero et al. 2009). Los sistemas multiestrato de cacao mantienen la fertilidad del suelo; reducen la erosión (Beer et al. 1998; Rice y Greenberg 2000; Vebrova et al. 2014; Somarriba et al. 2014), la cantidad y calidad de la luz transmitida que evita el excesivo crecimiento vegetativo y el estrés de las plantas (Beer et al. 1998). También aumentan la disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Vebrova et al. 2014; Somarriba et al. 2014, Isaac et al. 2009; Andres et al. 2016) a través de los procesos tales como el ciclo eficiente de nutrientes y el aumento adicional de biomasa (Duguma et al. 2001; Isaac et al. 2009). Comparados con campos abiertos o de pastoreo, los SAF de cacao, tienen potencial para la conservación de biodiversidad, su estructura similar a un bosque secundario o primario provee recursos y nichos para una variedad de especies

nativas de flora y fauna (Rice y Greenberg 2000; Daghela et al. 2013; Vebrova et al. 2014; Sonwa et al. 2014; Salgado-Mora et al. 2007; Roa-Romero et al. 2009). En general, la diversidad de plantas y animales en agrobosques es mayor que en otros en otros sistemas agrícolas, pero más bajo que en un hábitat de bosque original (Schroth y Harvey 2007). Estos sistemas intercalados en un mosaico de bosques secundarios y campos de cultivo pueden contribuir de forma importante en la conectividad de paisaje (Rice y Greenberg 2000; Vebrova et al. 2014) y la reducción de los efectos de borde. También pueden representar zonas buffer alrededor de las áreas protegidas de bosque primario (Vebrova et al. 2014). Sin embargo, la capacidad de los SAF de cacao para albergar biodiversidad disminuye conforme se incrementa la intensidad de manejo (Ramírez-Meneses et al. 2013; Daghela et al. 2013; Jacobi et al. 2014).

Se ha demostrado que añadir complejidad en los sistemas de cultivo, dada por la asociación de plantas, mejora la capacidad del sistema para hacer frente a plagas y enfermedades (Rice y Greenberg 2000; Álvarez-Carrillo et al. 2012; Jacobi et al. 2014; Tadu et al. 2014; Andres et al. 2016; Vebrova et al. 2014; Vaast et al. 2016). Además, pueden ofrecer mayores rendimientos a través de la venta de los cultivos para diversificación (Isaac et al, 2009; Jacobi et al. 2014; Andres et al. 2016). Los SAF de cacao también ofrecen funciones de conservación del agua, almacenamiento de carbono (Sonwa et al. 2014; Álvarez-Carrillo et al. 2012; Vaast et al. 2016) y mitigación del cambio climático (Álvarez-Carrillo et al. 2012; Vaast et al. 2016).

Debido a los beneficios que los SAF de cacao ofrecen se están considerando cada vez más como agroecosistemas útiles para ofrecer servicios ambientales (Sonwa et al. 2014; Andres et al. 2016). No obstante, además de los beneficios también se han registrado inconvenientes del uso de la sombra, como la dificultad en el manejo de la sombra también ha sido registrada como una problemática en los SAF de cacao. Las actividades requeridas para la regulación de la cobertura arbórea tienen altos costos y conllevan un riesgo, debido a que los productores no cuentan con innovaciones tecnológicas y equipos adecuados (Andres et al. 2016). Por otra parte se han identificado la reducción de la productividad de los árboles de cacao, la proliferación de

plagas y enfermedades, la competencia entre los árboles y el cacao por la luz, especialmente cuando la cobertura de sombra es excesiva (Beer et al. 1998; Isaac et al. 2009) y el comportamiento invasivo de algunas especies introducidas en el sistema (Kumar et al. 2008).

Se han llevado a cabo diferentes estudios para evaluar la relación de la estructura de la sombra con la productividad del cultivo de cacao en los SAF, en Centroamérica, Camerún y Costa de Marfil la sombra tuvo impactos negativos sobre el rendimiento de los cultivos (Somarriba et al. 2014; Daghela et al. 2013; Andres et al. 2016). Pero en otros estudios, el Amazonas peruano (Vebrova et al. 2014) y en Costa Rica (Somarriba y Beer 2011; Deheuvels et al. 2012) la sombra no tuvo influencias significativas sobre el rendimiento del cacao. Duguma et al. (2001), comenta que los requerimientos de sombra dependen de la edad de la plantación, varían de un lugar a otro e incluso depende de la procedencia de los árboles de cacao.

Problemáticas en el sistema de producción de cacao

Las enfermedades en las plantaciones de cacao son la causa más importante de las pérdidas de rendimiento en la producción. Se estima que más de 40 % de toda la producción de cacao se pierde anualmente por causa de cinco enfermedades, cuatro de ellas causadas por los géneros *Moniliophthora*, *Phytophthora* y *Ceratobasidium* y una por virus (ten Hoopen y Krauss 2016). Entre otros problemas que enfrentan los pequeños productores de cacao están: la incidencia de enfermedades causadas por virus y hongos, la pérdida de fertilidad del suelo, las desventajas competitivas en el mercado internacional (Díaz-José et al. 2014), la inexistencia de asesoría para el productor acerca del manejo de la sombra y del control de plagas y enfermedades, la falta de apoyos gubernamentales y la aplicación de políticas públicas que no favorecen a los productores (López 1987; Córdova-Ávalos et al. 2001; Díaz-José et al. 2014; Hernández-Gómez et al. 2015).

La tradición del cultivo de cacao en el Soconusco

La región del Soconusco fue sin duda un elemento clave en el sistema económico del Posclásico mesoamericano por ser una zona importante de producción de cacao (Gasco 2005). El trabajo de la familia en el cultivo de cacao es una tradición que fue registrada desde el siglo XVII, en donde los documentos revelan la existencia de numerosas pequeñas parcelas como huertos de cacao de carácter familiar (Cruz 2014). Acacoyagua es un municipio en donde se han reportado ciudades como Ocelocalco y Xoconochco, consideradas como puntos esenciales de intercambio de mercancías, entre ellas el cacao (Gasco 1992). Los granos de cacao también jugaban un papel fundamental en las celebraciones de banquetes y actividades rituales (Gasco 2005). La gente del Soconusco estuvo involucrada en la producción y consumo de chocolate desde 1900 aNE. La decadencia de la región como productora de cacao inicia en el siglo XVII. A partir de ese momento comenzaron los altibajos en los precios del grano hasta llegar a la actual crisis del mercado (Damián 1988; Cruz 2014). Actualmente, la baja producción, continúa resolviéndose con la importación de materia prima. La introducción de los complementos o los sustitutos de chocolate y la alta demanda de éstos por parte de los consumidores también conforman una problemática en la producción de cacao (Oliveros y Pérez 2013).

El Sistema de Información Arancelaria registró en 2015 la importación en México de 23521.369 ton/año¹, de las cuales la República de Ecuador aportó más del 50 % de los granos de cacao importados (SIAV 2018). El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reporta una superficie sembrada de cacao en el país de 61562.10 ha, de esta, 98 % se encuentra distribuida en los estados de Tabasco (65.19 %) y Chiapas (32.84 %) (SIAP 2014). Las regiones productoras de cacao en el estado de Chiapas son el Centro, Norte, Selva y Soconusco. En esta última se desarrolla la mayor producción en el estado.

¹ Rubro correspondiente a cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado. Datos sujetos a revisión por INEGI. Cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado.

Hoy en día el cultivo de cacao se encuentra en riesgo debido a la entrada de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) al Soconusco en el año 2007; se estima que esta enfermedad puede causar pérdidas de hasta 90 % de la producción por unidad de superficie (Ramírez 2008). Las afectaciones en el cultivo a causa de la moniliasis fortaleció en la región la tendencia de simplificación de la cobertura de la sombra. Se ha reportado que los productores en la búsqueda de soluciones reducen o eliminan la cobertura arbórea en los cultivos, o reemplazan las plantaciones de cacao por monocultivos comerciales con el fin de incrementar el valor de la tierra y el trabajo (Hernández-Gómez et al., 2015).

Pese a la importancia de los SAF de cacao, los estudios en la región son escasos y Acacoyagua, aunque figura como productor en el Soconusco (SIAP 2014; Avendaño et al. 2011), no se ha considerado en trabajos previos. Probablemente porque está situado entre los municipios de menor producción (SIAP 2014). No obstante, se trata de un área con historia en la producción de cacao y con potencial para el desarrollo del cultivo. En donde se desconocen las características del sistema de producción, los cambios de cobertura arbórea que se han sucedido después de la entrada de la moniliasis y las relaciones entre la estructura de sombra y las funciones socioambientales que ofrecen estos sistemas.

El objetivo del trabajo fue tipificar la estructura de los sistemas de producción de cacao del municipio de Acacoyagua, Chiapas, México y relacionarlas con algunas funciones socioambientales. El presente estudio considera a la estructura arbórea de los sistemas de producción de cacao como resultado del manejo por parte del productor y como factor que determina las funciones de: producción del grano (rendimiento), reservorio de riqueza florística y aprovisionamiento de recursos alimenticios y no alimenticios. Se analizaron y relacionaron las variables de estructura, composición y rendimientos entre tipos de estructura. El trabajo se presenta en formato de artículo científico, seguido de conclusiones generales que abordan el análisis de las principales variables del estudio y sus relaciones. Al final se incluyen los resultados de las correlaciones de Pearson (Anexo I, cuadro 1) como auxiliar del apartado del artículo titulado “Relaciones entre

variables de composición, estructura y rendimiento en los tipos de estructuras de cacao”.

II. Artículo

El sistema agroforestal de cacao en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México: estructura y funciones socioambientales de un sistema de producción en riesgo.

Angelita López Cruz¹, Lorena Soto-Pinto^{2*}, Marisela Salgado Mora³ y Graciela Huerta Palacios⁴.

1. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Carretera Panamericana y Periférico Sur S/N. Col María Auxiliadora. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, C. P. 29290, México. lopez.crz.ang@gmail.com

2. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Carretera Panamericana y Periférico Sur S/N. Col María Auxiliadora. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, C. P. 29290, México. lsoto@ecosur.mx

3. Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus IV Huehuetán, Chiapas, C. P. 30660. msalgado@unach.mx

4 El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Carretera Antiguo Aeropuerto Km. 2.5, Centro. Tapachula de Córdova y Ordoñez, Chiapas, C. P. 30700.ghuerta@ecosur.mx

*Correspondencia.

Abstract: The agroforestry system of cocoa (*Theobroma cacao*) in the municipality of Acacoyagua, Chiapas, México. The cocoa is an important traditional crop with socio-environmental relevance. The cocoa production system developed under the shade of trees in agroforestry systems (AFS); in the last years, the tree structure of these systems is being lost due to the tendency to removing the shade for control of fungal diseases. However, the changes of the structure, diversity and relationship between shade and production are poorly understood. The main aim of this work was typify the structure in the cocoa crops and relate the types with socio-environmental functions in the municipality of Acacoyagua, Chiapas, Mexico. The research was carried out in 27 plots; a semi-structured interview was applied to each producer to know the yields ($\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), the productive process, the organization of production and the product marketing. In each plot, we marked a 20 x 20 m quadrat, where all individuals with a DBH \geq 5 cm were measured. The Shannon diversity index and the importance value were calculated. By type of cocoa crop, the number of strata, density, canopy cover, basal area, richness, use of the species and cocoa yields were determined; the structural variables, richness, use values and yields were related. The AFS of cocoa is based on a family organization and low input management. It's constituted by the cocoa crop associated with several multi-purpose shade trees species, mainly for food and timber. The diversity index was 3.15; *Lonchocarpus* sp., *Roseodendron donnell-smithii* and *Cedrela odorata* obtained the highest importance value. Three types of crops were identify: a) cocoa in traditional polyculture, with average number for strata in 6.4, constituted by native and cultivate timber and food species; b) cocoa with *Inga* and *Lonchocarpus*, dominated by trees for shade specific use (on average, 4.5 strata); and c) cocoa with scattered trees with average number for strata in 3.6, without a pattern of shade trees use. The plots with traditional polyculture cocoa provide more products for the families supply and play an important role as habitat for the native flora of the region. The simplification of the tree structure did not have a significant effect on cocoa yields and decreases the potential of AFS for the maintenance of biodiversity conservation and supply functions. Management practices such as the renewal of cocoa trees and the control of vegetative growth could improve yields and facilitate the control of the spread of diseases such as moniliasis.

Keys words: shade, richness, use value, yield, Soconusco.

México es uno de los países con una larga tradición en el cultivo, uso e intercambio del cacao desde el Posclásico mesoamericano (Gasco 2005, Díaz-José et al., 2014). La producción de cacao en México se localiza principalmente en Tabasco (65.2 %) y Chiapas (32.8 %) (SIAP 2014). Se cultiva bajo sistemas agroforestales tradicionales sostenidos por familias predominantemente campesinas que producen en pequeña escala, con bajos insumos y conocimientos locales (Córdova-Ávalos et al. 2001, Atangana et al. 2014, Díaz-José et al. 2014).

El sistema combina el cultivo con árboles de sombra plantados y de la vegetación natural en distintos arreglos (Somarriba y Beer 1999, Somarriba et al. 2014). Sin embargo, presenta problemas de pérdida de fertilidad del suelo, baja productividad y alta incidencia de enfermedades (Cerdeña et al. 2014, ten Hoopen y Krauss 2016). Además, las familias cacaoteras en general cuentan con escasos apoyos financieros, asesoría técnica, presentan una pobre o nula organización y vulnerabilidad ante las fluctuaciones de los precios del grano en el mercado (Córdova-Ávalos et al. 2001, Cerdeña et al. 2014, Díaz-José et al. 2014, Vaast y Somarriba 2014).

Recientemente, debido a la incidencia de enfermedades fúngicas se promueve el cacao con poca sombra o a pleno sol, lo que provoca pérdida de vegetación, disminución de la diversidad de especies y de la diversidad funcional (Ibarra et al. 2001, Sambuichi 2002, Faria & Baumgarten 2007, Roa-Romero et al. 2009, Salgado-Mora et al. 2007, Sonwa et al. 2014, Vebrova et al. 2014, Hernández-Gómez et al. 2015, DaRocha et al. 2016), erosión del suelo y reducción de la abundancia y diversidad de productos derivados de la vegetación para las familias campesinas, así como la pérdida de otras funciones del sistema (Rice & Greenberg 2000, Ruf & Schrot 2004, Montagnini et al. 2005, Kumar et al. 2008, Isaac et al. 2009, Somarriba et al. 2014, Vebrova et al. 2014, Tondoh et al. 2015, Andres et al. 2016).

La simplificación de la estructura de la vegetación de sombra se fundamenta en la idea de que una mayor entrada de luz traerá como consecuencia la disminución de la incidencia de hongos y una mayor productividad (Isaac et al. 2009, Anglaaere et al. 2011, Vaast & Somarriba 2014, Andres et al. 2016, Tondoh et al. 2015). Las productoras y los productores también reemplazan las especies nativas de sombra por especies comerciales con la finalidad de obtener mayores ingresos (Ibarra et al. 2001, Mohamed et al. 2015). No obstante la importancia del cacao, en México, hay pocos estudios que describan el sistema y los cambios estructurales y funcionales que se han llevado a cabo en los últimos años.

El objetivo de este trabajo fue tipificar la estructura del cultivo de cacao y relacionar los tipos con funciones socioambientales en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México. Las funciones estudiadas fueron la conservación de la riqueza florística, la productividad (rendimiento del grano) y el aprovisionamiento de productos alimenticios y no alimenticios a las familias productoras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El municipio de Acacoyagua tiene una superficie de 263.13 km², está ubicado entre los paralelos 15°19' y 15°30' de latitud norte y los meridianos 92°32' y 92°49' de longitud oeste, dentro de la región socioeconómica El Soconusco (Figura 1). El rango de temperatura anual es de 14-30 °C, y 2,500 a 4,000 mm de precipitación anual. Predomina el clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (INEGI 2010). Las tierras son ejidales y están distribuidas en pastizales (32.4 %), agricultura (0.6 %), áreas urbanas (0.5 %), vegetación secundaria (65.4 %) y bosque (1.1 %) (INEGI 2005). Los cultivos con mayor producción son mango, café y maíz (INEGI 2007; SIAP 2014). El cultivo de cacao se desarrolla sobre una superficie de 260.7 ha (SIAP 2014).

En el Soconusco, los sistemas de producción de cacao tradicionales se encuentran en riesgo debido a la entrada de la moniliasis en 2007. Se estima que esta enfermedad puede causar hasta el 90 % de la pérdida de producción en el cultivo. Esta problemática fortaleció la tendencia de simplificación de la sombra en las parcelas de cacao de la región (Ramírez 2008).

La producción de cacao en Acacoyagua no figura en las agendas de cacao ni en los estudios de sistemas de producción regionales. Esto debido a que el municipio está situado con una baja productividad frente a aquellos con mayor superficie de cultivo (SIAP 2014). Sin embargo, la zona mantiene una historia y tradición en la producción desde épocas de la colonia (Gasco 1992) y las tierras tienen el potencial para el desarrollo y mantenimiento del cultivo de cacao (Avendaño et al. 2011).

Selección de unidades de muestreo e inventarios agroecológicos: El cacao en el municipio es cultivado por 54 unidades de producción (SIAP 2014). Para esta investigación se seleccionaron las localidades con un número mayor de unidades de producción, donde se eligieron 27 (50 % de las unidades) en las siguientes comunidades: Los Cacaos (9), María Esther (5), Nueva Libertad (5) y la cabecera municipal (8), estas localidades están ubicadas a una altitud entre 80 y 640 msnm. Los SAF de cacao se encuentran dentro de terrenos dedicados para la agricultura y de áreas de vegetación secundaria de selva alta perennifolia (INEGI 2016) (Figura 1). Los suelos son de tipo Feozem háplico, Cambisol eútrico, Regosol eútrico y Acrisol húmico (INIFAP-CONABIO 1995).

Las productoras y los productores que participaron en el estudio fueron elegidos a través de la metodología de bola de nieve, propuesta por Schensul et al. (1999). Se inició con la autoridad ejidal de cada localidad. Para la participación se consideraron la disponibilidad y el consentimiento de las productoras y de los productores para responder a una entrevista semiestructurada y para la visita de las parcelas. De las 27 personas productoras de cacao entrevistadas, 14.8 % (4) fueron mujeres y 85.2 % (23) fueron hombres.

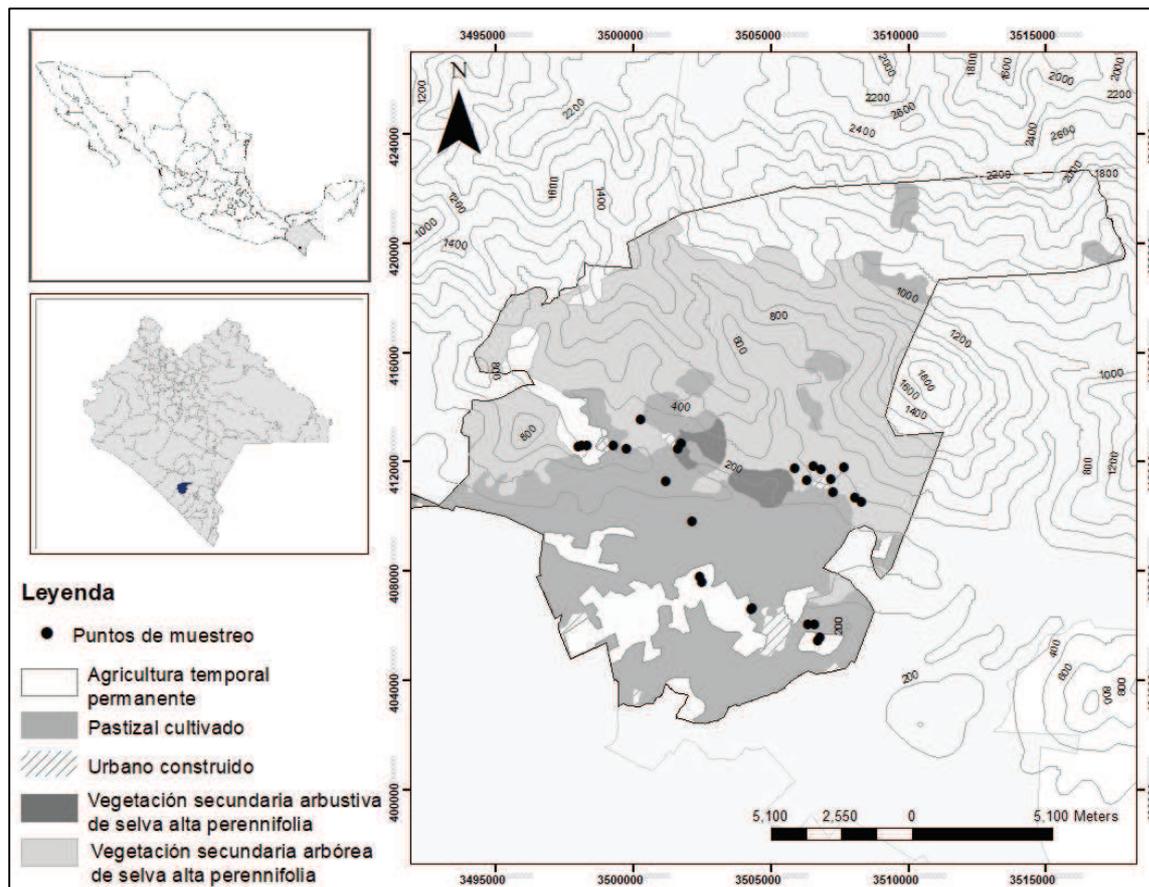


Figura 1. Localización de las parcelas de muestreo en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México. Muestra las curvas de nivel reportadas por CONABIO (1998) y el uso de suelo y vegetación registrado por INEGI (2016).

Figure 1. Location of sampling plots in the municipality of Acacoyagua, Chiapas, México. The map use countour lines reported by CONABIO (1998) and land use and vegetation recorded by INEGI (2016).

Las entrevistas se realizaron para obtener datos de edad y origen del productor, integrantes del núcleo familiar, actividades económicas, tenencia de la tierra, actividades extracomunitarias, migración, organización social y producción agrícola. Se recopilaron datos acerca del cultivo de cacao: historia, superficie, procesos e instrumentos de trabajo, rendimientos, procesamiento y comercialización, fuentes de apoyo, problemas, soluciones, importancia y futuro del cultivo.

Se determinó el valor de uso de las especies y la preferencia de la sombra con ayuda del productor. También se solicitó la guía para el trabajo en la parcela y fue, la productora o productor, quién tomó la decisión respecto al sitio en donde sería permisible llevar a cabo el muestreo. En cada parcela se marcó un cuadro de 20 x 20 m, fueron censados todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 5 cm cuyos tallos se encontraran dentro de esta área. Para cada individuo se registró la identidad taxonómica, nombre común, DAP, valor

de uso, altura (m) y forma biológica. Se realizaron registros y notas de campo de individuos arborecentes y herbáceos para complementar los datos de estructura, composición y valor de uso de las especies. Para determinar la estructura física vertical se consideraron la altura y la forma biológica de los individuos (árboles, arbustos, arborecentes y hierbas). La cobertura de sombra se midió de acuerdo con el método propuesto por Medina et al. (2006), adaptado a parcelas de cacao. Este consistió en contabilizar el número de árboles de cacao que eran cubiertos, ya sea de forma parcial o total por la sombra de individuos de otras especies en el cuadro de 20 x 20 m. En cada cuadro, el porcentaje de sombra fue calculado como el número de árboles de cacao sombreados entre el número total de árboles de cacao registrados multiplicado por cien.

Análisis de datos: Se utilizó estadística descriptiva para describir las parcelas, su estructura, composición y manejo. Las especies fueron determinadas empleando el sistema de clasificación APG III (Angiosperm Phylogeny Group). Se determinaron la diversidad (H') y equitatividad de Shannon (E) con la riqueza y abundancia de las especies arbóreas. Las especies florísticas se categorizaron por su origen y valor de uso. Los árboles se clasificaron de acuerdo con la calidad de la sombra como “sombra fresca o buena” y “sombra mala o que afecta al cultivo”, según la percepción de las y los productores. Las categorías de uso y de preferencia de sombra se conformaron con los registros aportados por los 27 productores. Para incluir a la especie en una u otra categoría fue considerada una mención de uso o el consenso. Se calcularon la abundancia relativa (%) y el valor de importancia ampliado (IVIA) de las especies de árboles de sombra:

IVIA= (frecuencia relativa % + dominancia relativa % + abundancia relativa + posición sociológica relativa %).

Índice de posición sociológica relativa de cada especie (PSr)

$$PSr = \frac{PSa}{\sum PSa} \times 100$$

Índice de posición sociológica absoluta por especie (Psa)

$$Psa = VFi \times niha^{-1} + VFm \times niha^{-1} + VFs \times niha^{-1} + \dots$$

Valor fitosociológico por especies (VFi)

$$VFi = niha^{-1} / Nha^{-1} \times 100$$

Donde:

VFi: Valor fitosociológico de una especie en el i-ésimo estrato.

$niha^{-1}$: número de individuos por hectárea de una especie en el i-ésimo estrato.

Nha^{-1} : Número de individuos por hectárea, presentes en todos los estratos.

i: estrato arbóreo alto (i), estrato arbóreo medio (m), estrato arbóreo bajo (s)...

$\sum PSa$: Sumatoria de las posiciones sociológicas de todas las especies.

Se identificaron las especies bajo alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) y en la Lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Clasificación por tipos de estructura: Se evaluaron las variables de diversidad (riqueza y abundancia) y de estructura (número de estratos, densidad de árboles de sombra y cobertura de sombra) con el análisis multivariado de ordenación “Vecino más próximo” con tres predictores

($K=3$) en el programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 2008) versión 9.4 para las 27 parcelas. Se encontró que las variables riqueza, abundancia (n) y número de estratos fueron las que mejor clasificaron a las parcelas. La inclusión de la variable de estructura en la clasificación, generó muchos grupos pequeños, por tanto, se utilizaron las variables de composición (familias botánicas) y abundancia (n) en 400 m^2 para un análisis de similitud de parcelas con el índice modificado de Morisita (CMH) en el programa MVSP versión 3.22. Para el análisis fueron excluidas las parcelas con una densidad ≤ 50 individuos por hectárea (nha^{-1}) ya que el número bajo de individuos no ofrecía un patrón claro de agrupamiento. Los grupos derivados del análisis multivariado se consideraron como tipos de estructura, se determinó un tipo adicional con las parcelas de densidad $\leq 50\ nha^{-1}$. Los tipos de estructuras fueron evaluados a través de los valores promedio de: a) estructura (número de estratos, densidad de árboles de sombra, de cafetos, de plátanos y de palmas (nha^{-1}); cobertura de sombra (%), área basal (m^2ha^{-1}) y altura de árboles de sombra (m)); b) composición (riqueza de especies, número de especies nativas, número de especies introducidas y número de especies arbóreas, en 400 m^2); c) valor de uso de las especies (número de especies útiles en 400 m^2 , densidad de frutales y maderables (nha^{-1}); número de productos para alimentación y número de productos para madera, en 400 m^2); d) atributos de árboles de cacao: densidad (nha^{-1}), área basal (m^2ha^{-1}), altura (m), edad y rendimiento del cultivo ($kg\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). Para obtener las variables de valor de uso, para cada tipo de estructura fueron calculados los valores promedio y la desviación estándar con los registros de uso de las especies proporcionados por los productores.

Se realizó la estratificación detallada de la estructura física vertical de la vegetación con los datos de altura y forma biológica de los individuos que permitió mejorar el nivel de comparación entre los tipos de estructuras. Los estratos fueron descritos y esquematizados con base en la composición florística de las especies más abundantes por tipo de estructura. Se llevó a cabo la prueba de Levene para igualdad de varianzas y se empleó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney con el método de prueba de Monte Carlo para obtener las diferencias estadísticas entre tipos de estructuras a un nivel de confianza de 95 % ($p < 0.05$). Se realizó un análisis de correlación de Pearson con significancia bilateral entre los valores promedio de variables de composición, estructura y rendimiento por tipo de estructura. Los análisis se llevaron a cabo en el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4 (SAS Institute Inc. 2008).

RESULTADOS

Las familias productoras de cacao

La edad de los productores es en promedio de 62 ± 12.29 años, tienen 3.08 ± 1.74 hijas y 2.81 ± 1.61 hijos. Las familias productoras de cacao son originarias de Acacoyagua (44.4 %) y de otras regiones del estado de Chiapas (55.6 %). La mayor parte viven entre altitudes de 270 a 650 m (70 %) y, en menor medida, en la parte baja del municipio a menos de 150 msnm (30 %). Su actividad económica principal es la agricultura (55.6 %), también se dedican a empleos temporales en programas de gobierno (18.5 %), jornaleo agrícola (14.8 %) y trabajo doméstico de su propia unidad familiar (11.1 %). Más de la mitad de las familias tienen algún migrante en el país o en el extranjero. El dinero proveniente del trabajo extracomunitario es usado principalmente para mejorar las viviendas, para adquisición de tierras y para inversiones agrícolas.

Las principales actividades agrícolas son el cultivo de maíz, frijol, arroz, café, cacao, mango y rambután. La ganadería se desarrolla en menor proporción y funciona como una caja de ahorro para necesidades emergentes. La tierra dedicada al cultivo de cacao es ejidal obtenida por: herencia (44.4%), herencia y compra (14.8%), compra (22.2%) o dotaciones del gobierno (18.5%). Cuando los actuales productores tomaron las tierras, la mayor parte de ellas ya estaban dedicadas al cultivo de cacao bajo sombra (46.4%). La otra parte, antes de cultivar cacao, fueron cafetales con sombra (17.9%), vegetación arbórea nativa (“montaña”) (17.9%) o estuvieron destinadas para otros usos agrícolas sin cobertura (17.9%). En este último caso, los productores mencionaron que permitieron la regeneración de especies nativas y/o incorporaron especies leñosas con valor de uso para ofrecer sombra al cultivo de cacao.

Las actividades de manejo las llevan a cabo los hombres principalmente, en ocasiones, como en el quiebre de mazorcas de cacao, participan mujeres y niños. Las decisiones sobre el trabajo en las parcelas agrícolas están basadas en una organización familiar.

El sistema agroforestal de cacao

El cacao en el municipio se cultiva de forma tradicional, con trabajo familiar y herramientas manuales, sobre una superficie promedio de 2.5 ± 2.04 ha. Se desarrolla bajo un sistema agroforestal (SAF) de tipo agrosilvícola multiestrato con arreglo aleatorio y sombra de árboles maderables, leguminosos, frutales, nativos e introducidos. La mayoría de los productores (74.1%) intercalan plantas de café con el cacao. Los árboles de cacao pertenecen a variedades de los grupos forastero y trinitario, tienen una edad promedio de 27.5 ± 18.7 años y un rendimiento anual de 155.8 ± 99 kg ha⁻¹.

Las principales actividades de manejo son el “deshije” (se realiza las veces que el productor considere necesarias a lo largo del año y consiste en la eliminación de renuevos o chupones) y la limpia de las arvenses (tres veces al año). Entre otras actividades, están la poda de las ramas apicales y la remoción de lianas, parásitas y epífitas de los árboles de cacao llevadas a cabo durante las cosechas. Con menor frecuencia se realiza una vez al año la poda de los árboles de sombra (> 13-15 m) y la poda de los árboles de cacao entre los meses de diciembre a marzo. Los árboles altos (> 15 m) se eliminan cuando se considera que la sombra está afectando al cultivo. Para el control de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y de la mancha negra (*Phytophthora palmivora*) se remueven los frutos enfermos durante las cosechas y se emplea cal y ceniza durante el cajeteado (consiste en la remoción de la hojarasca y plantas vivas encontradas alrededor del tronco del árbol de cacao dos veces al año). No se fumiga ni se fertiliza con químicos debido a sus altos costos. Las herramientas agrícolas manuales que utilizan son: machete y cuchilla (vara recta y larga a la cual se adapta en la punta un cuchillo filoso, plano y cóncavo) para el corte de los frutos y de los renuevos apicales del árbol (denominados “mulinillos”). Las actividades agrícolas en las parcelas de cacao se llevan a cabo durante todo el año. Los hombres transportan las semillas a la casa habitación, donde la familia participa en las actividades de lavado, escurrido y secado (los granos se secan al sol durante tres o cuatro días, en este proceso se utiliza una pala de madera para mover las semillas con el fin de lograr un secado uniforme).

El principal producto del sistema es el grano de cacao, los árboles producen frutos todo el año, pero los meses de mayor producción están identificados en febrero y septiembre-octubre. Dentro del SAF se registraron 50 especies que acompañan al cultivo, 94.1% tienen valor de uso, de estas, 20% son multipropósito (Tabla 1). Las categorías de uso identificadas fueron alimentación

(49 %), sombra (35.3 %), maderable (21.6 %), leña (5.9 %), abono (7.8 %) y otros (7.8%). En la categoría de otros se incluyó a *Licania platypus* apreciada por su rareza, a *Ricinus communis* usada como repelente de tuzas, a *Quararibea funebris*, cuyas ramas se emplean como utensilio doméstico para mezclar bebidas y a *Chamaedorea tepejilote* utilizada a modo de bastón. Tres especies se registraron sin valor de uso (5.9 %) (*Attalea butyracea*, *Castilla elastica* y *Geonoma interrupta*).

De los frutales, el mamey (zapote) es el más apreciado por su valor comercial. Los árboles nativos maderables pueden destinarse para la elaboración de muebles, la construcción de casas o como ahorro, ya que su comercialización en momentos de emergencias médicas y domésticas es importante. Los maderables más apreciados son la primavera (*Roseodendron donnell-smithii*) y el cedro (*Cedrela odorata*).

La mayor parte de los productos registrados en el SAF de cacao, como aguacates, cítricos, plátanos, patate, flores de palma, guanábanas y chiles se destinan para el autoabasto de las familias, para regalos entre amistades y familiares, y en menor medida para la comercialización local entre miembros de la comunidad (actividad principalmente realizada por las mujeres). En cuanto a la preferencia de la sombra para el cultivo de cacao, de las 36 especies arbóreas registradas en las parcelas, 16.7 % fueron reconocidas por los productores como “sombra fresca o buena sombra”, principalmente leguminosas como *Inga* spp. y *Lonchocarpus* sp.; 22.7 % de las especies de árboles fueron consideradas como “sombra mala o sombra que afecta al cultivo” por ejemplo el palo de chiche (*Aspidosperma* spp.), el cedro (*Cedrela odorata*), y el mango (*Mangifera indica*). Sin embargo, éstas son toleradas por el valor de uso maderable o por la producción de frutos para comercialización. La mayor parte de las especies arbóreas no fueron clasificadas bajo ninguna categoría de sombra (60.6 %).

Los granos de cacao se comercializan a través de intermediarios locales y regionales que a su vez lo distribuyen en el mercado nacional (generalmente en Oaxaca, Puebla, Guerrero, México). Un tercio de las familias mencionaron que en ocasiones transforman los granos de cacao a chocolate para consumo o para regalo. La elaboración del chocolate es una actividad desarrollada por las mujeres. Los precios del grano de cacao varían a lo largo del año dentro de un rango de \$32.00 a \$50.00 MXN (US\$1.63-2.55) por kilo.

No se reportaron fuentes de financiamiento gubernamental o de otra institución para mantener la producción. Los productores no forman parte de ninguna organización formal para la comercialización de cacao, se organizan en sus ejidos a través de las instituciones ejidales. El problema más grave que enfrenta el sistema a decir de productoras y productores es la moniliasis, que pudre los frutos de cacao generando pérdidas en la producción durante todo el año. En la búsqueda de soluciones, algunas parcelas se hallan bajo procesos de transformación, lo que conlleva la reducción de los árboles de sombra o el reemplazo de los árboles nativos por frutales y maderables comerciales para incrementar el valor de la tierra y del trabajo. Entre otros problemas comunes están los altibajos en los precios del grano, la pérdida de las flores de los árboles de cacao por la lluvia y granizo y el abandono del cultivo debido a la avanzada edad de los productores.

Tabla 1. Especies registradas en los SAF de cacao en Acacoyagua, Chiapas, México.

Table 1. Species recorded in the AFS of cocoa in Acacoyagua, Chiapas, México (DBH \geq 5 cm).

Nombre común	Nombre científico	Familia	A. R. (%)	F.B.	OR	Usos	CS	PSr	IVIA	DETP
Canaque	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	Euphorbiaceae	0.61	A	N	5,6	.	1.1	5.05	1
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae	1.84	A	N	2	.	5.8	12.14	1
Palo de chiche	** <i>Aspidosperma megalocarpon</i> Müll. Arg.	Apocynaceae	0.31	A	N	4	M	0.3	2.98	1
Palo de chiche	<i>Aspidosperma spruceanum</i> Benth. ex Müll. Arg.	Apocynaceae	2.76	A	N	4	M	3.2	24.31	1
Árbol de manaco o corozo	<i>Attalea butyracea</i> (Mutis ex L. f.) Wess. Boer	Arecaceae	0.61	AB	N	6	.	.	.	1,4
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	0.61	A	N	5,2	.	1.9	7.02	6
Hoja blanca	<i>Calathea lutea</i> (Aubl.) Schult. (R)	Marantaceae	.	H	N	2	.	.	.	1,3
Leche marío	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Clusiaceae	0.61	A	N	4	M	1.1	5.25	1
Chile	<i>Capsicum annuum</i> L. (R)	Solanaceae	.	H	N	2	.	.	.	3
Hule	<i>Castilla elástica</i> Sessé	Moraceae	0.31	A	N	6	.	1	2.94	1
Cedro	*,** <i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	4.29	A	N	4	M	11.2	31.72	1,2,4
Sin nombre	<i>Cestrum</i> sp.	Solanaceae	0.31	AR	N	5	.	.	.	1
Pacaya	<i>Chamaedorea tepejilote</i> Liebm.	Arecaceae	3.99	AB	N	2,5,7	.	.	.	1,2
Lima	<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle	Rutaceae	0.31	A	I	2	.	1	2.8	1
Limón	<i>Citrus medica</i> L.	Rutaceae	0.31	A	I	2	.	1	3	4
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Rutaceae	1.23	A	I	2	.	3.8	15.57	1,2,6
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	0.61	A	I	2	.	1.9	5.92	1
Lima-limón	<i>Citrus x latifolia</i> Tanaka ex Q. Jiménez	Rutaceae	0.31	A	I	2	.	1	2.79	1
Café	<i>Coffea arabica</i> L.	Rubiaceae	19.63	AR	I	2	.	.	.	1,2,3,4
Café	<i>Coffea canephora</i> Pierre ex A. Froehner	Rubiaceae	26.07	AB	I	2	.	.	.	1,2,3,6
Laurel	** <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Boraginaceae	0.92	A	N	4	.	1.5	8.36	1,2,4

Palo de agua	<i>Critonia morifolia</i> (Mill.) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	0.31	AR	N	5	.	.	1
Chipilín	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn. (R)	Fabaceae	.	H	I	2	.	.	6
Desconocido	<i>Geonoma interrupta</i> (Ruiz & Pav.) Mart. (R)	Arecaceae	.	AB	N	6	.	.	1
Platanillo	<i>Heliconia</i> sp. (R)	Heliconiaceae	.	H	N	2	.	.	3
Cuil paterna	<i>Inga inicuil</i> Schltdl. & Cham. ex G. Don	Fabaceae	0.31	A	N	5	B	0.1	2.52 1
Caspirol	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd	Fabaceae	0.92	A	N	5,1,2	B	2	7.9 1,3,6
Guagua	<i>Inga nobilis</i> Willd.	Fabaceae	0.92	A	N	5,2	B	2	5.86 2
Chalum	<i>Inga oerstediana</i> Benth. Ex Seem.	Fabaceae	2.76	A	N	5,1,2,3	B	8.7	20.25 1,2
Cuil	<i>Inga vera</i> Willd.	Fabaceae	3.07	A	N	5,1,2,3	B	8.9	25.67 1,2
Cuil de agua	<i>Inga vera</i> subsp. <i>spuria</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. León	Fabaceae	0.92	A	N	5,1	B	1.3	4.92 .
Sinsapote	<i>Licania platypus</i> (Hemsl.) Fritsch	Chrysobalanaceae	0.31	A	N	7	.	0.3	4.28 5
Chaperna	<i>Lonchocarpus</i> sp.	Fabaceae	4.29	A	N	5,1	B	5.6	38.94 1,2
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	0.92	A	I	2	M	1.5	17.04 1
Guineo	<i>Musa acuminata</i> Colla	Musaceae	1.23	H	I	2	.	.	1,3
Plátano macho	<i>Musa x paradisiaca</i> L.	Musaceae	1.84	H	I	2	.	.	1,3
Tepeaguacate	<i>Nectandra reticulata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	Lauraceae	0.31	A	N	4	.	0.3	2.99 6
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	2.15	A	N	2,5	M	4	18.61 1,6
Mamey	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	Sapotaceae	3.07	A	N	2	.	6.8	26.12 1,5
Mulinillo	<i>Quararibea finebris</i> (La Llave) Vischer	Malvaceae	0.31	A	N	7	.	1	2.75 1
Higuera	<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	0.31	AR	N	7	.	.	6
Tepenahuaste	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Fabaceae	1.23	A	N	4	.	2.6	11.06 1,3
Sin nombre	<i>Sapium lateriflorum</i> Hemsl.	Euphorbiaceae	0.31	A	N	5	.	1	2.76 1
Palo blanco	<i>Sapium</i> sp.	Euphorbiaceae	0.31	A	N	3	.	0.3	5.53 1
Cuchillal	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	Fabaceae	0.31	A	N	5	.	0.3	5.62 1
Castaño	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H. Karst.	Malvaceae	0.31	A	N	4	.	0.1	3.25 1
Primavera	<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose)	Bignoniaceae	4.60	A	N	4, 5	M	8.8	30.91 1,2

Miranda

Roble	<i>Roseodendron rosea</i> (Bertol.) DC.	Bignoniaceae	0.92	A	N	4	.	2.9	8.25	1,5
Volador	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	Combretaceae	0.92	A	N	4	M	1	12.18	1
Pataste	<i>Theobroma bicolor</i> Bonpl.	Malvaceae	1.22	A	N	2	.	3.8	9.79	1
Capulín cimarrón	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Cannabaceae	0.31	A	N	5,3	.	1	2.94	1

(R): Registro observado dentro de las parcelas de muestreo (. A.R.: Abundancia relativa. F.B.: forma biológica: A: árbol; AR: arbusto; AB: arborescente; H: hierba. Usos: 1: abono; 2: alimentación; 3: leña; 4: maderable; 5: sombra; 6: sin uso; 7: otros. OR (Origen): N: nativa; I: introducida. Calidad de la sombra: B: sombra fresca o buena; M: sombra mala o que afecta al cultivo. PSr: Índice de posición sociológica relativa. IVIA: índice de valor de importancia ampliado para árboles de sombra. *Especies bajo alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAAT-2010). ** Especies en la Lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). DETP (Distribución de las especies por tipo de estructura y por parcelas de cacao): 1: cacao en policultivo tradicional; 2: cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*; 3: cacao con árboles dispersos; 4: parcela 13; 5: parcela 14; 6: parcela 16.

En una pequeña proporción de las parcelas (11 %), se está considerando eliminar el cultivo por completo debido a los bajos rendimientos. La mayoría de los productores heredará la parcela de cacao a hijo(s) o nieto(s) interesados en continuar con el cultivo (40.7 %). Algunos no saben qué pasará con el cacao porque sus hijos aún no deciden si trabajarán en el campo o porque no están seguros de seguir con la plantación debido a los problemas de moniliasis (37 %). Otros han decidido vender ya que ninguno de sus hijos está interesado en la parcela de cacao (11.1 %).

Los productores señalaron que el cacao es un cultivo de bajo costo y les implica bajas inversiones de trabajo y de dinero. Además produce todo el año y genera ingresos continuos que solventan pequeños gastos alimenticios, médicos y comunitarios.

Diversidad y estructura general de los SAF de cacao

Diversidad: En las 27 parcelas estudiadas (1.08 ha) se registraron 45 especies (DAP \geq 5 cm) pertenecientes a 34 géneros y 23 familias; 80 % fueron árboles, 11.1 % arbustos, 4.4 % arborescentes y 4.4 % hierbas (*Musa spp.*). Las especies nativas estuvieron representadas por el 80 % del total, el resto fueron introducidas. Las leguminosas (Fabaceae) y los cítricos (Rutaceae) fueron los más abundantes (Tabla 1). Se obtuvo un índice de diversidad y equitatividad calculado con las especies arbóreas de sombra de 3.15 y 0.87, respectivamente.

Estructura: En la vegetación de las 27 parcelas se identificaron nueve estratos: 1) árboles emergentes (< 30 > 40 m), 2) estrato arbóreo alto (\leq 30 m), 3) estrato arbóreo medio (\leq 15 m), 4) estrato arbóreo bajo (\leq 5 m), 5) estrato arbustivo (\leq 6 m), 6) palmas altas (\leq 20 m), 7) palmas bajas (\leq 4 m), 8) estrato herbáceo alto (\leq 8 m) y 9) estrato herbáceo bajo (< 50 cm). Las especies con valores de IVIA más alto fueron la chaperna (*Lonchocarpus sp.*), la primavera (*Roseodendron donnell-smithii*) y el cedro (*Cedrela odorata*).

Tipología de los cultivos de cacao

La tipología identificó tres tipos de estructuras de cacao: 1) cacao en policultivo tradicional con $CMH > 0.5$ (N=11) (Figura 2A), 2) cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* con $CMH > 0.8$ (N=6) (Figura 2B) y 3) cacao con sombra de árboles dispersos ≤ 50 indha⁻¹ (N=7) (Figura 2C; Tabla 2). Tres parcelas del total de la muestra (13, 14 y 16) no se identificaron en ninguno de los tres tipos de estructura.

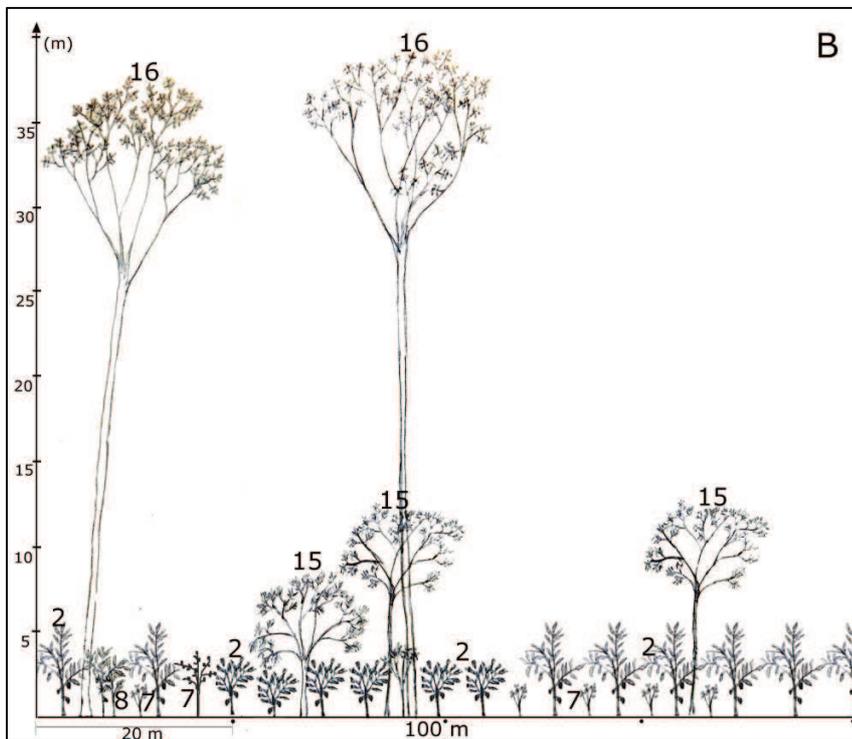
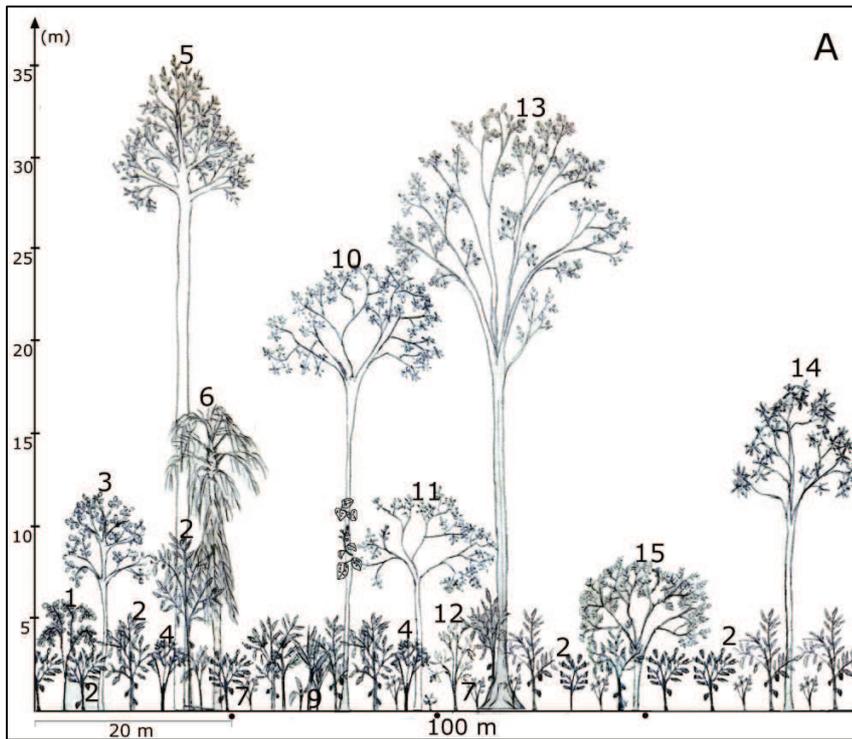
Cacao en policultivo tradicional: Este tipo de estructura incluyó 40.7 % del número de parcelas muestreadas. La superficie promedio del cultivo fue de 2.15 ± 1.07 . Se registraron 59 % de árboles nativos y 41 % de árboles cultivados. *Roseodendron donnell-smithii* y *Cedrela odorata*, son los componentes más abundantes de este sistema. El número promedio de estratos fue de 6.38 ± 0.74 (Figura 2A). Composición de los estratos: a) Árboles emergentes y el estrato arbóreo alto: conformado principalmente por árboles maderables (*Aspidosperma spp.*, *Roseodendron donnell-smithii* y *Cedrela odorata*) y árboles frutales (*Pouteria sapota* y *Persea americana*); b) arbóreo medio: constituido por árboles maderables (*Roseodendron donnell-smithii*, *Cedrela odorata*, *Roseodendron rosea*, *Samanea saman*), leguminosas (*Inga spp.*) y frutales (*Citrus spp.*, *Annona muricata*, *Theobroma bicolor*); c) arbóreo bajo: contiene árboles de cacao; d) arbustivo: dominado por arbustos de café (*Coffea spp.*), los arbustos de otras especies son escasos (*Critonia*

morifolia y *Cestrum* sp.); e) palmas altas (> 200 msnm): conformado por el árbol de manaco o corozo (*Attalea butyracea*); f) palmas bajas: compuesto principalmente por pacayas (*Chamaedorea tepejilote*); g) herbáceo alto: se registraron plátanos, chiles y hoja blanca (*Calathea lutea*); h) herbáceo bajo: están representadas las familias Araceae (*Philodendron* spp.), Fabaceae, Acanthaceae, Poaceae y algunos helechos, ninguna de estas es utilizada por los productores.

Cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*: Abarcó 22.2 % del total de parcelas muestreadas. La superficie promedio fue de 4.04 ± 3.48 . En este tipo de estructura 57.1 % de los árboles fueron nativos y 42.9 % fueron cultivados; 90 % de los individuos arbóreos registrados pertenecen a la familia Fabaceae (*Inga* spp. y *Lonchocarpus* sp.). Los productores mencionaron que la dominancia de estos árboles en las parcelas se debe a la buena calidad de sombra y a la aportación de abono al suelo a través de las hojas de los árboles de *Inga* spp. Se identificaron en promedio 4.5 ± 1.64 estratos (Figura 2B). Composición de los estratos: a) Los árboles emergentes fueron de *Lonchocarpus* sp.; b) arbóreo alto: constituido en su mayoría por chapernas, chalum (*Inga oerstediana*), cuil de agua (*Inga vera*) y guagua (*Inga nobilis*); c) arbóreo medio y bajo: conformados por árboles de cacao; d) arbustivo: representado únicamente por *Coffea* spp.; e) palmas bajas: está integrado por *Chamaedorea tepejilote*; f) herbáceo bajo: constituido principalmente por las familias Araceae (*Philodendron* spp.), Fabaceae y Rubiaceae; sin valor de uso.

Cacao con árboles dispersos: Este tipo de estructura integró 25.9 % del total de parcelas muestreadas. La superficie promedio del cultivo fue de 2.16 ± 1.5 . La baja densidad y riqueza de árboles no permitió definir un patrón de sombra (Tabla 2). El promedio de estratos fue de 3.57 ± 0.98 (Figura 2C). Composición de estratos: a) arbóreo alto: se registraron árboles de mango (*Mangifera indica*) y tepenahuaste (*Samanea saman*); b) arbóreo medio y bajo: constituido por caspirol (*Inga laurina*), cedro (*Cedrela odorata*) y cacao; c) arbustivo: conformado por *Coffea* spp.; d) herbáceo alto: no es un estrato frecuente, cuando estuvo presente se registraron plátanos, hoja blanca (*Calathea lutea*) y platanillo (*Heliconia* sp.); e) herbáceo bajo: se registraron principalmente las familias Araceae (*Philodendron* spp.), Fabaceae, Piperaceae y helechos; sin valor de uso.

Los tipos de estructura cacao en policultivo tradicional y cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*, presentaron un número estratos y una densidad de árboles de sombra mayores en comparación con el cacao con árboles dispersos. La cobertura de sombra no presentó diferencias significativas entre los tipos de estructuras, en el cacao con árboles dispersos la baja densidad es compensada por la sombra de especies arbóreas adultas con áreas basales grandes y copas extendidas que cubren al cultivo. La riqueza de especies y de árboles de sombra, las especies útiles, la densidad de frutales y maderables, y el número de productos maderables fueron mayores en el cacao en policultivo tradicional, intermedias en el cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* y menores en el cacao con árboles dispersos. Las características estructurales de los árboles de cacao y los rendimientos fueron similares entre los tres tipos de estructura (Tabla 2).



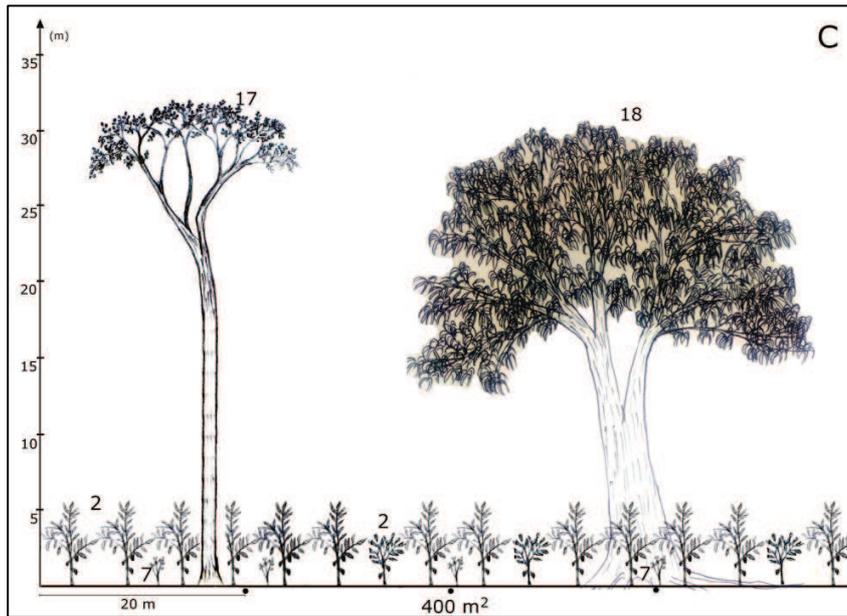


Figura 2. Esquema de la vegetación por tipos de estructura. A. Cacao en policultivo tradicional; B. Cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*; C. Cacao con árboles dispersos. Pataste (*Theobroma bicolor*), 2. Cacao (*T. cacao*), 3. Aguacate (*Persea americana*), 4. Guanábana (*Annona muricata*), 5. Palo de chiche (*Aspidosperma* spp.), 6. Manaco (*Attalea butyracea*), 7. Café (*Coffea* spp.), 8. Pacaya (*Chamaedorea tepejilote*), 9. Plátano (*Musa* spp.), 10. Primavera (*Roseodendron donnell-smithii*), 11. Cedro (*Cedrela odorata*), 12. Cítricos (*Citrus* spp.), 13. Volador (*Terminalia oblonga*), 14. Mamey (*Pouteria sapota*), 15. *Inga* spp., 16. Chaperna (*Lonchocarpus* sp.), 17. Tepenahuaste (*Samanea saman*), 18. Mango (*Mangifera indica*).

Figure 2. Scheme of vegetation by structure types. A. Cocoa in traditional polyculture; B. Cocoa with *Inga* and *Lonchocarpus*; C. Cocoa with scattered trees. Pataste (*Theobroma bicolor*), 2. Cocoa (*T. cacao*), 3. Avocado (*Persea americana*), 4. Soursop (*Annona muricata*), 5. Palo de chiche (*Aspidosperma* spp.), 6. Manaco (*Attalea butyracea*), 7. Coffee tree (*Coffea* spp.), 8. Pacaya (*Chamaedorea tepejilote*), 9. Banana (*Musa* spp.), 10. Primavera (*Roseodendron donnell-smithii*), 11. Cedar (*Cedrela odorata*), 12. Cítrico (*Citrus* spp.), 13. Volador (*Terminalia oblonga*), 14. Mamey (*Pouteria sapota*), 15. *Inga* spp., 16. Chaperna (*Lonchocarpus* sp.), 17. Tepenahuaste (*Samanea saman*), 18. Mango (*Mangifera indica*).

Tabla 2. Características estructurales y rendimientos de cacao en tres tipos de estructuras de cacao en Acacoyagua, Chiapas, México.

Table 2. Structural characteristics and cocoa yields in three types of cocoa crops in Acacoyagua, Chiapas, México.

Variabes	Cacao en policultivo tradicional (N=11)	Cacao con <i>Inga</i> y <i>Lonchocarpus</i> (N=6)	Cacao con árboles dispersos (N=7)
<i>Estructura de sombra</i>			
Número de estratos	6.38±0.74 a	4.5±1.64 ab	3.57±0.98 b
Densidad de árboles de sombra (nha ⁻¹)	215.91±115.26 a	120.83±62.08 a	25±20.41 b
Densidad de cafetos con DAP ≥ 5 cm (nha ⁻¹)	177.27±169.73 a	158.33±170.78 a	92.86±158.58 a
Densidad de plátanos con DAP ≥ 5 cm (nha ⁻¹)	18.18±31.80 a	0±0 a	7.14±18.9 a
Densidad de palmas con DAP ≥ 5 cm (nha ⁻¹)	20.46±29.19 a	20.83±33.23 a	0±0 a
Cobertura de sombra (%)	84.17±17.51 a	73.83±18.9 a	71.5±28.39 a
Área basal de árboles de sombra (m ² ha ⁻¹)	1.94±1.22 a	3.39±0.79 ab	4.83±6.56 a
Altura de árboles de sombra (m)	16.91±5.29 a	20.84±9.77 a	24.10±10.91 a
<i>Composición</i>			
Riqueza (número de especies en 400 m ²)	7.64±3.18 a	2.83±1.72 bc	1.43±0.79 c
Número de especies nativas (en 400 m ²)	5.66±2.62 a	2.17±1.33 b	0.57±0.53 c
Número de especies introducidas (en 400 m ²)	2.09±1.57 a	0.67±0.52 b	0.86±0.69 ab
Número de especies arbóreas (en 400	5.55±2.07 a	1.83±0.98 bc	0.86±0.69 c

m²)

Uso de especies adicionales al cultivo

Número de especies útiles (400 m ²)	7.46±2.94 a	2.83±1.72 bc	1.43±0.79 c
Densidad de árboles frutales (nha ⁻¹)	61.36±45.22 a	16.67±40.82 bc	10.71±13.36 c
Densidad de árboles maderables (nha ⁻¹)	84.09±68.26 a	8.33±12.91 bc	10.71±19.67 c
Productos para alimentación (n/400 m ²)	2.82±1.60 a	1.50±0.55 a	0.86±0.38 b
Productos maderables (n/400 m ²)	2.09±1.38 a	0.33±0.52 bc	0.29±0.49 c

Características de los árboles de cacao

Densidad de árboles de cacao (nha ⁻¹)	477.27±169.73 a	479.17±186.69 a	475±199.48 a
Área basal de árboles de cacao (m ² ha ⁻¹)	1.05±0.63 a	1.33±1.26 a	2.86±3.42 a
Altura de árboles de cacao (m)	5.96±1.90 a	5.30±1.74 a	6.84±1.88 a
Edad del cultivo de cacao	27.00±15.80 a	20.4±25 a	29.64±17.58 a
Rendimiento (kgha ⁻¹ año ⁻¹)	151.31±111.88 a	197.58±73.78 a	137.14±102.1 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tipos de sistemas (Prueba de U de Mann-Whitney, significancia de Monte Carlo $p < 0.05$).

Relaciones entre variables de composición, estructura y rendimiento en los tipos de estructuras de cacao.

Los análisis de correlación mostraron que la simplificación de la estructura de sombra se ha llevado a cabo en mayor medida en las partes bajas del municipio donde se encuentran los cacaotales con mayor edad. La altitud correlacionó positivamente con el número de estratos en cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* ($r=0.95$; $p < 0.05$) y en cacao con árboles dispersos ($r=0.83$; $p < 0.05$); y negativamente con la edad de los árboles de cacao en el sistema de policultivo tradicional ($r=-0.74$; $p < 0.05$). En el cacao con árboles dispersos la edad de los árboles de cacao correlacionó negativamente con el número de estratos ($r=-0.81$; $p < 0.05$).

En las parcelas con cacao en policultivo tradicional y cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* la densidad de árboles de sombra (nha⁻¹) correlacionó positivamente con el número de estratos, lo cual indica mayor complejidad y heterogeneidad en estos sistemas ($r=0.76$; $p < 0.01$ y $r=0.86$; $p < 0.01$). En relación a estos atributos, el cacao en policultivo tradicional presentó una correlación positiva entre el número de especies útiles (en 400 m²) y el número de estratos y la densidad de árboles de

sombra (m^2). La incorporación de diferentes especies con valor de uso como leguminosas, plátanos y frutales leñosos generan una mayor cantidad de estratos ($r=0.75$; $p < 0.01$). Por otra parte, los árboles adultos que se extraen para madera o leña son reemplazados por individuos juveniles que incrementan la densidad arbórea de estas parcelas ($r=0.65$; $p < 0.01$).

En las parcelas con cacao en policultivo tradicional el rendimiento correlacionó positivamente con el número de estratos ($r=0.61$; $p < 0.01$), con la densidad de árboles de sombra ($r=0.65$; $p < 0.01$) y con el número de especies útiles ($r=0.61$; $p < 0.01$). Por otro lado, en el tipo cacao con árboles dispersos, el rendimiento correlacionó negativamente con el número de especies útiles ($r=-0.92$; $p < 0.05$). Esto podría sugerir una relación entre la estructura y la función de productividad de los SAF de cacao que se mantiene en un sistema estructuralmente más complejo pero que se pierde con la simplificación de la cobertura arbórea en el sistema.

La reducción en el número de estratos, la pérdida de componentes florísticos y la disminución en el número de productos alimenticios y maderables en los tipos de estructura cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* y cacao con árboles dispersos indican una pérdida de la complejidad estructural del sistema o simplificación en comparación con el cacao en policultivo tradicional. Las parcelas de mayor edad y con un menor número de estratos se hallan, generalmente, en las partes bajas del municipio.

DISCUSIÓN

De la misma forma que en otros sistemas agrosilvícolas la cobertura arbórea del cultivo de cacao contribuye a la conservación de la flora regional, sirve como hábitat de especies y como corredores biológicos (Soto-Pinto et al. 2000, 2001, Guimarães et al. 2017). Esto se debe a la incorporación o mantenimiento deliberado de diversos componentes para el aprovisionamiento de recursos alimenticios y no alimenticios por parte de las familias. El número total de especies arbóreas registradas en las parcelas de cacao (36), representaron 20 % de las especies de árboles nativos reportados por Matuda (1950) a una altitud ≤ 800 m y 17.8 % del total de las especies arbóreas registradas en fragmentos de bosque del municipio a altitudes entre 580 y 616 m (López et al. 2010). Formando parte de la sombra de los cacaotales se encontraron especies que están en distintas categorías de riesgo de conservación en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) y en la Lista Roja de la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (UICN) como: *Cedrela odorata* (Meliaceae) que está categorizada como “sujeta a protección especial” (Pr), *Aspidosperma megalocarpon* (Apocynaceae), *Cordia alliodora* (Boraginaceae) y *C. odorata*, que se hallan bajo el estatus de bajo riesgo/casi amenazada (LR/nt), preocupación menor (LC) y vulnerable (Vu), respectivamente.

La diversidad de especies arbóreas de las parcelas ($H' = 3.15$) fue similar a la registrada en SAF de cacao en otros municipios de Chiapas y Tabasco, México (Salgado-Mora et al., 2007; Ramírez-Meneses et al., 2013) y de la región sur de Bahía, Brasil (Sambuichi 2002). Fue más alta que la reportada en SAF de Centroamérica (1.78) (Cerdeira et al. 2014), en San Alejandro, en la Amazonía Peruana (2.47) (Vebrova et al. 2014) y en la región centro sur de Bahía, Brasil (2.05) (Guimarães et al. 2017). Pero fue más baja que la diversidad encontrada en el Sureste de Camerún, África (3.73) (Sonwa et al. 2014). El manejo de las parcelas con bajas densidades de

árboles de cacao y una alta densidad de otros componentes (como palmas, plátanos, árboles de sombra, entre otros), en donde además se intercalan otros cultivos comerciales para autoabasto y comercialización (como el café en Acacoyagua), forma parte de las estrategias de los productores para incrementar la obtención de otros productos alimenticios y maderables, como está documentado para los SAF de Centroamérica, y de otras regiones del mundo (Rice y Greenberg 2000, Duguma et al. 2001, Cerda et al. 2014, Deheuvels et al. 2012, Vebrova et al. 2014, Nunoo & Owusu 2015).

Algunos árboles de sombra son preferidos por su valor de uso y alcanzaron mayores valores de importancia como la chaperna (*Lonchocarpus* sp.), el cedro (*Cedrela odorata*) y la primavera (*Roseodendron dobnnell-smithii*), estas especies también obtuvieron los porcentajes más altos de abundancia relativa (4.29 %, 4.29 % y 4.6 %, respectivamente) y son los componentes principales registrados en los SAF de la región Soconusco (Salgado-Mora et al. 2007, Roa-Romero et al. 2009, Périchon & Quique 2013).

Tipología de los cultivos de cacao

En cuanto a los tipos de estructuras identificados, los resultados mostraron que las prácticas tradicionales de diversificación se ven afectadas por la necesidad de incrementar los rendimientos de las parcelas. Esta tendencia de reducción de la complejidad para aumento de la productividad está documentada en las regiones productoras alrededor del mundo (Scroth & Harvey 2007, Steffan-Dewenter et al. 2007, Ramírez 2008, Ibarra et al. 2009, Roa-Romero et al. 2009, Anglaaere et al. 2011, Périchon & Quique 2013). Sin embargo, es necesario enfatizar que, en el área de estudio, esta simplificación que conlleva la pérdida de las funciones de conservación y aprovisionamiento debido a la reducción de las especies de sombra no redundan en un incremento en los rendimientos del cultivo.

La reducción de la estructura arbórea como ocurrió en cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* y en cacao con árboles dispersos, repercuten negativamente en las funciones de mantenimiento de flora nativa y en el aprovisionamiento de recursos alimenticios y no alimenticios para el autoabasto de las familias, similar a lo que sucede en los sistemas de café (Toledo & Moguel, 2012). La alteración de la estructura no solo influye de manera negativa en las funciones de hábitat y conservación de especies nativas, sino también en otras funciones que resultan de la interacción entre los elementos del sistema y que pueden poner en riesgo su productividad (Scroth & Harvey 2007, Steffan-Dewenter et al. 2007, Bisseleua et al. 2009, Isaac et al. 2009, Anglaaere et al. 2011, Vaast y Somarriba 2014, Vebrova et al. 2014, Jadán et al. 2016, Guimarães et al., 2017).

La mayoría de las especies que componen los SAF de cacao tienen propósitos bien definidos, tal y como lo mencionan Duguma et al. (2001), Anglaaere et al. (2011) y Vebrova et al. (2014). La pérdida de la función de aprovisionamiento podría afectar los modos de vida de las familias productoras. Ya que los productos como madera, frutos y otros, además de servir de autoabasto y conformar parte de la dieta en el hogar, constituyen una forma de fortalecer las redes solidarias y de convivencia en las localidades a través de las formas de intercambio de productos entre amistades y familiares. La comercialización de pequeñas cantidades de los productos derivados del cultivo en la misma comunidad o en mercados locales y regionales se ha reportado en otras regiones del mundo. En donde se logra compensar económicamente los bajos rendimientos del cultivo (Montagnini et al. 2005, Scroth & Harvey 2007, Jacobi et al. 2014, Vaast & Somarriba 2014, Andres et al. 2016, Vanhove et al. 2016). Sin embargo, Cerda y colaboradores (2014)

señalan que, en los sistemas de producción de cacao en Centroamérica, la carencia de medios de comercialización, dificultan la compensación de los bajos rendimientos a través del mercado de estos productos, de la misma manera como sucede en el área de estudio. En Acacoyagua estos productos son importantes debido a la generación de ingresos bajos a moderados a lo largo del año y como apoyo para solventar necesidades emergentes, como es el caso de la comercialización de la madera.

La cobertura de la sombra de las parcelas estudiadas (cacao en policultivo tradicional = 84.2 ± 17.5 ; cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* = 73.8 ± 18.9 y cacao con árboles dispersos = 71.5 ± 28.4) fue de media a alta en relación con valores reportados en sistemas de cacao del Soconusco, México (90 %) (Roa-Romero et al. 2009), Ghana (≥ 85 %) (Nunoo & Owusu 2015), Indonesia (hasta 90 %) (Clough et al. 2011) y Costa Rica (88-93 %). Los resultados de rendimientos fueron bajos en los tres tipos de estructuras comparados con el valor promedio registrado en 2016 por la FAO en México, Centroamérica y América del Sur (551.6 kg ha^{-1}). Fueron similares al valor promedio de los rendimientos obtenidos en Belice, Costa Rica y Panamá (126.2 kg ha^{-1}) en ese mismo año (FAO 2017) y a los encontrados en los SAF con baja intensidad de manejo en Centroamérica ($100\text{-}150 \text{ kg ha}^{-1}$) (Deheuvels et al. 2012; Cerda et al. 2014). Estudios previos han señalado que el cultivo con sombra mantendrá rendimientos significativamente más bajos que un cultivo con sombra nula o casi nula con una alta intensidad de manejo que incorpora el uso de agroquímicos (Steffan-Dewenter et al. 2007, Wade et al. 2010, Jacobi et al. 2014, Nunoo y Owosu 2014, Díaz-José et al. 2014, Utomo et al. 2016).

Se ha reportado que las características microclimáticas pueden afectar la productividad de los cultivos de cacao (Díaz-José et al. 2014, Zuidema et al. 2005). El nivel de sombra es determinante en las plantaciones ya que regula la temperatura en función de la cantidad de luz que entra al cultivo, y la temperatura es el factor de mayor incidencia en los procesos fisiológicos y de desarrollo del árbol de cacao (Daymond & Hadley 2004, De Almeida y Valle 2007), sus efectos sobre la evapotranspiración permiten la producción de los frutos (Nunoo y Owusu 2014). No obstante, se ha registrado que uno de los inconvenientes para los productores en cuanto a regulación de la sombra es la falta de equipos adecuados para realizar la poda de los árboles altos (Andres et al., 2016). Así, las prácticas de regulación de la sombra requieren de atención, asesoría y asistencia técnica. Desafortunadamente, la carencia de éstas está identificada y relacionada con la baja productividad en los cultivos de cacao mexicanos (Córdova-Ávalos et al. 2001, Ramírez 2008, Díaz-José et al., 2014).

El manejo del cultivo es un factor de alto impacto en los rendimientos de las plantaciones (Córdova-Ávalos et al., 2001; Díaz-José et al., 2014). Los valores promedio de los atributos estructurales de los árboles de cacao en los tres tipos de estructuras, indicaron que no existe una diferencia en la intensidad del manejo. La altura promedio de los árboles de cacao ($> 5 \text{ m}$), podría dificultar la cosecha, la poda de los renuevos o chupones y el control de las enfermedades a través de la extracción de mazorcas enfermas, sobre todo para productores de avanzada edad. Por otro lado, no fue reportada la renovación de las plantaciones, que permite una mejora en los rendimientos, ya que los árboles viejos tienen menor productividad que los árboles menores a 30 años (Díaz-José et al., 2014). Cerda et al. (2014) y Utomo et al. (2016) mencionan que el arreglo espacial de los árboles de sombra también debe atenderse para permitir la entrada eficiente de luz al cultivo. Si bien, el nivel de la cobertura de sombra en el cultivo es importante, la implementación de nuevas prácticas agrícolas y la mejora en las prácticas culturales existentes

podrían incrementar la productividad de las parcelas. Debido a las bondades de la especie (*Theobroma cacao*) en relación a su carácter umbrófilo, se ha determinado la posibilidad de lograr una conciliación entre la productividad y la conservación de la biodiversidad en sistemas agrosilvícolas de café y cacao con el uso de una cobertura de sombra mayor a 50 y menor a 60 % (Zuidema et al., 2005; Jezeer et al., 2017).

En cuanto a la incorporación de leguminosas y especialización de la sombra en los cultivos, las recomendaciones no siempre han sido buenas, especialmente cuando se sustituye la diversidad florística por un grupo reducido de especies, lo cual también se ha reportado para el cultivo de café (Romero-Alvarado et al., 2002; Peeters et al., 2003). En cultivos de cacao con sombra especializada de leguminosas en Costa Rica, Somarriba y Beer (2011) encontraron que no hubo un mejoramiento en la productividad en estas parcelas comparadas con parcelas más diversificadas. En el Oeste de África, Daghela et al. (2013) reportaron que lejos de ofrecer un beneficio para los productores, el aclareo del dosel y el uso de una sombra especializada de leguminosas exóticas, puede reducir los recursos que son utilizados por los insectos benéficos del sistema y enemigos naturales de plagas y enfermedades e incrementar la infestación de las especies que afectan al cultivo.

Relaciones entre variables de composición, estructura y rendimiento en los tipos de estructuras de cacao.

Los productores que habitan a mayores altitudes no son originarios del municipio y han cultivado el cacao por menor tiempo que aquellos habitantes de altitudes bajas originarios de Acacoyagua, esto explica el resultado de la correlación negativa entre la altitud y la edad de los árboles de cacao en las parcelas con cacao en policultivo tradicional. En los tipos cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* y cacao con árboles dispersos, la modificación de la estructura de la sombra estuvo más acentuada en altitudes bajas (< 300 msnm). Mientras que las parcelas de mayores altitudes son las que presentaron un mayor número de estratos. Estos resultados son apoyados también por la correlación negativa entre la edad de los árboles de cacao y número de estratos en el cacao con árboles dispersos, considerando que en las altitudes bajas se registraron los cacaotales más viejos. En los cacaotales más jóvenes del tipo cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*, se muestra un aumento en la densidad de árboles de cacao, que podría relacionarse con la necesidad de incrementar los rendimientos en los cacaotales.

En cuanto a la estructura de sombra del cacao en policultivo tradicional y del cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*, los análisis de correlación mostraron que, existe en estas, mayor complejidad y heterogeneidad. Dadas por las prácticas culturales de incorporación a las parcelas de especies nativas útiles, frutales y/o maderables y por aquellas relacionadas con la promoción de la regeneración natural de los árboles nativos, tal como lo reportan Rice y Greenberg (2000) en los cultivos de sombra plantada de Latinoamérica. Las correlaciones positivas entre las variables estructurales y el rendimiento en cacao en policultivo tradicional, son similares a los reportados por Vebrova et al. (2014) en la Amazonía Peruana, en donde se encontró una correlación positiva ligera entre la densidad de árboles de sombra y los rendimientos, aunque esta no fue significativa. En otros estudios, los rendimientos no responden a las modificaciones en la estructura (Somarriba y Beer, 2011; Niether et al., 2017) como sucedió con el cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*, o se correlacionan negativamente (Steffan-Dewenter et al., 2007; Bisseleua et al., 2009, Somarriba et al., 2014), como ocurrió en cacao con árboles dispersos.

Para explicar las relaciones positivas entre la estructura de la sombra y los rendimientos en el cultivo de cacao, se ha sugerido el estudio de las interacciones a diferentes niveles entre los elementos del sistema. Estas interacciones pueden generar procesos antagónicos con las plagas y enfermedades del cultivo (Beer et al., 1998), de la misma forma en que se ha determinado en sistemas de café con sombra (Perfecto et al. 2010). En la región Central de Camerún, Bisseleua y colaboradores (2017) registraron una relación positiva entre la estructura arbórea diversa del cultivo de cacao y los rendimientos, a través de un estudio de hormigas que contribuyeron a la productividad al conducir una red compleja de interacciones directas e indirectas entre el cultivo y sus plagas y patógenos asociados. Mientras que, en cultivos con baja diversidad y especies dominantes, encontraron que las hormigas perjudicaban al cultivo. Sin embargo, hace falta profundizar en este tipo de estudios en los SAF de cacao de la región para identificar los mecanismos de control biológico de plagas y enfermedades y sus relaciones con la estructura arbórea.

Los resultados de este estudio demuestran que la simplificación de la estructura de la sombra no constituye una solución a los problemas de bajos rendimientos. El trabajo agrícola para incrementar la productividad, requiere de una alta inversión económica que, debido a la baja rentabilidad del cultivo, el productor no puede solventar. Díaz-José et al. (2014) comentan que los apoyos gubernamentales y las políticas públicas actuales del país no favorecen a los productores; por tanto es necesario buscar vías alternativas de solución a las problemáticas que se viven en las plantaciones de cacao del municipio. Jacobi et al. (2014) y Utomo et al. (2016), mencionan que se debe adaptar las prácticas de manejo a las condiciones climáticas de la región y permitir a los productores el acceso, a través de asesorías, al conocimiento respecto a los beneficios del uso de la sombra. Sería también recomendable considerar las experiencias de producción de otras regiones cacaoteras. Esto conllevaría una mejora en los procesos productivos. La atención a los productores por parte de agencias gubernamentales, civiles y académicas también es urgente para lograr el rescate del cultivo de cacao en Acacoyagua. Formar una organización para la producción, procesamiento y comercialización constituiría una plataforma para iniciar el mercado de cacao orgánico o de chocolate. Hace falta además profundizar en los estudios de mercados regionales y nacionales de productos derivados de cacao; de plagas y enfermedades y de interacciones entre los diferentes componentes del sistema. No menos relevante, es el trabajo dirigido a la atención y orientación de los consumidores, en donde se den a conocer los procesos productivos en los SAF tradicionales. Con el fin de encaminarlos hacia una preferencia de consumo de granos de cacao cosechados en sistemas de producción que ofrecen diversas funciones socioambientales.

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales de cacao en la zona de estudio están basados en una organización familiar y en un manejo de baja intensidad. Los productores están realizando cambios en la estructura arbórea de las parcelas que consisten en reducir la densidad de árboles de sombra y la composición de especies nativas, reemplazar las especies nativas por frutales y maderables comerciales para incrementar los ingresos económicos o eliminar el cultivo. Las especies *Lonchocarpus sp.*, *Roseodendron donnell-smithii* y *Cedrela odorata* son las más apreciadas por su valor de uso. Se identificaron tres tipos de estructuras en las parcelas: cacao en policultivo tradicional, cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* y cacao con árboles dispersos. Esta tipología denota

un proceso de simplificación de la estructura en el que se pierden funciones socioambientales. Además esta simplificación no promueve un incremento de los rendimientos. El cacao en policultivo tradicional, gracias al trabajo de las familias productoras, mantiene las funciones de aprovisionamiento de recursos alimenticios y no alimenticios y de habitat para la flora nativa de la región.

RESUMEN

La estructura arbórea en los cultivos de cacao se está perdiendo pero los cambios de estructura, diversidad y la relación entre sombra y producción son poco conocidas. El objetivo de esta investigación fue tipificar la estructura de los sistemas de producción de cacao y relacionarlas con algunas funciones socioambientales en el municipio de Acacoyagua, Chiapas, México. Se estudiaron 27 parcelas y se aplicó una entrevista semiestructurada a cada productor(a). Se calculó el índice de diversidad de Shannon y el valor de importancia para el sistema cacao. El cultivo se tipificó por su estructura y composición florística, en cada tipo se analizaron y relacionaron variables estructurales y de uso de la sombra, así como variables estructurales y de rendimiento del cacao. Los sistemas de producción de cacao fueron agroforestales, basados en una organización familiar y en un manejo de bajos insumos, constituidos por una asociación con distintas especies de uso múltiple, principalmente para alimentación y maderables. La diversidad arbórea fue de 3.15; *Lonchocarpus* sp., *Roseodendron donnell-smithii* y *Cedrela odorata* obtuvieron los valores más altos de importancia. Los tipos de estructuras fueron: a) cacao en policultivo tradicional, b) cacao con *Inga* y *Lonchocarpus*, y c) cacao con árboles dispersos. La simplificación de la estructura arbórea no tuvo un efecto significativo en los rendimientos de cacao y disminuye el potencial del sistema para el mantenimiento de las funciones socioambientales. Una mejora en las prácticas de manejo podría incrementar los rendimientos en los cultivos.

Palabras clave: sombra, riqueza, valor de uso, rendimiento, Soconusco.

AGRADECIMIENTOS

La primera autora agradece de manera muy especial a las productoras y productores de cacao que apoyaron de manera incondicional en la aportación de información y que permitieron el desarrollo y la realización del trabajo de campo en las localidades de Acacoyagua, Chiapas.

REFERENCIAS

Andres, C., Comoé, H., Beerli, A., Schneider, M., Rist, S., & Jacobi, J. (2016). Cocoa in monoculture and dynamic agroforestry. En: Lichtfouse E. Ed. *Sustainable Agriculture Reviews*, 19, 121-153, Springer, New York.

- Anglaaere, L., Cobbina, J., Sinclair, F. L., & McDonald, M. A. (2011). The effect of land use systems on tree diversity: farmer preference and species composition of cocoa-based agroecosystems in Ghana. *Agroforestry Systems*, 81, 249-265.
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S. & Degrande, A. (2014). Tropical agroforestry, Springer.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D. & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry System*, 38, 139–164.
- Bisseleua, D. H. B., Missoup, A. D. & Vidal, S. (2009). Biodiversity conservation, ecosystem functioning, and economic incentives under cocoa agroforestry intensification. *Conservation Biology*, 23(5), 1176-1184.
- Cerda, 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*, 88, 957-981.
- Clough, Y., Barkmann, J., Jührbandt, J., Kessler, M., Wanger, T. C., Anshary, A., ... Tschardt T. 2011. Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests *PNAS*, 108(20), 8311-8316.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Curvas de nivel para la República Mexicana. Catálogo de metadatos geográficos. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/cni250kgw.xml?_xsl=%2Fdb%2Fmetadatos%2Fxml%2Ffgdc_html.xsl&_indent=no. Consultado 19 de abril de 2018.
- Córdova-Ávalos, V., Sánchez-Hernández, M., Estrella-Chulím, N., Macías-Layalle, A., Sandoval-Castro, E., Martínez-Saldaña, T. & Ortiz-García, C. F. (2001). Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 34(17), 93–100.
- Daghela Bisseleua, H. B., Fotio, D., Missoup, A. D. & Vidal, S. (2013). Shade tree diversity, cocoa pest damage, yield compensating inputs and farmers' net returns in West Africa. *Plos One*, 8(3), 1-9.
- DaRocha, W. D., Neves, F. S., Dáttilo, W. & Delabie J. H. C. (2016). Epiphytic bromeliads as key components for maintenance of ant diversity and ant-bromeliad interactions in agroforestry system canopies. *Forest Ecology and Management*, 372, 128-136.
- Daymond, A. J. & Hadley, P. (2004). The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Association of Applied Biologists*, 145, 257-262.
- De Almeida, A. A. & Valle, R. R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 425-448.
- Deheuvels, O., Avelino, J., Somarriba, E. & Malezieux, E. (2012). Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry system in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, 181-188.
- Díaz-josé, J., Díaz-josé, O., Mora-flores, S., Rendón-medel, R. & Tellez-delgado, R. (2014). Cacao in Mexico: Restrictive factors and productivity levels. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(4), 397-403.
- Duguma, B., Gockowski, J., Bakala, J. (2001). Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51, 177–188.
- Duque, A. (2004). Agricultura tradicional y biodiversidad: un ejemplo en Risaralda, Colombia. In Delgado F., Serrano E., y Bilbao J. (Eds.), *Agroforestería en Latinoamérica: experiencias locales* (pp. 51-70). Bolivia: Movimiento Agroecológico para Latinoamérica y El Caribe

(MAELA).

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> [Última consulta marzo de 2018].
- Faria, D. & Baumgarten, J. (2007). Shade cacao plantations (*Theobroma cacao*) and bat conservation in southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 16, 291-312.
- Gasco, J. (2005). *El Antiguo Xoconochco: La historia de su ocupación*. Fundación para el avance de los estudios mesoamericanos (FAMSI). <http://www.famsi.org/reports/99035es/>. Consultado 10 noviembre 2017.
- Guimarães, R. B. A., Damásio, P. S. & Corrêa, M. M. (2017). Heterogeneidade na estrutura e diversidade de árvores de cabucas no centro-sul do Estado da Bahia, Brasil. *Hoehnea*, 44(2), 184-192.
- Hernández-Gómez, E., Hernández-Morales, J., Avendaño-Arrazate, C. H., López-Guillén, G., Garrido-Ramírez, E. R., Romero-Nápoles, J. & Nava-Díaz, C. (2015). Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción de cacao en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2), 232-246.
- Ibarra, M. A. C., Arriaga, W. S. & Estrada, M. A. (2001). Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región de La Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 34(17), 101-112.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/resultados.jsp?w=40&Backidhecho=502&Backconstem=501&constembd=174&tm=%27Backidhecho:3,Backconstem:3,constembd:3%27>. Consultado 20 abril 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Acacoyagua, Chiapas, clave geoestadística 07001. Topografía. Productos y servicios. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>. Consultado 30 noviembre 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Conjunto de datos vectoriales del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>. Consultado 20 de enero de 2018.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (INIFAP-CONABIO). (1995). Edafología. Catálogo de metadatos geográficos. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no. Consultado 30 noviembre 2017.
- Isaac, M., Dawoe, E. & Sieciechowicz, K. (2009). Assessing local knowledge use in agroforestry management with cognitive maps. *Environmental Management*, 43, 1321-1329.
- Jacobi, J., Andres, C., Schneider, M., Pillco, M., Calizaya, P. & Rist, S. (2014). Carbon stocks, tree diversity, and the role of organic certification in different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. *Agroforestry Systems*, 88, 1117-1132.
- Jadán, O., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C. & Günter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Columbia Forestal*, 19(2), 129-142.

- Jezeer, R. E., Verweij, P. A., Santos, M. J. & Boot, R. G. A. (2017). Shaded coffee and cocoa- Double dividend for biodiversity and small-scale farmers. *Ecological Economics*, 140, 136-145.
- Koko, L. K., Snoeck, D., Lekadou, T. T. & Assiri, A. (2013). Cacao-fruit tree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour and light interception in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 87, 1043-1052.
- Kumar, R., Pal, H., Rani, D. & Jose, S. (2008). Ecological interaction in agroforestry: an overview. In Rani D., Kumar R., Jose S., Pal H. (Eds.), *Ecological basis of agroforestry*. (3-14). CRC Press.
- López, A., Alemán, T., Pérez, M. A. & Farrera, O. (2010). Inventario Florístico y estructura de la vegetación en fragmentos de bosque del municipio de Acacoyagua, Chiapas, México. *Lacandonia*, 4(2), 5-21.
- Matuda, E. (1950). A contribution to our knowledge of wild flora of Mt. Ovando. *The American Midland Naturalist*, 43(1), 195-223.
- Mohamed, F., Bala, B. K., Alias, E. F. & Abdulla, I. (2015). Modelling boom and bust of cocoa production systems in Malaysia. *Ecological Modelling*, 309-310, 22-32.
- Montagnini, F., Cusack, D., Petit, B. & Kanninen, M. (2005). Environmental services of native tree plantations and agroforestry systems in Central America. In Montagnini F. (Ed.), *Environmental Services of Agroforestry Systems* (pp. 51-67). Food Products Press.
- Niether, W., Schneidelwind, U., Armengot, L., Adamey, N., Schneider, M. & Gerold, G. (2017). Spatial-temporal soil moisture dynamics under different cocoa production systems. *Catena*, 158, 340-349.
- Nunoo, I. & Owusu, V. (2014). Comparative analyses on financial viability of cocoa agroforestry systems in Ghana. *Environment, Development and Sustainability* 19(1), 83-98.
- Ospina, A. (2004). Clasificación y caracterización de tecnologías agroforestales. In Delgado F., Serrano E., Bilbao J. (Eds.) *Agroforestería en Latinoamérica: experiencias locales* (pp. 21-40). Bolivia: Movimiento Agroecológico para Latinoamérica y El Caribe.
- Perfecto, I., Vandermeer, J. & Philpott S. (2010). Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servivio ecosistémico autónomo. *Agroecología*, 5, 41-51.
- Périchon, S. & Quique, R. (2013). L'agroforesterie du cacao est-elle menacée dans le Soconusco? Evaluation des savoirs paysans de sélection des semences et caractérisation de la diversité arborée (Chiapas, Mexique). *Norois*, 226, 79-89.
- Ramírez S. (2008). La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha*, 21(1), 97-110.
- Ramírez-Meneses, A., García-López, E., Obrador-Olán, J. J., Ruiz-Rosado, O. & Camacho-Chiu, W. (2013). Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 29(3), 215-230.
- Redondo, A. (2005). A review of the agroforestry systems of Costa Rica. In Montagnini F. (Ed.), *Environmental Services of Agroforestry Systems* (pp. 97-119). Food Products Press.
- Rice, R. A. & Greenberg, R. (2000). Cocoa cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*, 29, 167-173.
- Roa-Romero, H. A., Salgado Mora, M. G. & Alvarez Herrera, J. (2009). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas, México. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 97-109.

- Romero-Alvarado, Y., Soto-Pinto, L., García-Barrios, L. E. & Barrera Gaytán, J. F. (2002). Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 54, 215-224
- Peeters, Y.K, Soto-Pinto, L., Perales, H., Montoya, G. & Ishiki, M. (2003). Coffee production, timber and firewood in Sothern México. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(2-3), 481-493.
- Ruf, F. O. (2011). The myth of complex cocoa agroforests: the case of Ghana. *Human Ecology* 39(3), 373-388.
- Ruf, F. & Schrot, G. (2004). Chocolate forests and monocultures: a historical review of Cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. In Schroth, G., da Fonseca, G., Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L. e Izac, A. M. (Eds.), *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. USA: Island Press.
- Salgado-Mora, M. G., Ibarra-Núñez, G., Macías-Sámano, J. E. y López-Báez, O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 32, 763–768.
- Sambuichi, R. H. R. (2002). Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas em cabruca (mata atlântica raleada sobre plantação de cacau) na região sul Da bahia, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 16(1), 89-101.
- SAS, SAS Institute Inc. (2008). SAS/STAT User's Guide, Release 9.2 edn. SAS Institute, Cary.
- Schensul, S., Schensul, J. J. & LeCompte, M. D. (1999). *Essential ethnographic methods: Observations, interviews and questionnaires*. E.U.A.: AltaMira Press.
- Schroth, G. & Harvey, C. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity conservation*, 16, 2237–2244.
- Schroth, G. & Harvey, C. (2007). Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity conservation* 16, 2237–2244.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2014). Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado 26 de enero de 2018.
- Somarriba, E. & Beer, J. (1999). Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas*, 6(22), 7-11.
- Somarriba, E., Suárez-Islas, A., Calero-Borge, W., Villota, A., Castillo, C., Vélchez, S., Sonwa, D. J., Weise, S. F., Schroth, G., Janssens, M. J. & Shapiro, H. Y. (2014). Plant diversity management in cocoa agroforestry systems in West and Central Africa, effects of markets and household needs. *Agroforestry Systems* 88, 1021–1034.
- Soto-Pinto, L., Perfecto, I., Castillo-Hernandez, J. & Caballero-Nieto, J. (2000). Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Enviroment*, 80, 61–69.
- Soto-Pinto, L., Romero-Alvarado, Y., Caballero-Nieto J. & Segura Warnholtz, G. (2001). Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 49, 977-987.
- Steffan-Dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Bos, M., Buchori, D., Erasmi, S., ... Tschardtke, T. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *PNAS*, 104(12), 4973-4978.
- ten Hoopen, G. M., Krauss, U. (2016). Biological Control of Cacao Diseases. In Bailey BA, Meinhardt L. W. eds. Cacao diseases, a history of old enemies and new encounters. *Springer*: New York, London p. 511-566.

- Toledo, V. M. & Moguel, P. (2012). Coffee and sustainability: the multiple values of traditional shaded coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(3), 353-377.
- Tondoh, J. E., N'guessan, F., Martinez, A., Sey, B., Wowo, A. & Gnessougou, N. (2015) Ecological changes induced by full-sun cocoa farming in Côte d'Ivoire. *Global Ecology and Conservation*, 3, 575-595.
- Utomo, B., Prawoto, A. A., Bonnet, S. & Bangviwat A. (2016). Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 134, 583-591.
- Vaast P. & Somarriba E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88, 947-956.
- Vanhove, W., Vanhoudt, N. & Van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219, 14-25.
- Vebrova, H., Lojka, B., Husband, T. P., Chuspe, M. E., Van Damme, P., Rollo, A. y Kalousova, M. 2014. Tree diversity in cacao agroforests in San Alejandro, Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems*, 88, 1101-1115.
- Wade A. S. I., Asase A., Hadley P., Mason J., Ofori-Frimpong K., Preece D., Spring N. y Norris K. 2010. Management strategies for maximizing carbon storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment* 138(3-4):324-334.
- Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L. & Anten, N. P. R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84, 195-225.

III. CAPÍTULO FINAL

Los sistemas agroforestales de cacao en la zona de estudio están basados en una organización familiar y en un manejo de baja intensidad. Las especies útiles que componen el sistema agroforestal (SAF) de cacao de Acacoyagua, así como su carácter multipropósito y las categorías de uso más importantes, son semejantes a los reportados en sistemas de producción bajo sombra de otras regiones del país (Salgado-Mora et al., 2007; Roa-Romero et al. 2009) y a una escala global (Levasseur y Olivier 2000; Córdova-Ávalos et al. 2001; Duguma et al. 2001; Isaac et al. 2009; Daghela et al. 2013; Andres et al. 2016; Vebroba et al. 2014; Cerda et al. 2014; Jagoret et al. 2014); es común encontrar especies arbóreas nativas, leguminosas, frutales (en especial cítricos, plátanos y mango), maderables y palmas como sombra para el cultivo. Los SAF de cacao del municipio albergan flora nativa y conforman el hábitat de especies arbóreas en riesgo como el cedro (*Cedrela odorata*) y el palo de chiche (*Aspidosperma megalocarpon*), las cuales son promovidas dentro de las parcelas ya que los productores las estiman por su uso maderable. En los sistemas productivos, se ha demostrado que los conocimientos, las prácticas de manejo y los factores socioeconómicos tienen más influencia en la regeneración natural de las especies que los factores biofísicos (Camargo et al. 2000).

La reducción de la cobertura de la sombra para incrementar los rendimientos se ha registrado desde la década de los 60' en otras partes del mundo (Cunningham y Burridge, 1960). En la región Soconusco, esta tendencia de simplificación de los SAF de cacao tomó mayor fuerza después de la entrada de la enfermedad de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en el 2007, que devastó los campos de cultivo provocando pérdidas de hasta 90 % de la producción (Ramírez 2008). Aunque la mayoría de las productoras y de los productores no consideran eliminar el cultivo de cacao, sí contemplan cambios importantes en la estructura de la sombra como la reducción de árboles nativos o el reemplazo de éstos por especies frutales comerciales para incrementar las ganancias monetarias de las parcelas. Esta situación, aunada a la falta de asesoría sobre el uso y manejo de la sombra, incrementan el riesgo de la pérdida de la composición y la estructura de los SAF de cacao del municipio.

Se identificaron tres tipos de estructuras en las parcelas: cacao en policultivo tradicional, cacao con *Inga* y *Lonchocarpus* y cacao con árboles dispersos. Esta tipología denota un proceso de simplificación de la estructura en el que se pierden funciones socioambientales. Además esta simplificación no promueve un incremento de los rendimientos. El cacao en policultivo tradicional, gracias al trabajo de las familias productoras, mantiene las funciones de aprovisionamiento de recursos alimenticios y no alimenticios y de hábitat para la flora nativa de la región.

La función de conservación de flora nativa que ofrece los sistemas con alta densidad de árboles de sombra es importante frente a la pérdida de la mayor parte de la cobertura arbórea de las tierras bajas del municipio debido al cambio de uso de suelo destinado para la agricultura. Además se ha reportado que estos sistemas contribuyen en el mantenimiento de la biodiversidad funcional a nivel de paisaje, a través de la disponibilidad de recursos alimenticios, hábitat y formación de corredores biológicos para fauna silvestre (Ruf y Schrot 2004; Schroth y Harvey 2007).

Por otra parte, el riesgo de la pérdida en la función de aprovisionamiento ligada a la diversidad, puede tener repercusiones negativas en los modos de vida de las familias campesinas. Los productos derivados de las parcelas no solamente conforman y fortalecen redes de intercambio entre las familias de la comunidad, también proveen recursos económicos útiles que solucionan necesidades domésticas emergentes. El hecho de destinar la mayoría de los productos para el autobasto está documentado en otras regiones cacaoteras (Córdova-Ávalos et al. 2001; Álvarez-Carrillo et al. 2012; Somarriba et al. 2014; Ramírez-Meneses et al. 2013; Andres et al. 2016; Vaast et al. 2016), de manera que los productos para alimentación pueden representar parte importante de la dieta en el hogar.

Los trade-offs entre los beneficios del uso de la sombra en los SAF de cacao y la productividad están ampliamente documentados, un cultivo con sombra tiene un rendimiento significativamente más bajo que un cultivo con sombra nula o casi nula, con una alta intensidad en el manejo y con el uso de agroquímicos (Wade et al. 2010; Jacobi et al. 2014; Díaz-José et al. 2014; Utomo et al. 2016). Sin embargo, los beneficios del uso de la sombra comienzan a ser reconocidos por algunos productores que están incorporando árboles en sistemas de producción en monocultivo (Sonwa et

al., 2014; Vanhove et al., 2016). Por otra parte, en estudios de años recientes muestran que con buenas prácticas de manejo y con el uso bajo de insumos externos existe la posibilidad de lograr una conciliación entre los rendimientos del cultivo y la conservación de la biodiversidad funcional en los sistemas agroforestales de cacao (Jezeer et al. 2017).

El estudio permitió evidenciar que la simplificación de la sombra no está mejorando los rendimientos del cultivo. En estudios de productividad en SAF de cacao se ha encontrado que la sombra no es el único factor determinante en los rendimientos, existen otros factores físicos que pueden influir en la producción de frutos y en el control o propagación de enfermedades (Zuidema et al. 2005; Cerda et al. 2014; Utomo et al. 2016). Se ha encontrado también que el mantenimiento de la estructura arbórea incrementa la complejidad en el sistema, lo cual favorece las interacciones entre los elementos que generan un efecto positivo en la productividad del cacao (Daghela et al. 2013; Tirado-Gallego et al. 2016; Bisseleua et al. 2009; Toledo-Hernández et al. 2017). En este sentido, las relaciones entre la productividad y la estructura de la sombra pueden ser una consecuencia de procesos de interacción entre elementos sociales, físicos y biológicos, los cuales pueden favorecer o afectar el rendimiento de los árboles de cacao. Entre esta red de interacciones, el manejo de la plantación es fundamental. La incorporación de prácticas que consideren un nivel adecuado de la sombra, los beneficios de la estructura arbórea, las experiencias en otras regiones cacaoteras, las condiciones climáticas de la región y la renovación de las plantaciones pueden constituir una mejor respuesta frente a los problemas de enfermedades en el cultivo. No obstante, el trabajo agrícola para lograr un incremento en los rendimientos requiere una alta inversión económica que los productores no pueden solventar, aunado a esto, la edad avanzada de muchos de ellos dificulta el desarrollo de las actividades en las parcelas.

Por esta razón, es necesario trabajar en la búsqueda de alternativas para lograr que el desarrollo de los procesos de producción, procesamiento y comercialización del grano favorezcan en mayor medida a los productores. Constituir una organización formal de productores podría facilitar el trabajo de mercado para cacao orgánico, chocolate y productos derivados de las parcelas. La atención por parte de agencias

gubernamentales, civiles y académicas también es urgente para lograr el rescate del cultivo de cacao en el municipio.

Es importante además, profundizar en los estudios acerca de plagas y enfermedades en los cultivos y de las interacciones de los diferentes elementos del sistema. Entre otros aspectos, no es de menor relevancia la asesoría y orientación a los consumidores para dar a conocer los procesos productivos y en este camino promover la preferencia de granos de cacao cosechados en sistemas que ofrecen diversas funciones socioambientales.

IV. LITERATURA CITADA

- Álvarez-carrillo F, Rojas-molina J, Suarez-Salazar JC. 2012. Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria* 13:145–150.
- Andres C, Comoé H, Beerli A, Schneider M, Rist S, Jacobi J. 2016. Cocoa in monoculture and dynamic agroforestry. En Lichtfouse E. ed. *Sustainable Agriculture Reviews*. Nueva York, EUA: Springer. 19:121-153.
- Anglaere L., Cobbina J. Sinclair F. L. y McDonald M. A. 2011. The effect of land use systems on tree diversity: farmer preference and species composition of cocoa-based agroecosystems in Ghana. *Agroforestry Systems* 81:249-265.
- Atangana A, Khasa D, Chang S, Degrande A. 2014. *Tropical agroforestry*. Springer, London, New York. 380 p.
- Avendaño CH, Villareal JM, Campos E, Gallardo RA, Mendoza A, Aguirre JF, Sandoval A, Espinosa S. 2011. Diagnóstico del cacao en México. SAGARPA, SNICS, SINAREFI, Universidad Autónoma Chapingo, INIFAP. México. 78 p.
- Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry System* 38:139–164.
- Bisseleua DHB, Missouf AD, Vidal S. 2009. Biodiversity conservation, ecosystem functioning, and economic incentives under cocoa agroforestry intensification. *Conservation Biology* 23(5):1176-1184.
- Camargo JC, Ibrahim M, Somarriba E, Finegan B, Current D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 46-49.
- Cerda R, Deheuvels O, Calvache D, Niehaus L, Saenz Y, Kent J, Vilchez S, Villota A, Martínez C, Somarriba E. 2014. *Agroforestry Systems* 88:957-981.
- Clough Y, Barkmann J, Juhbandt J, Kessler M, Wanger TC, Anshary A, Buchori D, Cicuzza D, Darras K, Putra DD, Erasmi S, Pitopang R, Schmidt C, Schulze DS, Steffan-Dewenter I, Stenchly K, Vidal S, Weist M, Wielgoss AC, Tschardtke T.

2011. Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests PNAS 108(20): 8311-8316.
- Córdova-Ávalos V, Sánchez-Hernández M, Estrella-Chulím N, Macías-Layalle A, Sandoval-Castro E, Martínez-Saldaña T, Ortiz-García CF. 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 34(17):93–100.
- Cunningham RK, Burridge JC. 1960. The growth of cacao (*Theobroma cacao*) with and without shade. *Annals of Botany* 24(96):458-462.
- Cruz A. 2014. Cacao Soconusco, apuntes sobre Chiapas, México y Centroamérica. UNICACH, El Aguaje. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 115 p.
- Daghela HB, Fotio D, Missoup AD, Vidal S. 2013. Shade tree diversity, cocoa pest damage, yield compensating inputs and farmers' net returns in West Africa. *Plos One* 8(3):1-9.
- Damián A. 1988. Conformación histórica de la región del Soconusco, Chiapas. *Estudios Fronterizos* 6,7(17):61-80.
- De Almeida AA, Valle RR. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19:425-448.
- Deheuvels O, Avelino J, Somarriba E, Malezieux E. 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry system in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 149:181-188.
- Díaz-José J, Díaz-José O, Mora-Flores S, Rendón-Medel R, Téllez-Delgado R. 2014. Cacao in Mexico: Restrictive factors and productivity levels. *Chilean Journal of Agricultural Research* 74(4): 397-403.
- Duguma B, Gockowski J, Bakala J. 2001. Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems* 51:177–188.
- Duque A. 2004. Agricultura tradicional y biodiversidad: un ejemplo en Risaralda, Colombia. En: Delgado F, Serrano E, Bilbao J. eds. *Agroforestería en Latinoamérica: experiencias locales*. Bolivia: Movimiento Agroecológico para Latinoamérica y El Caribe (MAELA), 51-70.

- Gasco J. 1992. Material culture and colonial Indian Society in Southern Mesoamerica: The view from Coastal Chiapas, Mexico. *Historical Archaeology* 26(1):67-74.
- Gasco J. 2005. El Antiguo Xoconochco: La historia de su ocupación. Fundación para el avance de los estudios mesoamericanos (FAMSI) 26 p. <<http://www.famsi.org/reports/99035es/>>
- Hernández-Gómez E, Hernández-Morales J, Avendaño-Arrazate CH, López-Guillén G, Garrido-Ramírez ER, Romero-Nápoles J, Nava-Díaz C. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción de cacao en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(2): 232-246.
- Ibarra MAC, Arriaga WS, Estrada MA. 2001. Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región de La Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 34(17):101-112.
- Idol T, Haggard J, Cox L. 2011. Ecosystem services from smallholder forestry and agroforestry in the tropics. En: Campbell W, López S. eds. Integrating agricultura, conservation and ecotourism: example from the field. *Issues in Agroecology-Present Status and Future Prospectus Vol. 1*. Londres, Inglaterra, Nueva York, EUA: Springer, 209-270.
- Isaac M, Dawoe E, Sieciechowicz K. 2009. Assessing local knowledge use in agroforestry management with cognitive maps. *Environmental Management* 43:1321-1329.
- Jacobi J, Andres C, Schneider M, Pillco M, Calizaya P, Rist S. 2014. Carbon stocks, tree diversity, and the role of organic certification in different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. *Agroforestry System* 88:1117-1132.
- Jagoret P, Michel-Dounias I, Malézieux E. 2011. Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agroforestry Systems* 81:267-278.
- Jezeer RE, Verweij PA, Santos M J, Boot RG A. 2017. Shaded coffee and cocoa- Double dividend for biodiversity and small-scale farmers. *Ecological Economics* 140:136-145.
- Kumar R, Pal H, Rani D, Jose S. 2008. Ecological interaction in agroforestry: an overview. En: Rani D, Kumar R, Jose S, Pal H. eds. *Ecological basis of agroforestry*. CRC Press.

- Levasseur V, Olivier A. The farming systems and traditional agroforestry systems in the Maya community of San Jose, Belize *Agroforestry Systems* 49(3): 275-288.
- López R. 1987. El cacao en Tabasco. González A, editor. México: Universidad Autónoma Chapingo. 180 p.
- Mohamed F, Bala BK, Alias EF, Abdulla I. 2015. Modelling boom and bust of cocoa production systems in Malaysia. *Ecological Modelling* 309-310: 22-32.
- Montagnini F, Somarriba E, Murgueitio E, Fassola H, Eibl B. 2015. Conclusiones. En: Montagnini F, Somarriba E, Murgueitio E, Fassola H, Eibl B. eds. *Sistemas agroforestales, funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Informe técnico*. Colombia, Costa Rica: CIPAV-CATIE, 423-425.
- Oliveros D, Pérez S. 2013. Medición de la competitividad de los productores de cacao en una región de Santander, Colombia. *Revista Le Bret* 5:243-267.
- Ospina A. 2004. Clasificación y caracterización de tecnologías agroforestales. En: *Agroforestería en Latinoamérica: experiencias locales*. Delgado F, Serrano E, Bilbao J. eds. Bolivia: Movimiento Agroecológico para Latinoamérica y El Caribe (MAELA), 21-40.
- Ramírez S. 2008. La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha* 21(1):97-110.
- Ramírez-Meneses A, García-López E, Obrador-Olán JJ, Ruiz-Rosado O, Camacho-Chiu W. 2013. Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 29(3):215-230.
- Rice RA y Greenberg R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29:167–173.
- Roa-Romero HA, Salgado Mora MG, Alvarez Herrera J. 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas, México. *Acta Biológica Colombiana* 14(3):97-109.
- Ruf F, Schrot G. 2004. Chocolate forests and monocultures: a historical review of Cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. En: Schroth G, da Fonseca G, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AM. eds.

Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes. Island Press. U.S.A.

Ruf FO. 2011. The myth of complex cocoa agroforests: the case of Ghana. *Human Ecology* 39(3):373-388.

Salgado-Mora MG, Ibarra-Núñez G, Macías-Sámamo JE, López-Báez O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32:763–768.

Schroth G y Harvey C. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity conservation* 16:2237–2244.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA) <<http://www.siap.gob.mx/>> [última consulta 27 de abril de 2016]

SIAV (Sistema de Información Arancelaria). 2018. Secretaría de Economía <<http://www.siav.gob.mx/>> [última consulta 27 de enero de 2018]

Snoeck D, Koko L, Joffre J, Bastide P, Jagoret P. 2016. Cacao nutrition and fertilization. En Lichtfouse E. ed. *Sustainable Agriculture Reviews*. Nueva York, EUA: Springer. 19:155–202.

Somarriba E, Beer J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade tree. *Agroforestry Systems* 81:109-121.

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* 88:1001–1019.

Sonwa DJ, Weise SF, Schroth G, Janssens MJ y Shapiro HY. 2014. Plant diversity management in cocoa agroforestry systems in West and Central Africa, effects of markets and household needs. *Agroforestry Systems* 88:1021–1034.

Soto-Pinto L, Jiménez-Ferrer G, Lerner-Martínez T. 2008. Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chis. México.

Steffan-Dewenter I, Kessler M, Barkmann J, Bos M, Buchori D, Erasmi S, Faust H, Gerold G, Glenk K, Gradstein R, et al. 2007. Tradeoffs between income,

- biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *PNAS* 104(12):4973-4978.
- Tadu Z, Djiéto-Lordon C, Yede, Messop E, Désirée C, Fomena A., Babin R. 2014. Ant mosaics in cocoa agroforestry systems of Southern Cameroon: influence of shade on the occurrence and spatial distribution of dominant ants. *Agroforestry Systems* 88:1067–1079.
- ten Hoopen GM, Krauss U. 2016. Biological Control of Cacao Diseases. En: Bailey BA, Meinhardt L. W. eds. *Cacao diseases, a history of old enemies and new encounters*. Springer: Nueva York, EUA, Londres, Inglaterra, p. 511-566.
- Tirado-Gallego PA, Lopera-Álvarez A, Ríos-Osorio LA. 2016. Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistemática. *Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria* 17(3): 417-430.
- Toledo-Hernández M, Wanger TC, Tschamtk T. 2017. Neglected pollinators: Can enhanced pollination services improve cocoa yields? A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 247:137-148.
- Tschamtk T, Clough Y, Bhagwat SA, Buchori D, Faust H, Hertel D, Hölscher D, Jührbandt J, Kessler M, Perfecto I, Scherber C, Schroth G, Veldkamp E, Wanger TC. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes, a review. *Journal of Applied Ecology* 48:619-629.
- Utomo B, Prawoto AA, Bonnet S, Bangviwat A. 2016. Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. *Journal of Cleaner Production* 134:583-591.
- Vaast P, Harmand JM, Rapidel B, Jagoret P, Deheuvels O. 2016. Coffee and cocoa production in agroforestry systems: a climate-smart agriculture model. En: Torquebiau E, ed. *Climate change and agriculture worldwide*. Francia: Éditions Quae, Cirad, Springer. p. 209–223.
- Vaast P, Somarriba E. 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems* 88:947-956.
- Vanhove W, Vanhoudt N, Van Damme P. 2016. Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa

(*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 219:14-25.

Vebrova H, Lojka B, Husband TP, Chuspe ME, Van Damme P, Rollo A, Kalousova M. 2014. Tree diversity in cacao agroforests in San Alejandro, Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems* 88: 1101-1115.

Wade ASI, Asase A, Hadley P, Mason J, Ofori-Frimpong K, Preece D, Spring N, Norris K. 2010. Management strategies for maximizing carbón storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment* 138(3-4):324-334.

Zhang D, Motilal L. 2016. Origin, dispersal and current global distribution of cacao genetic diversity. En: Bailey B. A., Meinhardt L. W. eds. *Cacao diseases, a history of old enemies and new encounters*. Springer p. 3-31.

Zuidema PA, Leffelaar PA, Gerritsma W, Mommer L, Anten NPR. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems* 84:195-225.

V. ANEXO

Cuadro 1. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables de composición, estructura y rendimiento en cada tipo de estructura de cacao.

	Riqueza de estratos	Número de estratos	Cobertura de sombra (%)	Densidad de árboles de sombra (nha^{-1})	Densidad de árboles de cafetos (nha^{-1})	Densidad de árboles de cacao (nha^{-1})	Rendimiento (kgha^{-1})	Edad del cultivo
CADNC								
Número de estratos	0.76*							
Cobertura de sombra (%)	0.44	0.33						
Densidad de árboles de sombra (nha^{-1})	0.9**	0.76*	0.39					
Densidad de cafetos (nha^{-1})	-0.42	0.00	-0.21	-0.53				
Número de especies útiles	0.98**	0.75*	0.42	0.88**	-0.41			
Densidad de árboles de cacao (nha^{-1})	-0.09	-0.11	0.32	-0.11	-0.42	-0.04		
Rendimiento (kgha^{-1})	0.58	0.61*	0.11	0.65*	-0.49	0.61*	0.43	
Edad del cultivo	0.13	0.08	0.34	-0.07	0.13	-0.01	-0.03	-0.16
Altitud (msnm)	0.22	0.4	-0.03	0.44	-0.01	0.32	-0.08	0.41
								-0.74**
CADL								
Número de estratos	0.74							
Cobertura de sombra (%)	0.21	0.62						

Densidad de árboles de sombra (nha ⁻¹)	0.79	0.86*	0.51						
Densidad de cafetos (nha ⁻¹)	0.40	-0.23	-0.67	-0.09					
Número de especies útiles	1**	0.74	0.21	0.79	0.40				
Densidad de árboles de cacao (nha-1)	0.53	0.68	0.67	0.35	-0.44	0.53			
Rendimiento (kg/ha-1)	-0.07	0.18	0.13	-0.23	-0.59	-0.68	0.57		
Edad del cultivo	-0.22	-0.52	-0.81	-0.16	0.85	-0.22	-0.91*	-0.64	
Altitud (msnm)	0.75	0.95**	0.57	0.75	-0.27	0.75	0.79	0.43	-0.58
CSDI									
Número de estratos	-0.37								
Cobertura de sombra (%)	0.53	-0.72							
Densidad de árboles de sombra (nha ⁻¹)	0.52	-0.42	0.62						
Densidad de cafetos (nha ⁻¹)	0.50	0.3	-0.06	0.00					
Número de especies útiles	1**	-0.37	0.53	0.52	0.50				
Densidad de árboles de cacao (nha-1)	-0.16	-0.13	-0.17	0.33	-0.60	-0.16			
Rendimiento (kg/ha-1)	-	0.61	-0.71	-0.47	-0.32	-0.92**	0.30		
	0.918**								
Edad del cultivo	0.10	-0.81**	0.59	0.38	-0.47	0.10	0.47	-0.22	
Altitud (msnm)	-0.53	0.83**	-0.39	-0.39	0.13	-0.53	-0.40	0.57	-0.72

* La correlación es significativa al nivel 0.01.

** La correlación es significativa al nivel 0.05.