

Servicios ecosistémicos de los agroecosistemas de cacao y oportunidades vinculadas con los mercados de carbono: el modelo de la Hacienda La Luz, Comalcalco, Tabasco.

INFORME FINAL

Febrero, 2022

Directorio

Lic. Carlos Manuel Merino Campos
Gobernador del Estado de Tabasco

Lic. Manuel Sebastián Graniel Burelo
Secretario de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático

Dr. Gary Leonardo Arjona Rodríguez
Subsecretario de Sustentabilidad y Cambio Climático

Lic. Manglio Enrique Álvarez Falconi
Director de Protección Ambiental y Cambio Climático

Mtro. Roberto Porter Nuñez,
Subdirector de Cambio Climático

Grupo de trabajo:

Dra. Ena Edith Mata Zayas

M.C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez

Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez

Dra. Lilia María Gama Campillo

MCA. Bertha Valenzuela Córdova

Biól. Calixto Cadenas Madrigal

MCA. Alma Deysi Anacleto Rosas

INDÍCE

1. RESUMEN EJECUTIVO	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS	4
4. MARCO CONTEXTUAL.....	4
HACIENDA LA LUZ.....	5
BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CACAOTALES	6
CAPTURA DE CARBONO	7
MERCADOS DE CARBONO	9
5. MÉTODOS.	1
5.1 Muestreo de vegetación.....	1
5.2 MUESTREO DE FAUNA PARA IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE AVES Y MAMÍFEROS	4
5.2.1 Aves.....	4
5.2.2 Mamíferos (medianos y grandes).....	6
5.3 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	9
Revisión bibliográfica.	9
Entrevistas.....	10
Valoración económica de los servicios ecosistémicos	10
5.4 CARBONO DE LA BIOMASA ARBÓREA DEL CACAOTAL DE LA HACIENDA LA LUZ	12
5.5 POSIBILIDADES DE PARTICIPACIÓN DE LA HACIENDA LA LUZ EN LOS MERCADOS DE CARBONO.	13
6. RESULTADOS	14
6.1 MUESTREO DE VEGETACIÓN	14
6.1.1. Diversidad de especies de flora	14
6.1.2. Descripción de las condiciones actuales del cacaotal.....	18
6.2 MUESTREO DE FAUNA	21
6.2.1 Aves.....	21
6.2.2 Mamíferos	24
6.3 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS IDENTIFICADOS EN EL CACAOTAL DE LA HACIENDA LA LUZ	26
Entrevistas.....	28
Valoración económica de los servicios ecosistémicos de la Hacienda La Luz.....	31



6.4	CAPTURA DE CARBONO	32
6.5	MERCADOS VOLUNTARIOS DE CARBONO. POSIBILIDADES DE PARTICIPACIÓN DE LA HACIENDA LA LUZ.....	35
	<i>Mercados voluntarios de carbono.....</i>	<i>37</i>
	<i>Proceso de comercialización de bonos de Carbono.....</i>	<i>38</i>
	<i>Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB o CCBS)</i>	<i>44</i>
7.	DISCUSIÓN	49
8.	CONCLUSIONES	59
9.	CONSIDERACIONES FINALES	60
10.	REFERENCIAS.....	61

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS AGROECOSISTEMAS DE CACAO Y OPORTUNIDADES VINCULADAS CON LOS MERCADOS DE CARBONO: EL MODELO DE LA HACIENDA LA LUZ, COMALCALCO, TABASCO.

1. RESUMEN EJECUTIVO

En este documento se presentan los resultados de las actividades del proyecto ***Servicios ecosistémicos de los agroecosistemas de cacao y oportunidades vinculadas con los mercados de carbono: el modelo de la Hacienda La Luz, Comalcalco, Tabasco.*** Uno de los propósitos del proyecto fue realizar un estudio centrado en el modelo agroforestal de cacao de la Hacienda La Luz para generar conocimiento útil en la toma de decisiones en relación a los servicios ecosistémicos que proporciona este agrosistema particular.

Las actividades del proyecto incluyeron muestreos de flora y fauna para elaborar los inventarios de biodiversidad, así como la identificación y valoración de servicios ecosistémicos. Se estimó la cantidad de carbono de la biomasa arbórea del cacaotal de la Hacienda La Luz y se identificó cual es el mejor estándar de certificación para comercializar los bonos de carbono.

En total se identificaron 76 especies de plantas y 48 de aves y mamíferos, el número de servicios ecosistémicos identificados fue de 19. La estimación de carbono en la porción aérea (árboles de sombra más árboles de cacao) sumó un total de 163.51 Mg C/ha, y 195.25 Mg C/ha si se incluyen las raíces de los árboles y la biomasa del sotobosque. Por último, en relación al estándar de certificación que mejor se ajusta a las condiciones del modelo del sistema agroforestal de la Hacienda La Luz, se propone el Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB), pues fomentan el desarrollo y la comercialización de proyectos que generen beneficios para el clima, la comunidad y la biodiversidad. Los resultados obtenidos abonarán en la generación de conocimiento útil para la toma de decisiones en relación a los servicios ecosistémicos que proporciona este particular agrosistema.

2. INTRODUCCIÓN

La deforestación e intensificación de los sistemas agrícolas se encuentran entre las causas más importantes de pérdida o degradación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos relacionados en todo el mundo (Foley et al. 2005), y contribuyen al alto nivel de emisiones de gases de efecto invernadero del sector agrícola (Harvey et al. 2013). Los agrosistemas o sistemas agroforestales de cacao que se cultivan con cierto nivel de sombra, pueden optimizar el rendimiento y minimizar la degradación ambiental (Somarriba et al. 2013). Los agrosistemas de cacao sembrados bajo sombra (principalmente con especies de árboles nativos), pueden contribuir a mantener una matriz de paisaje que conserva altos niveles de biodiversidad al proporcionar zonas de amortiguamiento y refugio para la vida silvestre (Asare 2006; Perfecto y Vandermeer 2008; Saj et al. 2017). Albergan una mayor biodiversidad que los monocultivos perenes (como plátano, caña de azúcar, coco, etc.) o cultivos de temporal tales como maíz, frijol, y arroz (Schroth et al., 2011; Armengot et al., 2016; Norgrove y Beck, 2016); también puede contribuir a mejorar la resistencia a las plagas y enfermedades, en particular al cambiar la disponibilidad de recursos y el microclima (Andres et al. 2016; Ten Hoopen y Krauss 2016; Mortimer, 2018).

De acuerdo con la definición aplicada a los sistemas agroforestales, los cultivos de cacao son categorizados como tales, ya que cumplen tres requisitos fundamentales: (1) deben de ser cultivos múltiples, (2) por lo menos algunas de las plantas deben ser leñosas y (3) todos los elementos deben interactuar biológica y/o económicamente (Somarriba, 1998). Gracias a estas características los agrosistemas brindan servicios ecosistémicos (Alcamo et al., 2003). A través de estos servicios se puede vislumbrar la relación estrecha que existe entre los agrosistemas y la sociedad, para generar no solo beneficio económico sino también un bienestar socioambiental. A partir de esta relación estrecha entre el ambiente-comunidad, es que se ha promovido el diseño de políticas que busquen un equilibrio

entre el desarrollo y la conservación, que permita mantener los recursos naturales, mientras se mejora el nivel de bienestar social (Barrantes, 2006).

Un estudio de la valoración de los servicios ambientales en La Chontalpa Tabasco, mostro que, con datos teórico conceptuales, los cacaotales tienen un valor alto en la provisión de múltiples servicios ecosistémicos; sin embargo, aún existe un vacío de información de datos de campo y de la percepción de la gente. Un enfoque que podría ayudar a los productores de cacao para adaptarse al cambio climático es el uso de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) (Vignola et al., 2015). La AbE se refiere al uso de prácticas agrícolas que están basadas en la conservación, restauración y manejo sostenible de servicios ecosistémicos (CBD, 2009), entre ellos la captura de carbono.

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es indispensable para asegurar nuestro futuro. Para lograrlo, existen varias estrategias, entre ellas destaca la creación de esquemas de comercio de emisiones a nivel internacional. El mercado de carbono tiene como propósito central la reducción de emisiones de GEI, y representa una alternativa económicamente eficiente para países, empresas e individuos que quieren disminuir las emisiones de GEI en la atmósfera y favorecer la disminución de los efectos adversos del cambio climático.

La manera de reducir las emisiones puede ser por medio del cumplimiento de las acciones establecidas inicialmente en el Protocolo de Kioto o puede llevarse a cabo dentro de un mercado voluntario, el cual no es jurídicamente vinculante y se ha desarrollado como respuesta a los mercados formales establecidos por el protocolo mismo, como son el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU-ETS), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), entre otros. En cuanto a los mercados voluntarios, existen varios mercados no reglamentados basados en los compromisos voluntarios de empresas privadas e individuos que buscan compensar los impactos ambientales que genera su actividad productiva. Tanto el mercado

formal como el mercado voluntario de emisiones tienen objetivos que van más allá de la captura de carbono. En particular, el sector privado es el que incursiona más en el mercado voluntario, tanto, que varias empresas a nivel mundial del sector energético en particular han establecido metas de reducción de GEI voluntariamente. Además, en los mercados de carbono voluntarios, las actividades que reducen las GEI producen Reducciones de Emisiones Verificadas (VER) que se pueden vender a empresas o personas que voluntariamente desean reducir las llamadas huellas de carbono que dejan sus emisiones (Reyes-Hernández y Aguilar-Roledo, 2020).

3. OBJETIVOS

2.1 General

Generar conocimiento ambiental y de servicios ecosistémicos sobre el modelo agroforestal de cacao de la Hacienda La Luz que sea útil para valorar dichos servicios, identificar las oportunidades de participación en el mercado de carbono para proponer esquemas para diversificar los ingresos para los productores cacaoteros con base en este modelo.

2.2. Específicos

1. Determinar los servicios ecosistémicos y su valoración económica en el sistema agroforestal del cacao en la Hacienda La Luz, en el municipio de Comalcalco.
2. Investigar los mercados voluntarios de Carbono que contemplen opciones de participación para brindar mayor valor al agrosistema del modelo de la Hacienda La Luz.

4. MARCO CONTEXTUAL

En el estado de Tabasco, la zona cacaotera más importante se concentra en la Región de la Chontalpa, ubicada al noroeste del estado (Yanes, 1994; López *et al.*, 2000; González 2005). En la región, este cultivo es de gran importancia, ya que de

él se derivan productos elaborados artesanalmente que además poseen un alto valor nutricional (Naranjo, 2011). El grano seco de cacao o en baba se utiliza para elaborar productos con mayor valor agregado como chocolates, polvillo, helados, licores, moles, bebidas como pozol y chorote. Esto representan un aporte sociocultural y económico para los locales, pues gracias a la cosecha del grano, se integra la producción, se genera trabajo y se obtiene recursos económicos con la venta en el mercado local, regional y nacional como producto artesanal.

El actual paisaje de la Región de La Chontalpa es un mosaico de parches que comprenden sistemas agroforestales de cacao (o agrosistemas de cacao o cacaotales), acahuales, pastizales, otros cultivos comerciales y áreas de infraestructuras humanas (Márquez *et al.*, 2005). Los cacaotales representan la principal cobertura arbórea (González y Amaya, 2005). En La Chontalpa, los agrosistemas de cacao representa el último refugio y hábitat para muchas especies tropicales, especialmente para los mamíferos que sobreviven en un paisaje dominado por pastizales para ganadería extensiva (sin cobertura arbórea) y zonas urbanas (Oporto *et al.* 2015; Valenzuela Córdova *et al.*, 2015). Esta situación ha contribuido a la reducción y extinción local de poblaciones de fauna silvestre, principalmente de especies prioritarias como los monos saraguatos (Serio-Silva *et al.*, 2006).

En áreas donde la vegetación natural ha sido reemplazada en su totalidad en cultivos agrícolas, los agrosistemas arbolados juegan un papel importante para la conservación ya que proporcionan un hábitat para las especies dependientes de la vegetación natural y que toleran un cierto nivel de perturbación (Schorth *et al.*, 2004), especial atención puede prestarse al cacoatal la Hacienda La Luz, inmerso en el centro del municipio de Comalcalco, Tabasco.

Hacienda La Luz

La Hacienda La Luz fue fundada en 1958 por el Dr. Otto Wolter, un inmigrante alemán. Es una propiedad de 50 hectáreas ubicada en pleno centro de la ciudad de

Comalcalco, Tabasco, en el corazón de la Región de la Chontalpa. Dentro de los terrenos de la hacienda, se conservan 5 hectáreas de selva alta perennifolia, designadas por el señor Wolter para que las generaciones de su descendencia la conocieran. La hacienda cuenta con 26 ha de cacaotal y 19 ha dedicadas a la producción ganadera (<https://haciendalaluz.mx>).

La Hacienda La Luz es un desarrollo que ofrece turismo gastronómico a través de recorridos interpretativos en el sistema agroforestal de cacao. En la hacienda se encuentra la antigua fábrica que actualmente funciona como procesadora, donde se fermentan y secan los granos de cacao. La hacienda cuenta con el Museo del Cacao y el Chocolate Otto Wolter Hayer, donde se exponen herramientas y utensilios relacionados con cacao y chocolate prehispánicos; además, cuenta con una tienda donde se venden las variedades de chocolates producidos en la fábrica, así como otros productos artesanales de la Región (quesos, miel, café, botanas, artesanías, etc). Los chocolates Wolter, de los chocolates mexicanos más finos, han sido premiados en el International Chocolate Awards (Graniel-Velasco y Angulo-Castellanos, 2020; Parizot-Wolter, 2021).

Biodiversidad y Servicios ecosistémicos en cacaotales

Históricamente, el cacao ha representado uno de los cultivos más emblemáticos en el estado de Tabasco. Cultivo alrededor del cual se ha desarrollado una cultura que ha prevalecido y se ha arraigado profundamente en las costumbres, la gastronomía y el comercio local (Naranjo, 2011). En la Región de la Chontalpa, estas plantaciones se distribuyen en áreas originalmente selváticas, principalmente las tierras bajas, y se ha documentado que proveen hábitat, recursos alimenticios, refugio y conectividad para la biodiversidad. Además del principal producto comercial de este cultivo, el grano de cacao, se obtienen otros bienes y servicios ecosistémicos tales como: alimento (frutos, miel, especias), madera, plantas ornamentales y medicinales, leña, postes, entre otros.

Los servicios ecosistémicos son bienes y servicios (beneficios) que las personas obtienen de un ecosistema (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), incluyen las funciones ecológicas, físicas y químicas dentro de los ecosistemas que sostienen la vida y el bienestar del ser humano (Thrush y Dayton, 2010). En general, los servicios ecosistémicos se han clasificado en cuatro categorías: servicios de suministro o provisión, de regulación, culturales y de soporte (Groot *et al* 2002). En los últimos años se ha resaltado el papel que los sistemas agroforestales de cacao pueden aportar en la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, particularmente en paisajes altamente fragmentados, ya que son sistemas de cultivo que incluyen elementos de la vegetación natural mezclados con árboles frutales de importancia comercial (Parrish *et al.*, 1999). La diversidad de plantas y animales (agrobiodiversidad) que hay en los sistemas agroforestales de cacao es la base para proveer esos servicios.

Como parte de estos servicios, el servicio de regulación del clima por medio de la captura de Carbono es indispensable para ayudar a la reducción y almacenamiento de los gases de efecto invernadero (GEI). Se calcula que la agricultura y ganadería son responsables de aproximadamente un tercio de las emisiones de GEI. Sin embargo, las buenas prácticas agrícolas puede ayudar a mitigar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones procedentes de la agricultura y de otras fuentes y al almacenamiento del carbono en la biomasa vegetal y de los suelos (FAO, 2008)

Captura de Carbono

Existe un interés cada vez mayor en el papel que los diferentes tipos de uso de suelo tienen en la reducción de la concentración de CO₂ atmosférico y la reducción de la tasa de emisiones de este gas de efecto invernadero. Se ha demostrado que el uso antropocéntrico de la tierra tiene influencia sobre la diversidad de procesos (como la fotosíntesis, respiración, descomposición, nitrificación/desnitrificación,

entre otros) que se realizan en los ecosistemas, los cuales afectan a los flujos de gases efecto invernadero. Esto ha conducido a una gran cantidad de investigaciones sobre el papel de la cubierta forestal y los sistemas agroforestales, evidenciándose a la fecha que los sistemas forestales y agroforestales son importantes sumideros de carbono (IPCC; 2007).

Para los más de 7 mil millones de seres humanos que habitamos el planeta, la cobertura vegetal que la caracteriza es necesaria y, hasta el momento insustituible, en su función de proporcionar tanto alimentos como fibras, maderas, aceites y una amplia variedad de insumos que se extraen para otros tantos fines. Además, la vegetación proporciona una multitud de servicios ecosistémicos, incluyendo la mitigación del cambio climático, y en la medida que es alterada, sustituida o eliminada, se presentan diversos impactos, y se esperan otros potenciales, en el equilibrio de los ecosistemas en la tierra. Las plantas capturan CO₂ de la atmósfera durante su crecimiento, y lo redistribuyen entre diferentes componentes de los ecosistemas, incluida la biomasa viva por encima y por debajo del suelo, los residuos muertos y la materia orgánica del suelo (Smith *et al.*, 2014).

Una porción considerable del total del área forestal (el 52 %) de los bosques se encuentran en los trópicos, seguidos de los bosques de las latitudes altas (30 %) y medias (18 %). Esa área boscosa mundial (aproximadamente 3.4 billones de ha) ha estado disminuyendo aproximadamente entre 12 y 15 millones de ha anuales. La mayoría de esta disminución (10 a 12 millones de ha) ocurre en el trópico. Las causas principales de la deforestación en los trópicos son el cambio de tierras agrícolas hacia tierras de pastoreo, y el aprovechamiento para leña y madera. Esta deforestación de los trópicos y la degradación forestal se considera contribuyen con el 17.4% de las emisiones globales de gases efecto invernadero (Kanninen, s/f). Sin lugar a dudas, los bosques son los principales sumideros terrestres de CO₂ y es ahí en donde se produce el 80% de dicho intercambio que se da entre la superficie terrestre y la atmósfera (FAO, s/f).

Dentro del ámbito de los ecosistemas y sistemas agroforestales, puede pensarse en al menos tres estrategias de mitigación de gases efecto invernadero, en especial CO₂: a) reducción/prevenición de emisiones a la atmósfera mediante la conservación de depósitos de carbono existentes en suelos o vegetación que de otra manera se perderían; b) secuestro o mejora de la captura de carbono en los reservorios terrestres y, por lo tanto, elimina el CO₂ de la atmósfera; y c) reducir las emisiones de CO₂ mediante la sustitución por productos biológicos en lugar de los combustibles fósiles o productos intensivos en energía (Smith *et al.*, 2014).

La mayoría de los sumideros de Carbono (C) en la vegetación están localizados en bosques tropicales de baja latitud (62 %), mientras que la mayoría del C del suelo está localizado en los bosques de alta latitud (boreal) (54 %). En los trópicos, el C que está en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 ton C/ha en bosques primarios, y entre 25 y 190 ton C/ha en bosques secundarios, y en el suelo varían entre 60 y 115 ton C/ha. En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de C en el suelo son considerablemente pequeños (Kanninen, s/f).

Por ello se considero valorar el carbono almacenado en la vegetación del sistema agroforestales del cultivo del cacao de la Hacienda La Luz en sus componentes arbóreo, herbáceo (sotobosque) y subterráneo (raíces) como un primer paso en la exploración dirigida a buscar y determinar la mejor alternativa de mercado y certificación para el C de la Hacienda La Luz como un caso de estudio que pueda replicarse a otras plantaciones cacaoteras

Mercados de Carbono

El mercado de carbono surge para tomar medidas ante la evidencia de que la actividad humana está influenciando un proceso de calentamiento climático global acelerado debido a la concentración de GEI, con los consecuentes impactos negativos sobre la salud de los seres humanos, la seguridad alimentaria, la actividad

económica, el agua y otros recursos naturales y de infraestructura física (Eguren, 2004).

En la actualidad, existen diferentes esfuerzos para reducir las emisiones de carbono y promover actividades que ayuden a almacenar y eliminar carbono. Esto ha hecho del carbono un valioso producto básico. Con el fin de encontrar una unidad de medida común para esta mercancía, todos los GEI se convierten en equivalentes del CO₂ (CO₂ -eq)¹. Los CO₂-equivalentes se comercian en los mercados de carbono, que funcionan de forma parecida a los mercados financieros, y en donde la moneda utilizada son los créditos de carbono.

En la Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU por sus siglas en inglés), son varias las fuentes y sumideros que emiten, absorben y almacenan GEI. Numerosas prácticas agrícolas y forestales emiten GEI a la atmósfera. Si bien la agricultura es un importante contribuidor al cambio climático, también proporciona diversas opciones como sumidero. De tal manera que es posible que todas aquellas emisiones que no pueden evitarse, pueden ser compensadas a través de proyectos que realizan acciones que contribuyan a reducir la cantidad de GEI que se emiten anualmente (FAO, 2008).

El Protocolo de Kyoto definió inicialmente la estructura del mercado de carbono, estableciendo objetivos cuantificados de reducción de emisiones para los países desarrollados, así como los mecanismos para aminorar el costo de implementación. Uno de estos mecanismos, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), buscó que proyectos de inversión elaborados en países en desarrollo obtuvieran ingresos económicos adicionales a través de la venta de créditos de carbono (Certificados de Emisiones Reducidas o CER), al mitigar la emisión de GEI a secuestro de dióxido de carbono a la atmósfera (Rontard *et al.*, 2021). En diciembre de 2015, se aprobó el Acuerdo de París, el cual sustituye al Protocolo de Kioto a partir del 2020. Es un instrumento que reúne las medidas acordadas por los países para evitar que la

temperatura del planeta suba por encima de los 2 °C e idealmente permanezca por debajo de 1.5 °C. Gran parte de estas metas serán logradas por los países a través de medidas de adaptación y mitigación (Garín, 2017). En el Acuerdo, los países se comprometen a reducir sus emisiones a partir de 2020; sin embargo, estos compromisos no son jurídicamente vinculantes (UNFCCC).

Existen dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado y los voluntarios. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que por ley tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI. Está regulado por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales. En el mercado voluntario, en cambio, el comercio de créditos se produce sobre una base facultativa (FAO, 2008). Los mercados voluntarios surgen a partir de la demanda voluntaria de créditos de carbono por parte de compañías e individuos que buscan compensar sus propias emisiones (Peters-Stanley y Yin, 2013). Entre las motivaciones de los compradores voluntarios se encuentran la responsabilidad social corporativa o razones éticas.

En este sentido, los sistemas agroforestales, como el cacao bajo sombra, puedan tener una oportunidad para ofrecer sus servicios de regulación en los mercados voluntarios de Carbono. El cacaotal de La Hacienda La Luz es una muestra representativa de los sistemas agroforestales de cacao bajo sombra de la Región de la Chontalpa desde el punto de vista del cultivo o plantación agrícola. Además, la hacienda cuenta con tres atributos particulares: primero, la integración de procesos que transforman el grano seco de cacao en productos con mayor valor agregado tales como chocolates, polvillo, nieves, licores; segundo, su posición estratégica dentro de la cabecera municipal; tercero, ha desarrollado competencias para ofertar paseos turísticos dentro del cacaotal, museo y la fábrica de chocolates. Estos atributos han sido seleccionados como un modelo agroforestal del cacao que permita su replicación con otros productores de cacao, contribuyendo de esta

manera no solo a mejorar el ingreso de los productores sino también coadyuvar en el resguardo de este particular agrosistema de Tabasco en el largo plazo.

La revisión de literatura muestra que los cacaotales presentan al menos 28 servicios ecosistémicos. Sin embargo, este estudio se enfocará principalmente en la cuantificación del servicio de regulación del clima, mediante la medición del Carbono en el cacaotal. La información sobre este tema para Tabasco es incipiente y sólo se ha estimado de manera teórica (Salvador et al., 2019), por tanto este estudio proporciona una línea base de gran relevancia para la estimación del impacto de este servicio de regulación. Así mismo, se evaluarán servicios de provisión, sustento como el hábitat para biodiversidad y el cultural como el ecoturismo.

Mientras la estimación de la cantidad de Carbono almacenado es una parte central de este estudio, la otra se centra en explorar los mercados voluntarios de Carbono donde los agrosistemas de cacao puedan tener una oportunidad para ofrecer sus servicios de regulación y, en consecuencia, acceder a recursos adicionales que favorezcan el resguardo de estos importantes sistemas agroforestales en el mediano y largo plazo. El modelo de la Hacienda La Luz permitirá responder esta pregunta.

5. MÉTODOS.

Localización.

La Hacienda La Luz es una propiedad privada de 50 hectáreas ubicada en el centro de la ciudad de Comalcalco, Tabasco (Figura 1). El sistema agroforestal de cacao ocupa un área de 26 ha. El cacaotal recientemente fue dividido, para el paso de la Avenida Otto Wolter.

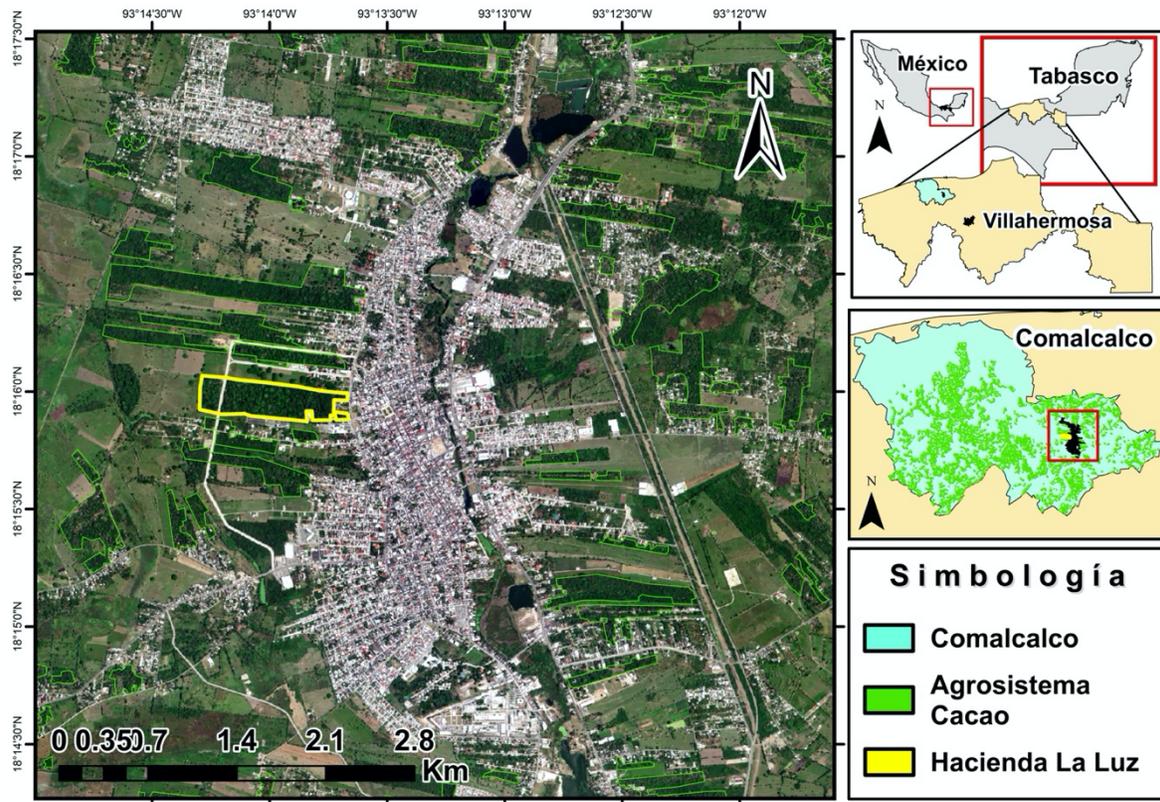


Figura 1. Localización de Hacienda La Luz en la ciudad de Comalcalco, Tabasco, México.

5.1 Muestreo de vegetación

5.1.1. Inventario de flora del cacaotal

Para fines de obtener tanto el inventario de flora como el carbono capturado por el cacaotal de la Finca La Luz, y usando el software Arcview, se delimitó una superficie de 18.51 has (712 m de largo y 260 m de ancho) que no incluyó el área de recorridos

turísticos, ya que es un espacio con muchas modificaciones y un manejo diferente a lo restante del cacaotal (Figura 2). De esta forma se generaron un total de 370 parcelas de 500 m² cada una. Se dejaron todas las parcelas externas como efecto de orilla y de las centrales se eligieron al azar 2 parcelas en las cuales se realizaron las mediciones que se indican más adelante (b), incluidas las mediciones morfométricas de la vegetación arbórea, las cuales sirvieron para obtener la estimación de la cantidad de carbono acumulada en la vegetación. La superficie de la finca que no quedó dentro de este polígono fue valorada, en cuanto a diversidad de especies, por medio de recorridos aleatorios.



Figura 2. Superficie del cacaotal de la Hacienda La Luz delimitado para el muestreo de vegetación por cuadrantes.

La composición de la flora presente dentro del cacaotal se obtuvo realizando las dos actividades siguientes, combinando metodologías ecológicas (Mueller-Dombois, & Ellenberg, 1974; Daubenmire, 1959), y usadas en evaluaciones de carbono en agroecosistemas (Salvador-Morales *et al*, 2019; Marín, Andrade y Sandoval, 2016; Concha, Alegre y Pocomucha, 2007):

a) Para la identificación de las especies se realizaron recorridos aleatorios cubriendo todo el cacaotal (incluyendo la parte de recorridos turísticos) y elaborando un listado de especies presentes. En el caso de las plantas que no pudieron identificarse en campo se colectaron muestras botánicas para herborizarlas e

identificarlas en laboratorio. La herborización se realizó siguiendo la metodología sugerida por Lot y Chiang (1986) y los ejemplares fueron depositados en el herbario UJAT (División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco).

b) Adicional a lo anterior, y con la finalidad de complementar el listado de flora del cacaotal, así como de obtener información morfométrica de los árboles, se realizaron censos en las dos parcelas o cuadrantes elegidos aleatoriamente dentro del cacaotal. Se trabajó diferenciando los siguientes grupos de plantas: vegetación arbórea (árboles de sombra y el cacao), arbustos, palmas, bejucos (o trepadoras), epífitas, y vegetación herbácea o sotobosque.

5.1.2. Censo de cuadrantes y obtención de variables morfométricas

En cada uno de los cuadrantes delimitados de 500 m², se realizó un censo de especies arbóreas, arbustivas, bejucos y epífitas, y dentro de cada cuadrante se delimitaron 2 cuadros de 1 m² cada uno y se evaluó diversidad y biomasa de las plantas del sotobosque. Los detalles se describen a continuación.

a) Censo en cuadrantes de 500 m² o cuadros mayores (para inventario de vegetación arbórea, arbustos, bejucos y epífitas). El tamaño del cuadrante fue de 20 m x 25 m (500 m²) y en cada cuadrante se obtuvo la siguiente información:

- Variables de individuos arbóreos y arbustivos (incluyendo el cacao): especie, diámetro del tallo (en las especies de sombra a 1.3 m sobre el suelo y en el cacao a 0.3 m sobre el suelo), altura, cobertura (con dos diámetros en cruz), etapa fenológica en la que se encuentra.
- En el caso de las especies epífitas y bejucos, las variables que se midieron fueron: especie, altura a la que se encuentran (en el caso de los bejucos la altura de la guía más alta), etapa fenológica en la que se encuentra, especie arbóreas sobre la que se encuentra.

b) Censo en cuadros menores o herbáceos de 1 m² (para inventario de vegetación del sotobosque). La vegetación del sotobosque se censó eligiendo al azar dos cuadros de (1 x 1) m, ubicados dentro de los cuadros mayores trazados para contabilizar la vegetación arbórea; se muestrearon dos cuadros de (1 x 1) m por cuadro mayor. Las variables obtenidas en cada cuadrante fueron: especie, número de especies, número de individuos de cada especie, biomasa aérea seca total.

5.2 Muestreo de fauna para identificación de especies de aves y mamíferos

Para contar con información sobre las especies de fauna presentes en el cacaotal se elaboró un inventario de aves y mamíferos, los cuales provienen de las siguientes fuentes: muestreos de campo y entrevistas a personal de la Hacienda. A continuación, se describen los métodos de los muestreos de aves y mamíferos.

5.2.1 Aves

Para el muestreo se utilizó la técnica de conteo por puntos de radio fijo (Ralph et al., 1996; Bibby et al., 2002), considerada una técnica adecuada para el muestreo de aves neotropicales, además de efectiva y eficiente para el muestreo en agroecosistemas forestales (Felton et al., 2011, Lynch 1995). Dada las condiciones particulares del agrosistema de la Hacienda La Luz, los puntos de censo estuvieron separados entre sí por una distancia mínima de 170 m y 50 m del borde (Figura 3); lo anterior para evitar el solapamiento y duplicación de conteo de aves (Ralph et al., 1996) así como para reducir el efecto de borde de la matriz circundante. Se determinaron siete puntos de muestreo. Una vez realizado el recorrido previo, y considerando el espesor de la vegetación del agrosistema, el radio de conteo fue de 25 m por punto (Ralph et al., 1996).

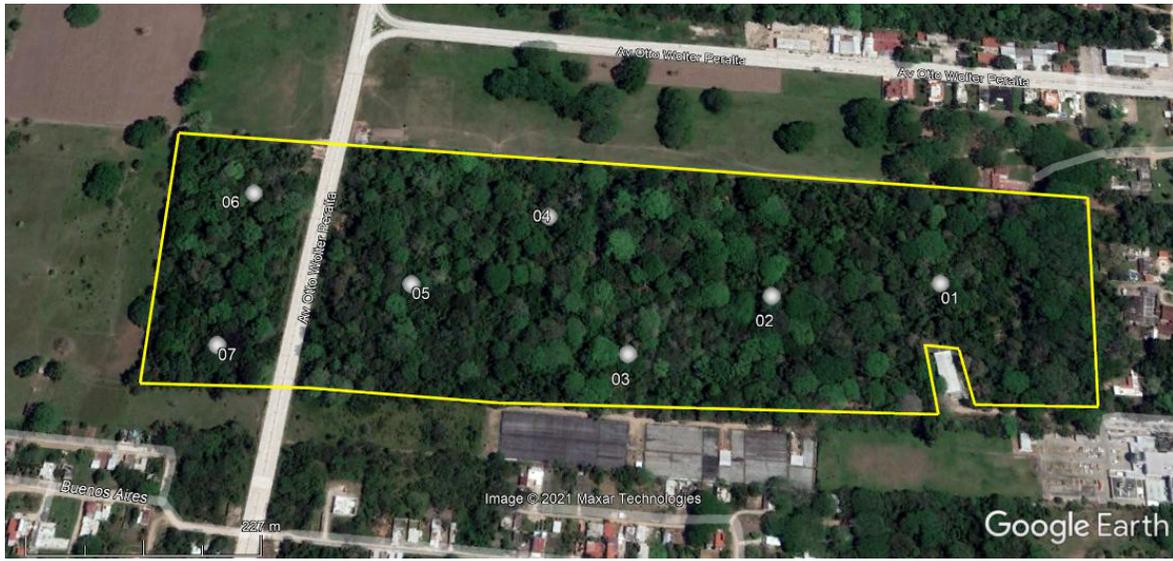


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo de aves en la Hacienda La Luz.

Los censos de aves inician al amanecer y hasta las 10:00 horas aproximadamente, considerando la mayor actividad vocal (Lynch, 1995; Ralph et al., 1996). Los muestreos durante días lluviosos o ventosos son evitados, puesto que disminuye la actividad y se dificulta la identificación (Bibby et al., 2002). En cada punto se registraron visual y auditivamente todas las aves observadas durante 10 minutos (Lynch, 1995). La información recabada considera: especie, número de individuos (abundancia), sexo (de ser posible), estacionalidad, tipo de sustrato utilizado y actividad. Para registrar especies de difícil identificación o esquivas, se recomienda el uso de grabaciones vocales de aves (Gregory et al, 2004), para lo cual se recurrió a la colección de sonidos de Boesman (2006) y las bases en línea de Xeno-Canto (www.xeno-canto.org) y eBird (Sullivan et al. 2009). Para las identificaciones visuales se utilizaron binoculares (8x40), guías ilustradas de campo (Howell y Webb, 1995, Kaufman, 2005).

Para complementar la información sobre las aves registradas se buscó información sobre su clasificación taxonómica, estacionalidad, gremios alimenticios y categoría de riesgo. La estacionalidad se registró de acuerdo a Cortés-Ramírez et al. (2012) y Navarro-Sigüenza et al. (2014). La clasificación de las aves por gremios alimenticios se basó en Wilman et al. (2014). Se consultó la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de Federación, 2010), para identificar especies en alguna

categoría de riesgo. Las aves que se observaron fuera de los puntos de censo, pero dentro del hábitat serán utilizadas para la realización del inventario final siguiendo lo establecido Berlanga-García et al. (2015).

5.2.2 Mamíferos (medianos y grandes)

Para registrar mamíferos terrestres (medianos y grandes) en la Hacienda La Luz, se utilizó el método de muestreo por cámaras trampa y se contabilizaron a los monos saraguatos.

El uso de cámaras-trampa consiste en colocar cámaras automatizadas ya sean sujetas en troncos de árboles o en varillas, a una altura determinada, en veredas, entradas de madrigueras, echaderos, dependiendo de los objetivos del estudio, que permiten conocer la riqueza de especies, sobre todo de mamíferos de talla mediana y grande, en algún sitio determinado. También permiten detectar especies sigilosas o de hábitos nocturnos. Las trampas-cámara pueden ser activas o pasivas, constan de un sensor de movimiento (Gallina, 2020). Se colocaron un total de 5 cámaras trampa (Figura 4), separadas por una distancia de al menos 200 m entre sí, y a una altura de 30 cm sobre el suelo. Permanecieron activas las 24 horas del día por un periodo de 64 días, se revisaron cada dos semanas durante el periodo que estuvieron activas. Para identificar a las especies se revisaron las guías de campo de Reid (2009) y Aranda (2012). Se elaboró una base de datos de las especies registradas con la información taxonómica, gremio alimenticio y estado de conservación. La clasificación taxonómica de las especies se basó en la propuesta de Ramírez-Pulido *et al.* (2014). Para clasificar los gremios se consideraron aspectos generales de la dieta de las especies, a partir de las propuestas de Ceballos y Navarro (1991), Sampaio et al. (2003) y Giannini y Kalko (2004). El estado de conservación de especies se referenció de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010.



Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo de mamíferos en la Hacienda La Luz mediante cámaras trampa.

Censo de monos saraguatos

Para contar las tropas de monos que viven en el cacaotal, se buscaron siguiendo un transecto lineal de 800 metros con intersecciones transversales cada 100 metros, las intersecciones abarcaron el ancho del fragmento (Figura 5), adaptando la metodología sugerida por Peres, 1999. Al localizar las tropas se observaron por un lapso de 30 minutos mínimo para registrar el número de individuos, edad y sexo: hembra y macho adulto, juvenil e infante. Con la ayuda de binoculares se identificaron las tropas por características como el tamaño, la composición, las características físicas de algunos individuos (color, cicatrices, entre otras) y la consistencia en la localización espacial, evitando con esto repetir el censo de las tropas. Se tomó la referencia geográfica con el GPS para ubicar cartográficamente la distribución de las tropas.

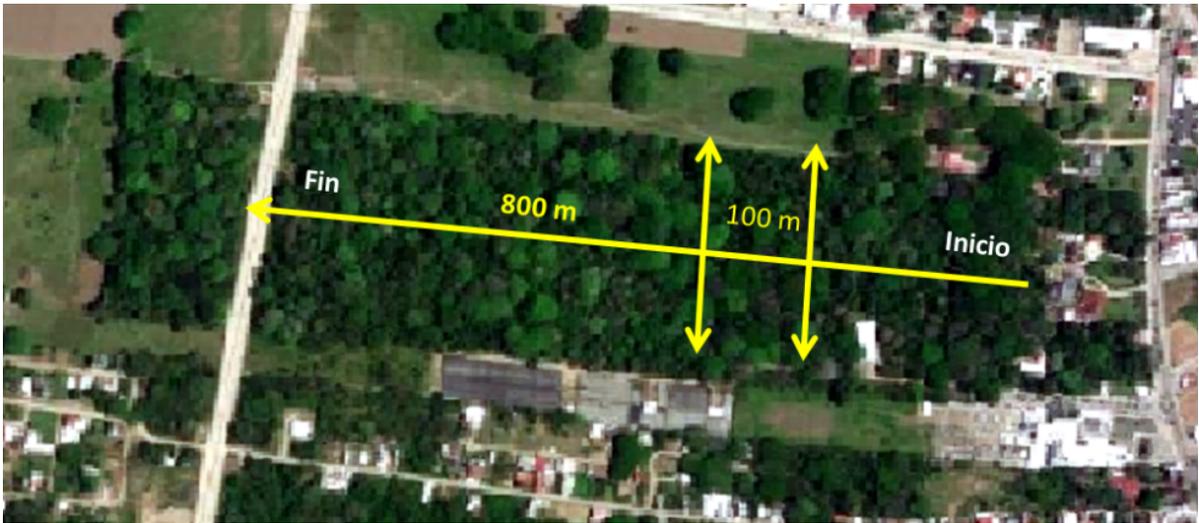


Figura 5. Transecto lineal con intersecciones transversales para el censo de monos saraguatos.

Para identificar en campo la estructura por sexo y edad se consideraron las cuatro clases estándar para estos primates, las cuales toman en cuenta las características morfológicas y la relación madre-cría (Cuadro 1; Glander, 1980; Domingo-Balcells y Veà-Baró, 2009). Posteriormente se analizó: la estructura poblacional con relación a hembra-macho, hembra-juvenil, hembra-infante; la densidad relativa poblacional (ind/ha).

Cuadro 1. Clave de identificación de campo de la composición sexo-edad para *A. palliata mexicana*. Modificado de Glander, (1980) y Domingo-Balcells y Veà-Baró, (2009).

Clase	Morfología	Relación Madre-Hijo
Infante	Con pelaje corto y de color cenizo y/o marrón. Extremidades desproporcionadas al cuerpo.	Depende de la madre para alimentarse (amamantan). La madre lo carga en el dorso y/o espalda. Descansa junto a ella.
Juvenil	Pelaje color marrón-negro. Sin el manto definido pero con pelos cortos y amarillentos en los costados. Aún no son visibles/definidos los caracteres sexuales secundarios. Cuerpo delgado.	Locomoción y descanso cerca de la madre. Pueden ser solitarios.
Hembra	Pelaje color marrón-negro. El manto bien definido y largo en los costados, vulva visiblemente reconocible. Cuerpo robusto.	Pueden tener de una a dos crías (una muy pequeña y otra juvenil).
Macho	Pelaje color marrón-negro. Manto definido y largo en los costados. Barba prominente. Vocalización. Escrotos descendidos en forma de péndulo de color blanco con o sin manchas. Cuerpo robusto.	Independiente

5.3 Servicios ecosistémicos

La identificación de servicios ecosistémicos se realizó por medio de dos fuentes de información: revisión bibliográfica y entrevistas al personal de la Hacienda La Luz.

Revisión bibliográfica.

Se establecieron los criterios de búsqueda, identificación y selección de fuentes de información para contar un marco de referencia teórico para identificar los servicios que pueden proveer los agrosistemas de cacao. Las palabras clave utilizadas han sido: cocoa, agroforestry, agrobiodiversity, carbon storage, climate change, ecosystem services, cacao, sistema agroforestal, captura de carbono, agrobiodiversidad, cambio climático, servicios ecosistémicos. La revisión bibliográfica se lleva a cabo en bases de datos referenciales como Web of Science (WoS), Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar (Google Académico), así como libros, tesis e informes técnicos.

Se siguió la clasificación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005; Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005)

Categoría	Descripción	Ejemplos
Servicios de regulación	Son beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos y hacen referencia al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y a sistemas de aporte vital.	regulación del clima, control de enfermedades y plagas, saneamiento de aguas y suelos, captura de carbono
Servicios de provisión	son obtenidos directamente de los ecosistemas y son aprovechados como bienes, adicionalmente, hacen referencia a la provisión de recursos naturales alimentos	medicinas, fibras, madera y otros materiales que se producen en las fincas.
Servicios culturales	son beneficios tangibles o intangibles obtenidos de los ecosistemas y hacen referencia a la provisión de oportunidades para el desarrollo cognitivo	alimentos, materiales o plantas para fines tradicionales, ceremonias espirituales, ecoturismo, belleza de la finca o del paisaje
Servicios de soporte	son necesarios para la producción de los demás servicios ecosistémicos	el ciclo de nutrientes para la fertilidad del suelo, polinización

El agrosistema cacao puede prestar múltiples servicios ecosistémicos, y se han identificado servicios en las cuatro categorías definidas (regulación, sustento, provisión y culturales).

Entrevistas

Una vez hecha la revisión de literatura, se procedió a realizar una serie de entrevistas con los actores principales de la Hacienda La Luz: dueños, trabajadores de campo (cinco entrevistas en total). La entrevista se realizó usando un formato-guía que contiene 22 puntos de interés explorando aspectos sobre la vegetación, fauna y de pertenencia, que contemplaban elementos para evaluar la percepción sobre los servicios ecosistémicos. Por cuestiones prácticas el formato de entrevista se dividió por aspecto a evaluar y se busco replicar con la misma persona tantas veces como especies conozca el entrevistado, aunque por cuestiones de disponibilidad de tiempo de los encuestados, esto no siempre fue posible.

Las entrevistas se realizaron presencialmente y se llevó el registro en papel. Para complementar la información se empleó un catálogo de imágenes de flora y fauna que permitió visualizar a la especie o algún rasgo distintivo de la misma. Se solicitó autorización para grabar la entrevista.

Valoración económica de los servicios ecosistémicos

Para estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos que provee el agrosistema de cacao de la Hacienda La Luz, se consideraron los valores obtenidos para los cacaotales de La Región Chontalpa, en el estudio *Valoración Económica de los Bienes y Servicios Ambientales en Zonas con Influencia Petrolera en Tabasco* de Vázquez-Navarrete y col. (2011). La metodología en dicho estudio consiste en la elaboración de un instrumento para la cuantificación de los servicios ecosistémicos, considerando el tipo de ecosistema, tipo de servicios ecosistémicos, medición del servicio. Para la valoración económica se empleó el método de sustitución de

valores (calculados en dólares americanos por unidad de superficie) y, a partir de datos disponibles en la literatura (además de información secundaria como informes técnicos, tesis, consulta a expertos, entre otros), considerando el método de valoración, año del estudio, ubicación geográfica y variables locales-contextuales para la estimación de los precios. La metodología empleada, la descripción del componente a valorar, así como el modelo usado para estimar el valor económico se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción de componentes y modelo de valoración económica. Fuente: Vázquez-Navarrete *et al*, 2011.

TSA	SERVICIO AMBIENTAL	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	MODELO
Servicios de regulación	Regulación de gases	Contaminación	Presencia o ausencia de contaminación según las normas y leyes mexicanas que perjudican el estado de salud de las vías respiratorias de los pobladores.	$E_i = DPOB_i \cdot I_i$
	Regulación del clima	Carbono	Cantidad de Carbono almacenado en los reservorios de los ecosistemas: Biomasa viva, Materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo	$E_c = ((BVI_c + BMU_c) \cdot 0.5) + (BS_c \cdot (1.725)^{t-1})$
	Regulación de contingencias o desastres naturales	Agua	Cantidad de agua que puede ser almacenada en las superficies del ecosistema como consecuencias del relieve y posteriormente utilizada por el hombre	$E_a = A_a \cdot P_a$
	Regulación del agua (flujos hidrológicos)	Agua	Cantidad de agua que es regulada por el ecosistema y que permite aminorar los efectos de erosión relieve y las condiciones meteorológicas presentes en los ecosistemas.	$E_r = A_r \cdot P_r \cdot C_r$
	Regulación de la erosión	Suelo	Cantidad física de pérdida de suelo	$E_s = D_{sp} \cdot U_s$
	Regulación del ciclo de los nutrientes	Nutrientes (NPK)	Cantidad física de nutrientes encontrados en la biomasa viva, biomasa muerta y materia orgánica del suelo	$E_n = NBVI_n + NBMU_n + NBS_n$
	Purificación del agua y tratamiento de residuos	Agua	Cantidad física de agua que potencialmente puede ser tratada (o purificada) en los ecosistemas	$A_a = Ar_i + Ar_{ri}$
Servicios de aprovisionamiento	Suministro de agua	Agua	Cantidad de agua útil, según nivel de contaminación, producida por hectárea y por año	$C_{a,y} = (RN_{a,y} + FH_{a,y} \cdot ET_{a,y} \cdot DN_{a,y} \cdot FS_{a,y}) \cdot (S_{a,y})^{t-1}$
	Alimento	Animales y plantas	Cantidad del volumen de especies con uso alimenticio que puede ser "extraído" del ecosistema natural y sin detrimento de la supervivencia de la especie	$E_a = \sum_{i=1}^n q_{ai}$
	Materias primas	Madera, resinas, plantas	Cantidad de especies como materia prima para las industrias de la construcción, textil, artesanal y vivienda que puede ser "extraída" del ecosistema natural y sin detrimento de la supervivencia de la especie	$E_m = \sum_{i=1}^n q_{mi}$
	Materiales genéticos	Especies vegetales y animales	Cantidad física de especies de los cuales se pueden extraer bioproductos con alto valor agregado, los cuales pueden ser usados en la elaboración de productos farmacéuticos y cosméticos	$E_g = B_i + B_a$
Servicios de sustento	Formación de suelos	Suelo	Cantidad física de suelo al momento de hacer la evaluación inicial por hectárea	$E_s = DAP_s \cdot U_s$
	Polinización	Alimentos	Cantidad de la producción determinada por las especies polinizadoras de agroecosistemas	$EP_p = D_p \cdot Va_{ep}$
	Control biológico	Alimentos	Cuantificación de la contribución ponderada sobre el volumen de producción de un agroecosistema beneficiado por el control biológico de un ecosistema natural colindante	$S_{CB} = S_{AR} \cdot \sum_{i=1}^n P_{A_i} \cdot C_{B_{ik}}$
	Hábitat	Especies vegetales y animales	Cantidad física de especies y calidad ecológica de las especies presentes en el ecosistema al momento de hacer la evaluación inicial	$E_h = \alpha \cdot H_a + \beta \cdot H_b + \gamma \cdot H_c + \delta \cdot H_d + \epsilon \cdot H_e + B$
Servicios	Recreativos, educativos, Culturales	Sitios de interés turístico	Numero de sitios de interés para los habitantes de Tabasco y Nacionales relacionados a los valores estéticos, religiosos-espirituales, recreativos y culturales	$E_t = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$

El valor del Ecoturismo, fue estimado de la información obtenida directamente de la Hacienda La Luz. Para estimar el valor aproximado del servicio ecosistémico de ecoturismo en el sitio, se considero el número promedio de personas que visitaron la Hacienda La Luz por año hasta antes del 2020, multiplicado por el costo de ingreso promedio y dividido entre las 26 ha del cacaotal. La información fue proporcionada por la Lic. Parizot, propietaria de la Hacienda.

El valor económico estimado del servicio ecosistémico se presenta en dólares por unidad de superficie por año (USD ha-1 año-1). Para conocer el valor total de los

servicios en la Hacienda La Luz, se multiplicó por el total de hectáreas que corresponden al sistema agroforestal de cacao (26 ha).

5.4 Carbono de la biomasa arbórea del cacaotal de la Hacienda La Luz

Para la estimación del carbono contenido en la vegetación del cacaotal de la Hacienda La Luz se utilizó la información generada durante los censos de los dos cuadrantes de 500 m² y de las cuatro parcelas de 1.0 m² para vegetación del sotobosque. En total se estimó el contenido de carbono en tres componentes: biomasa aérea de los árboles, biomasa radicular de los árboles y biomasa aérea de las plantas del sotobosque. La información de cada uno de los individuos muestreados en los dos cuadrantes de 500 m² se presenta en los Anexos 2 y 3.

La cuantificación de la biomasa aérea de los árboles de sombra se estimó usando las mediciones de campo y la ecuación propuesta por Chave *et al.* (2014), la cual se describe como: $B = 0.0673 * (\rho D^2 H)^{0.976}$, en donde B es la biomasa aérea estimada (kg), D es el diámetro normal (cm), H es la altura total (m) y ρ es la densidad de la madera de cada una de las especies identificadas (g cm⁻³). Los datos sobre la densidad de la madera se obtuvieron de estudios previos, los cuales se presentan por especie en el Anexo 6.

La biomasa arbórea para los árboles de cacao se estimó usando las mediciones de campo y la ecuación $\text{Log } B = -1.684 + 2.158 * \text{Log } (d_{30}) + 0.892 * \text{Log } (H)$, consultada en Cerda *et al.* (2013), en donde B es la biomasa (kg); d_{30} es el diámetro (cm) del tronco a 30 cm del suelo y H es la altura total del árbol de cacao (m).

La biomasa del sotobosque fue cuantificada cosechando toda la porción aérea de las plantas que se encontraban dentro de los cuatro cuadros de 1 m², la cual se etiquetó en bolsas de papel, secándose primero a la intemperie y posteriormente se introdujeron a una secadora botánica durante tres días a una temperatura promedio de a 70° C y se pesó en seco obteniéndose así la biomasa aérea del sotobosque.

Para esas biomásas calculadas por árbol medido y por parcelas de vegetación del sotobosque, se estimó el contenido de carbono, expresándolo en Mg C/ha (aunque en la literatura también se expresa en ton C/ha, recordando que 1 MegaGramo = 1 ton) empleando la ecuación $C = B*FC$ (Penman *et al.*, 2003; Cerda *et al.*, 2013), donde C es el carbono en la biomasa arbórea (kg), B es la biomasa arbórea (kg) y FC es el factor de la fracción de carbono, que se considera igual a 0.5.

La biomasa abajo del suelo o de raíces, se estimó con el modelo desarrollado por Cairns *et al.* (1997) y recomendado por el IPCC (2003), que emplea la biomasa aérea:

$$Br = e^{(-1.0587 + 0.8836*Ln(BA))}$$

Donde, Br es la biomasa bajo el suelo (t/ha) y BA es la biomasa aérea (t/ha)

Considerando el servicios de captura de carbono, la unidad de medida común para el carbono como producto es CO_2 equivalente (CO_2 -eq¹). Los GEI se convierten en equivalentes del CO_2 , de esta manera se comercializan en los mercados de carbono. La moneda utilizada son los créditos de carbono. La cuantificación en términos de CO_2e (bióxido de carbono equivalente) se realizó usando una constante de 3.67 que consiste en la relación de pesos moleculares del CO_2 y el Carbono (IPCC, 2006).

5.5 Posibilidades de participación de la Hacienda La Luz en los mercados de carbono.

La hacienda cuenta con 26 ha de cacaotal, inmerso en la cabecera municipal del municipio de Comalcalco. Para evaluar las oportunidades de participación de la Hacienda en los mercados de Carbono, se consultó información sobre el desarrollo de proyectos para la comercialización de bonos de Carbono. Las principales fuentes de información incluyeron: literatura científica, páginas en línea de fondos climáticos, mecanismos de mercado, metodologías y estándares de carbono.

6. RESULTADOS

6.1 Muestreo de vegetación

Este punto comprende dos actividades: identificación de especies (listado) arbóreas y herbáceas presentes dentro del cacaotal, y descripción de las condiciones actuales del cacaotal.

6.1.1. Diversidad de especies de flora

Dentro del espacio del cacaotal de la Hacienda La Luz se contabilizaron 76 especies, entre arbóreas, bejucos, epífitas y herbáceas. En el Anexo 1 se presenta el listado de las especies encontradas. En campo fue posible identificar a la mayoría de las especies establecidas en el cacaotal, y para 15 especies se tomaron muestras botánicas de plantas con la finalidad de ratificar la identificación o determinar la especie. Estas colectas botánicas se procesaron en el herbario de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Las 76 especies encontradas, se agrupan en 72 géneros, de los cuales 69 están representados por una sola especie, 2 géneros (*Heliconia* y *Thelypteris*) están representadas por dos especies y del género *Ficus* se identificaron 3 especies (Figura 6).

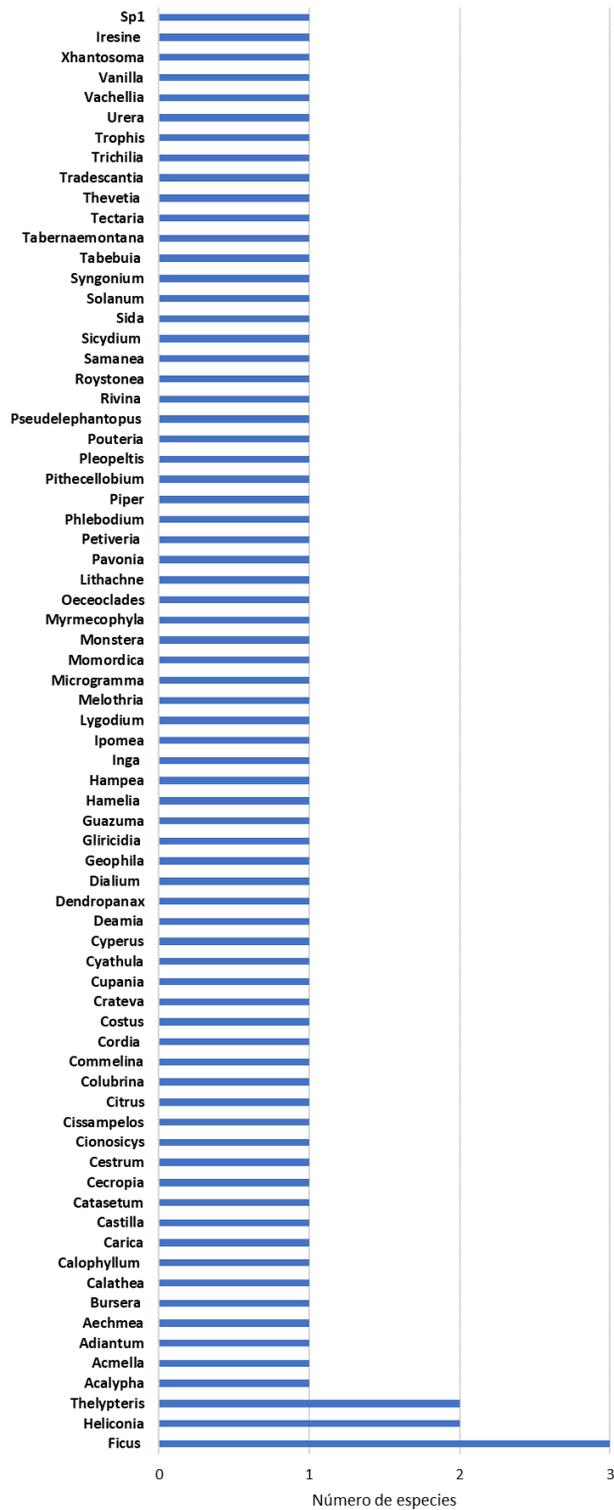


Figura 6. Listado de géneros botánicos encontrados en la vegetación de la Hacienda La Luz.

Las especies encontradas se agrupan en siete formas biológicas (Figura 7): 28 son árboles, 6 son arbustos, una palma, 3 son hierbas, 7 son trepadoras, 7 son epífitas, y 3 son hemiepífitas (en muchos estudios no se diferencia entre epífitas y hemiepífitas, agrupándolas todas como epífitas).

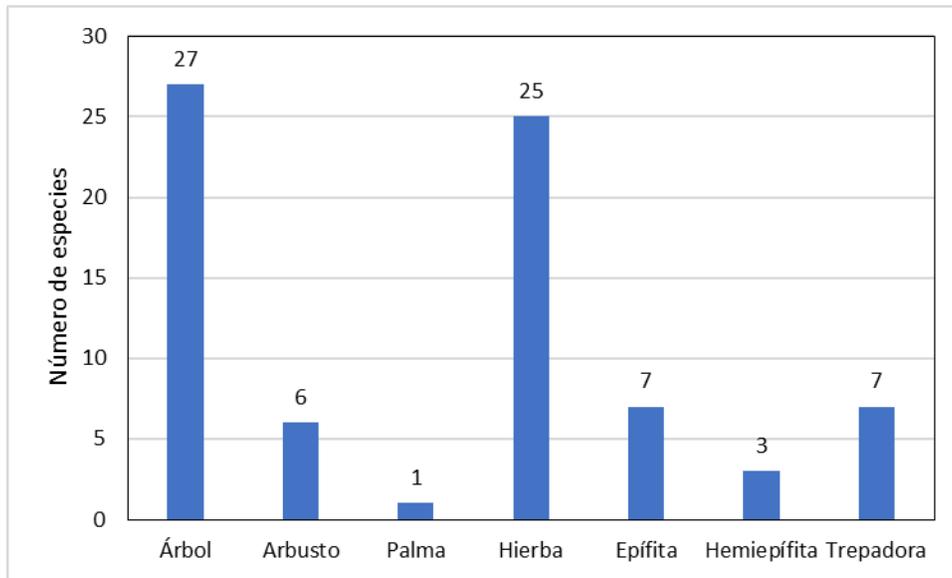


Figura 7. Formas biológicas encontradas dentro del cacaotal de la Hacienda La Luz.

En cuanto a familias botánicas encontradas, se determinaron un total de 42, de las cuales la familia Fabaceae y Moraceae son las más abundantes (figura 8), con 6 y 5 especies respectivamente. De las 76 especies encontradas, 5 son introducidas 70 son nativas y una especie no ha sido posible determinarla taxonómicamente.

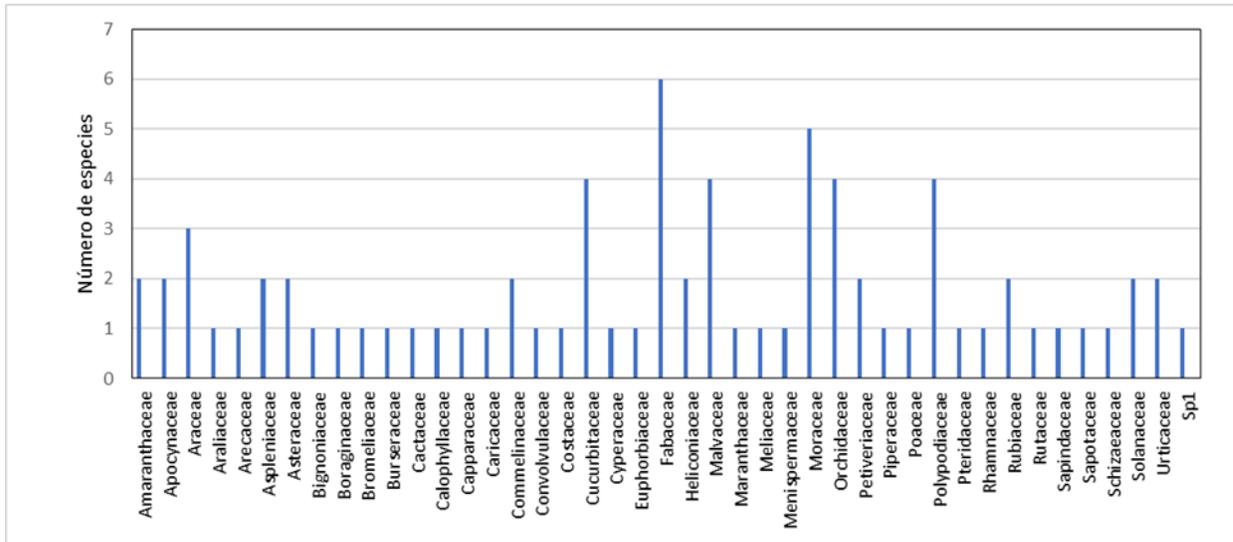


Figura 8. Distribución de especies por familia botánica dentro del cacaotal de la Hacienda La Luz.

La importancia biológica de la biodiversidad vegetal es fortalecida por la legislación ambiental de nuestro país, y dentro del cacaotal estudiado se encontraron, en apego a la NOM-059-SEMARNAT-2010, dos especies en la categoría de Amenazadas (A) y tres en la categoría de Sujetas a Protección Especial (cuadro 4). De estas especies, *Monstera tuberculata* es la de mayor presencia y las restantes se detectaron con presencia muy aislada.

Cuadro 4. Especies sujetas a alguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Familia	Nombre científico	Categoría NOM-059-SEMARNAT-2010
Araceae	<i>Monstera tuberculata</i> Lundell	A
Arecaceae	<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	Pr
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	A
Rubiaceae	<i>Hamelia rovirosae</i> Wernham	Pr
Orchidaceae	<i>Vanilla planifolia</i> Andrews	Pr

Amenazadas (A)

Sujetas a protección especial (Pr)

6.1.2. Descripción de las condiciones actuales del cacaotal

El cacaotal de la Hacienda La Luz es una plantación con un manejo básicamente manual, y sin uso de agroquímicos, en la que se ha dejado crecer libremente a las especies de sombra asociadas, lo cual permite que la fauna del área tenga mejores y más diversos hábitats. En voz de la Lic. Ana Beatriz Parizot Wolter, el fin central de la Hacienda La Luz no es obtener altos rendimientos, sino conservar la biodiversidad existente en el espacio ocupado por el cacaotal. Aspectos relevantes de las condiciones actuales de la vegetación de este cacaotal son las siguientes:

a) El número promedio de individuos en los cuadrantes de 500 m² es de 22 árboles de cacao (440 árboles /ha), 10 árboles de diversas especies arbóreas, diferentes al cacao (200 árboles/ha), 13 individuos de epífitas (260 individuos/ha) y 42 plantas/m² en el sotobosque (420,000 individuos/ha).

b) En relación a la altura media de los grupos muestreados, sobresale la de los árboles de sombra con un promedio de 16.36 m, con valores mínimos de 6.37 m y máximos de 34.90 m. En el caso del cacao, aunque es una población de muchos años, la altura de las plantas tiene una media de 6.32 m (con un rango entre 2.41 y 8.96 m), en buena medida porque los árboles más viejos se han caído o muerto y existen muchas plantas jóvenes producto de semillas que se han dispersado en el área o que son de rebrotes de tallos viejos. Las epífitas se encuentran preferentemente sobre los árboles de sombra y alcanzan alturas promedio de 9.41 m (en un rango de 3.51 a 15.3 m). El sotobosque continuamente está sujeto a limpieza o chapeo por lo cual la altura media de las plantas ahí encontradas fue de 0.20 m (Figura 9).

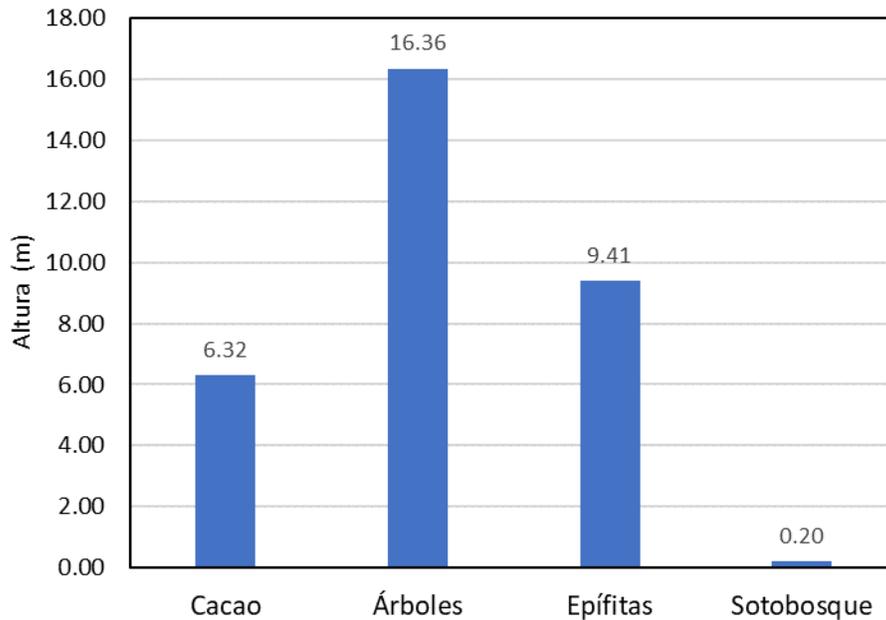


Figura 9. Altura promedio de grupos de especies encontradas en el cacaotal de la Hacienda La Luz

c) Información básica para la estimación de carbono acumulado en la biomasa aérea del cacao y árboles de sombra es el área basal que, siguiendo el método propuesto por Salvador-Morales et al., (2019), se midió en el tallo de cacao a 0.3 m sobre el suelo y en los restantes árboles a 1.30 m sobre el suelo. El área basal promedio por árbol de cacao fue de 274.0206 cm² (0.02740206 m²) que extrapolado a una ha representa una superficie de 12.0569 m². En el caso de los árboles de sombra el área basal media es de 2,434.1671 cm² (0.24341671 m²) que extrapolado a una ha representa una superficie de 48.6833 m² (Figura 10).

Cuadro 5. Medidas dasométricas (diámetro del tallo y altura) de los árboles de cacao y de sombra en el cacaotal de la Hacienda La Luz.

Característica	Árboles de cacao		Arboles de sombra	
	Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)
Media	17.32	6.32	29.90	16.36
Valor Mínimo	3.57	2.41	2.23	6.37
Valor Máximo	34.22	8.96	125.73	34.90
Rango	30.65	6.55	123.50	28.53

Cuadro 6. Medidas dasométricas (área basal y de copa, así como diámetro del tronco y copa) de los árboles de cacao y de sombra en el cacaotal de la Hacienda La Luz.

Variable	Arboles de cacao	Árboles de sombra
Área basal media (cm ²)	274.02	2,434.17
Área de copa (m ²)	27.65	129.05
Diámetro medio del tronco (cm)	18.68	55.67
Diámetro medio de copa (m)	5.93	12.82

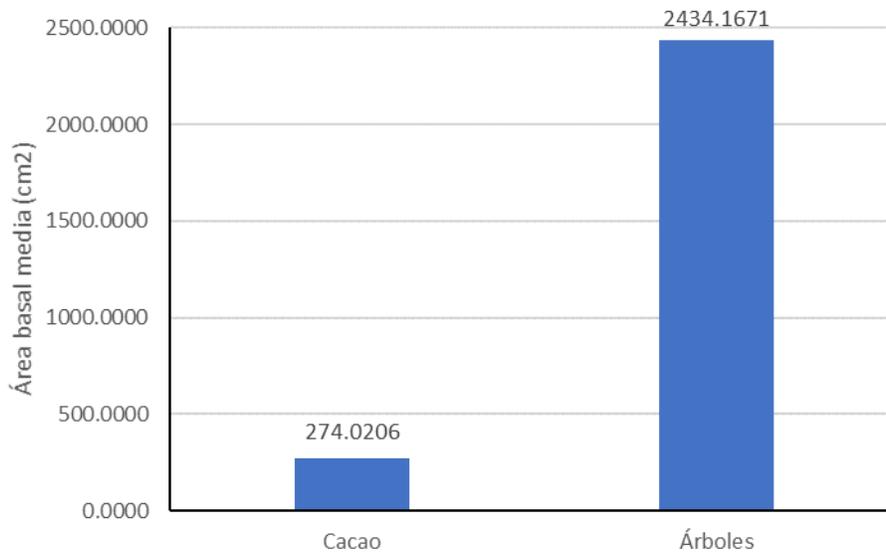


Figura 10. Área basal promedio de los árboles de cacao y sombra en el cacaotal de la Hacienda La Luz.

d) Las coberturas de los árboles evidencian la estratificación de la vegetación del cacaotal. Los árboles de sombra que sobresalen hasta más de 30 m de altura, como es el caso del Samán, tienen una cobertura media de 129.0508 m², que extrapolado a una ha representa una cobertura de 25,810.16 m² (2.28 veces la superficie de una ha), y en el caso del cacao, que se encuentra como un estrato medio, debajo de los árboles de sombra, en promedio sus árboles tienen una cobertura de 27.6513 m², que extrapolado a una ha representa 12,166.572 m² (equivalente a 1.21 has) (Figura 11).

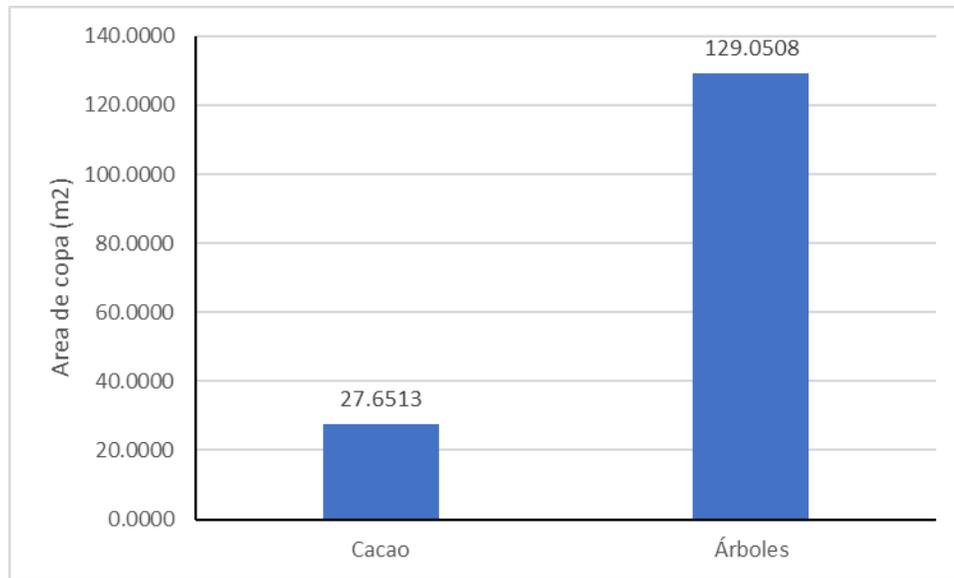


Figura 11. Cobertura promedio de los árboles de cacao y sombra en el cacaotal de la Hacienda La Luz

6.2 Muestreo de fauna

6.2.1 Aves

Un total de 21 puntos de conteo fueron realizados, en los cuales se registraron 145 individuos correspondientes a nueve órdenes, 21 familias y 40 especies de aves (Anexo 7). De acuerdo al estimador de cobertura Chao 1, se registró el 83.7% de las especies esperadas.

El orden Passeriformes acumuló el 66% del total de individuos muestreados, así como el 65% de la riqueza total de aves. A nivel de familias, Parulidae destacó debido a que representó el 20% de la riqueza de especies, seguida de Tyrannidae (12.5%). En número de individuos, Parulidae y Columbidae registraron la misma cantidad de individuos, seguidas de Icteridae, Turdidae y Tyrannidae (Figura 12). La especie más abundante fue *Patagioenas flavirostris* (n=17) seguida de *Turdus grayi* (n=13). Seis especies (incluida *P. flavirostris*) fueron observadas o registradas en todos los muestreos, es decir, tuvieron una alta frecuencia de ocurrencia. De la misma forma, seis especies fueron registradas exclusivamente en recorridos

especiales u ocasionales, mientras se recorrió el sitio. Éstas fueron: *Thraupis abbas*, *Icterus cucullatus*, *Dumetella carolinensis*, *Hylocichla mustelina*, *Zenaida asiatica* y *Notharchus hyperrhynchus*.

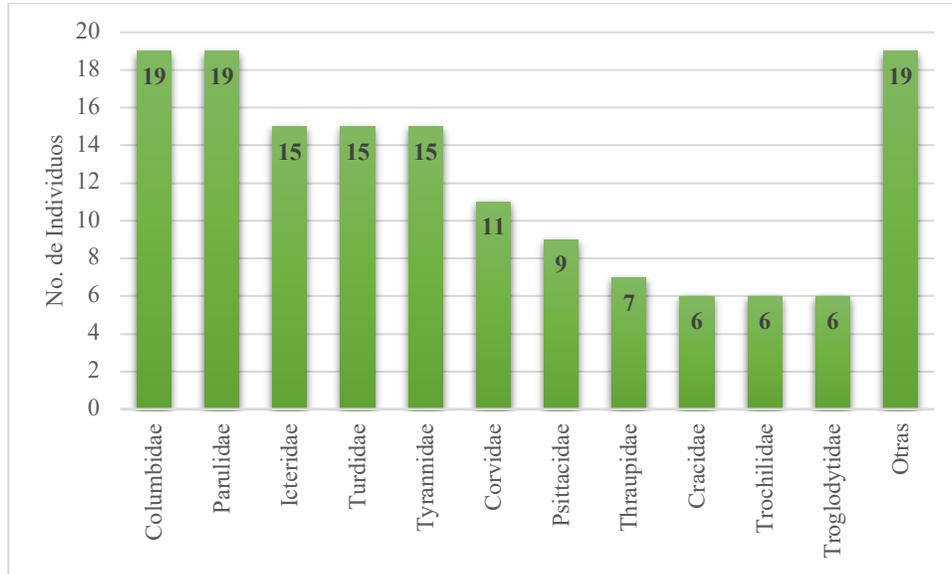


Figura 12. Familias representativas de aves tomando en cuenta el número de individuos.

La mayor parte de los individuos registrados corresponden a especies que no tienen un estrato de forrajeo específico, es decir, generalistas, que contribuyeron con 69 individuos, seguidos de las que se alimentan en estratos medios (n=55), es decir entre el sotobosque de cacao y el dosel de alto de los árboles de sombra. Estas dos categorías igualmente fueron las más ricas en especies (n=13, ambas). Sólo se encontraron cuatro especies especializadas en estrato de sotobosque, es decir, el cacao; mientras que cinco fueron especialistas de suelo, misma cantidad de especies registradas para el dosel de los árboles de sombra.

Con respecto a la preferencia del hábitat, la mayor parte de los registros corresponden a especies generalistas, que contribuyeron con 43.5% de los individuos totales y 42.5% de la riqueza del sitio. Las aves que prefieren hábitats semiabiertos y aquellas con preferencia de vegetación secundaria, aportaron nueve especies cada una. Sólo dos especies fueron registradas como especialistas de

bosque: *Setophaga citrina* y *Geothlypis formosa*. De la misma forma, sólo tres especies correspondieron a especialistas de hábitats abiertos.

Se registraron 37 individuos de ocho familias y 15 especies migratorias (incluyendo *Empidonax virescens* que es transitoria). Las especies migratorias con mayor abundancia fueron *Icterus galbula*, *Setophaga petechia* y *S. ruticilla*. La comunidad de migratorias corresponde al 25.2% del total de individuos registrados y 37.5% de la riqueza en el cacaotal (Figura 13).

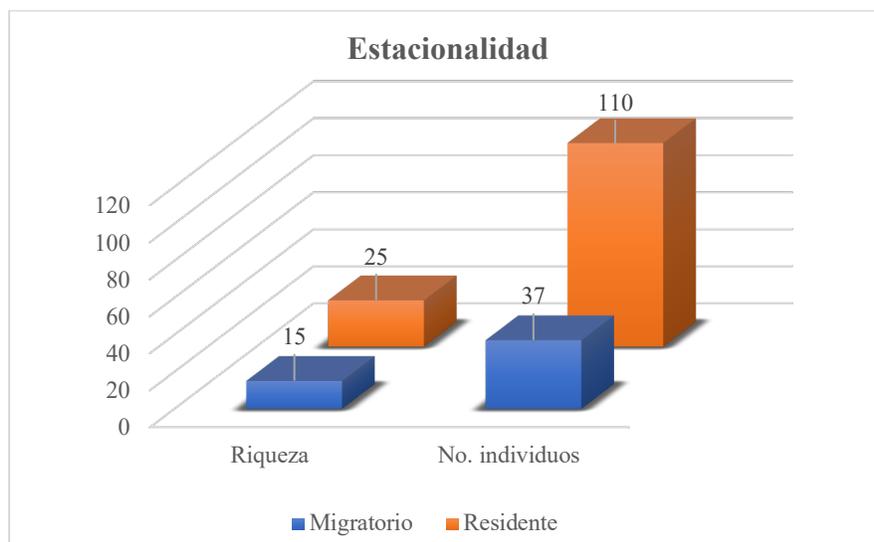


Figura 13. Riqueza y abundancia de aves migratorias y residentes en el sitio de muestreo.

Las aves registradas se agruparon en 11 gremios alimenticios. El 61.2% del total de individuos están catalogados como insectívoros de algún tipo, además que 67.5% de la riqueza de especies están dentro de esta categoría. Entre estos gremios los más abundantes fueron los insectívoros de follaje (n=33 individuos) seguido de los frugívoros arbóreos (n=32) (Figura 14).

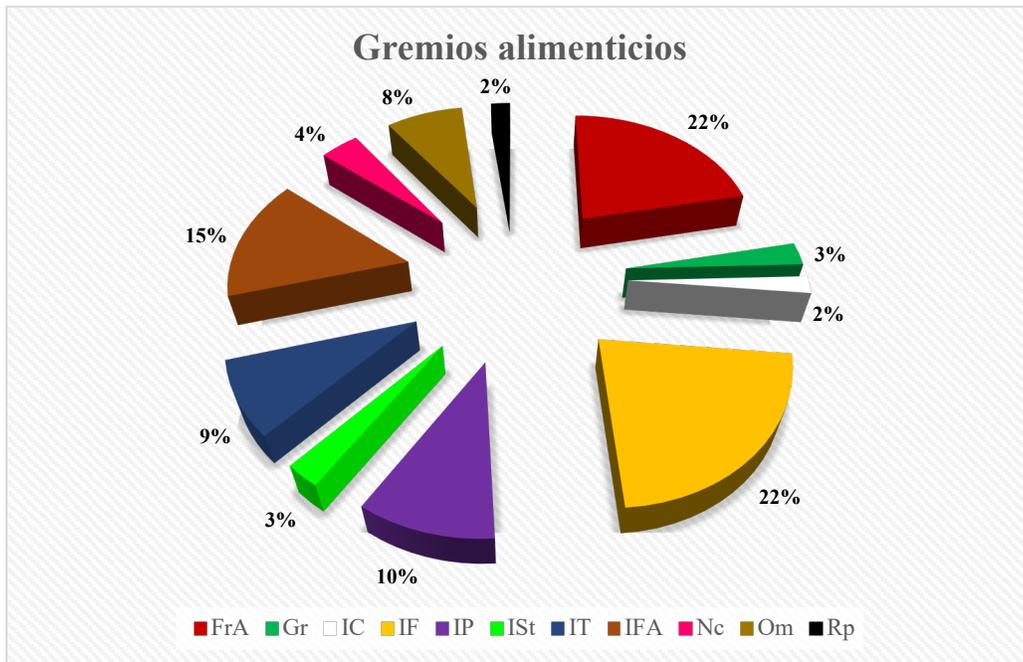


Figura 14. Distribución del número de individuos por gremios alimenticios en la Hacienda La Luz.

De las 40 especies registradas, sólo cuatro se encuentran en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Registramos *Eupsittula nana*, *Amazona albifrons* y *Pteroglossus torquatus* bajo la categoría de Sujetas a Protección Especial (Pr). Sólo una especie se reportó en la categoría de Amenazada (A): *Notharchus hyperhynchus* (Anexo 7).

6.2.2 Mamíferos

Las cámaras estuvieron activas del día del 08/10/21 a 04/12/21 (64 días). Se registró la presencia de seis especies de mamíferos (Cuadro 7; Anexo 8); sin embargo, las últimas dos semanas del muestreo, solo permanecieron 3 activas ya que una se descompuso y la otra fue robada. La especie que se registró en las cinco cámaras fue el tlacuache, *Didelphis sp.* El grisón *Galictis vittata*, se registró en una cámara. El oso hormiguero *Tamandua mexicana* se encuentran catalogada como en peligro de extinción en la norma oficial mexicana NOM-059, mientras que el grisón se encuentra en la categoría Amenazada.

Cuadro 7. Especies registradas mediante foto trapeo Hacienda La Luz.

No.	Orden	Especie	Nombre común	Gremio alimenticio	Categoría NOM_059	Cámara
1	Didelphimorphia	<i>Didelphis sp.</i>	Tlacuache	Omnívoro		1,2,3,4,5
2	Didelphimorphia	<i>Philander opossum</i>	Tlacuache cuatro ojos	Omnívoro		1, 2
3	Pilosa	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	Insectívoro	En peligro de extinción	2, 4, 5
4	Cingulata	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo	Insectívoro		4, 5
5	Lagomorpha	<i>Sylvilagus sp</i>	Conejo	Herbívoro		3, 4
6	Carnivora	<i>Galictis vittata</i>	Grisón	Carnívoro	Amenazada	3

Censo de monos saraguatos o aulladores de manto

En total se encontraron 80 individuos de monos saraguatos (*Alouatta palliata*) repartidos en las siguientes agrupaciones: tres grupos con un número mayor a tres individuos, una pareja macho-hembra y una pareja macho-macho. Descartando las parejas, el promedio de individuos por grupo fue 25.3 (en un rango de 4 a 40 individuos). El promedio de la densidad fue 3.1 individuos/hectárea.

En relación con la composición de sexo y edad, 23 individuos son machos, 35 hembras, 9 juveniles y 13 infantes (Cuadro 8). La estructura poblacional mostró una relación de hembra-macho de 1:1.5, hembra-juvenil de 1:3.9, hembra-infante de 1: 2.7. La estructura poblacional mostró una relación de hembra-macho de 1:1.5, hembra-juvenil de 1:3.9, hembra-infante de 1: 2.7.

Cuadro 8. Estructura poblacional de los monos saraguatos en la Hacienda La Luz

	Hembras	Machos	Juvenil	Infante	Total
Grupo 1	17	9	7	7	40
Grupo 2	15	9	2	6	32
Grupo 3	2	2	0	0	4
Par 1	0	2	0	0	2
Par 2	1	1	0	0	2
Número de individuos	35	23	9	13	80

6.3 Servicios ecosistémicos identificados en el cacaotal de la Hacienda La Luz

En los sistemas agroforestales de cacao, los servicios ecosistémicos están principalmente asociados con los árboles de sombra, especialmente cuando es comparado con otro tipo de usos de suelo (Franzen y Borgerhoff, 2007), sin cobertura arborea o de monocultivo. El multi-estrato del cacao (estrato vertical: piso, bajo, medio y alto) incluye especies maderables, frutales y especies forestales nativas, que también contribuyen en la conservación de la biodiversidad como hábitat para aves, mamíferos y otras especies (Jose, 2009; Vaast y Somarriba, 2014).

En la literatura se identificaron 28 servicios ecosistémicos que potencialmente puede proveer el agrosistema forestal de cacao (Cuadro 9): servicios de regulación como fijación de carbono, reciclaje de los elementos nutritivos del suelo, protección del suelos de la erosión hídrica y eólica, protección de cuencas; servicios de aprovisionamiento como retención de agua, provisión de alimento, materias primas, material genético; servicios de sustento como formación de suelos, polinización, control biológico, hábitat (refugio y anidación) y los servicios culturales, donde se incluye el ecoturismo, principalmente.

Las aves neotropicales proveen una variedad de servicios como: abastecimiento: huevos y carne para alimento, plumas; regulación: polinización, control de plagas, dispersión de semillas; de apoyo: ciclo de nutrientes, creación de oquedades (modificación del hábitat); y culturales: mascotas, recreación y observación, cacería, arte, fotografía (Michel et al., 2020; Whelan et al. 2015; Sekercioglu, 2006). Entre los servicios ecosistémicos más destacados de las aves está la polinización (Wenny et al., 2015). La familia Trochilidae es una de las más importantes en cuanto a servicio de polinización, con más de 330 especies y clasificadas como altamente especializadas en las regiones tropicales. En sistemas de cultivo, las aves contribuyen a polinizar especies de importancia económica como *Carica papaya* y *Annanas comosus* (Michel et al. 2020). En países tropicales como el nuestro, las aves proporcionan un servicio ecosistémico de suma relevancia: el control natural de plagas en cultivos (Şekercioglu, 2012; Maas et al. 2017). El valor del control de

plagas por las aves en cultivos puede ser cuantificable si tomamos en cuenta los costos evitados por el uso de pesticidas o la reducción de rendimiento de los cultivos (Wenny et al., 2015). En el caso de cacaotales, las aves tienen un efecto notorio en la reducción de plagas y disminución de los daños a esta plantación (Maas et al., 2013, 2015; Van Bael, et al., 2007). En conjunción con los murciélagos, se ha observado que las aves reducen la incidencia de plagas en cacao hasta un 31% (Cassano et al., 2016; Maas et al., 2013, 2015, 2017).

Así mismo se ha recalcado la importancia de grandes mamíferos en la participación en el ciclo de nutrientes, flujo de energía y procesos ecológicos primarios en los ecosistemas. Mientras que los mamíferos pequeños contribuyen al bienestar humano, ayudando en la polinización, el control de plagas, dispersión de semillas y la bioturbación de los suelos (Meltzer, Matsubara y Lee, 1989).

De las especies registradas en el muestreo 32 (principalmente aves) participan en la regulación de organismos perjudiciales (control de malezas, plagas, enfermedades) y 17 la dispersión de semillas.

Cuadro 9. Servicios ecosistémicos identificados en el cacaotal.

Categoría	Servicio ecosistémico (NCP)	Literatura	Encuestas
Provisión	Producción de alimento (grano de cacao y otras plantas)	X	X
	Provisión de animales de caza como alimento	X	X
	Producción de miel	X	X
	Producción de animales de corral como alimento		
	Producción de madera	X	X
	Producción de leña	X	X
	Provisión de plantas medicinales	X	X
	Agua fresca y limpia	X	
	Provisión de forraje y abono verde		X
	Materias primas (como resinas)	X	X
Regulación	Regulación de la calidad del aire	X	X
	Regulación del clima (microclima y captura de carbono)	X	X
	Regulación de la calidad del agua	X	
	Formación y protección de suelos.	X	X
	Regulación de contingencias (eventos hidrometeorológicos extremos, protección contra viento e inundaciones)	X	

	Regulación de organismos perjudiciales (control de malezas, plagas, enfermedades)	x	x
	Polinización y dispersión de semillas.	x	x
	Creación y mantenimiento de hábitats	x	x
Culturales	Estética e inspiración	x	x
	Valor espiritual y religioso	x	
	Sentido de lugar o pertenencia (arraigo, identidad cultural)	x	x
	Patrimonio cultural (tradiciones y costumbres)	x	x
	Recreación y ecoturismo	x	x
Soporte	Alimento (polen y néctar)	x	x
	Hábitat disponible para vida silvestre (Refugio, alimentación o forrajeo, anidación, crianza)	x	x
	Conservación de biodiversidad	x	x
	Calidad del hábitat	x	x
	Mantenimiento de variedades locales (diversidad genética)	x	

Cuadro 10. Número de especies registradas en las plantaciones de cacao en la Chontalpa. Fuente: Ibarra *et al.*, 2001; Greenberg *et al.*, 2000, Perez de la Cruz, 2009, Valdez-Leal *et al.*, 2011. Perez de la Cruz, 2019, muestreos y entrevistas de este estudio.

Grupo taxonómico	Número de Especies		
	Literatura	Muestreo	Entrevistas
Plantas (árboles de sombra, maderables, frutales, etc)	64	76	40
Insectos	43	-	-
Arañas	54	-	-
Anfibios	14	-	4
Reptiles	16	-	10
Aves	118	40	19
Mamíferos	23	8	10

Entrevistas

Se entrevistaron a cinco trabajadores de la Hacienda La Luz, uno labora en el área de la ganadería, uno trabaja en la ganadería y cosecha del cacao, dos trabajan en la fábrica supervisando la producción de los chocolates y sus derivados, y la última persona trabaja haciendo los recorridos interpretativos turísticos. A través de la encuesta se evaluaron las cuatro categorías de servicios ecosistémicos: provisión, de soporte, regulación y culturales. Además, se evaluó la percepción ante las

oportunidades y amenazas que enfrente el cacao. La copia de las entrevistas se envía con este informe (en carpeta separada).

La información obtenida por servicio fue la siguiente:

Servicios de Provisión. De los cinco entrevistados, los que trabajan en el cacaotal mencionan que dentro del cacaotal cuentan con sangrías que ayudan a drenar el agua en época de lluvias. Así mismo identifican que la Hacienda está dividida en tres áreas principalmente, el cacaotal, el pastizal y el fragmento de selva o reserva ecológica, como ellos la nombran (Figura 15). En el cacaotal los árboles tienen un arreglo en forma de cuadro con una distancia entre árboles de cacao de 5 m aproximadamente. De los árboles de sombra plantados los trabajadores reconocieron 46 especies. De estos árboles mencionan que la naranja, el mango y el samán aportan polen para que las abejas produzcan miel. Como uso medicinal o remedio se pueden utilizar la canela, la vainilla, hoja de chicozapote, el sanalotó y el palo mulato. El hule fue la única especie del que puedan obtener algún líquido o goma que se utilice ya sea como medicina, o resistol.

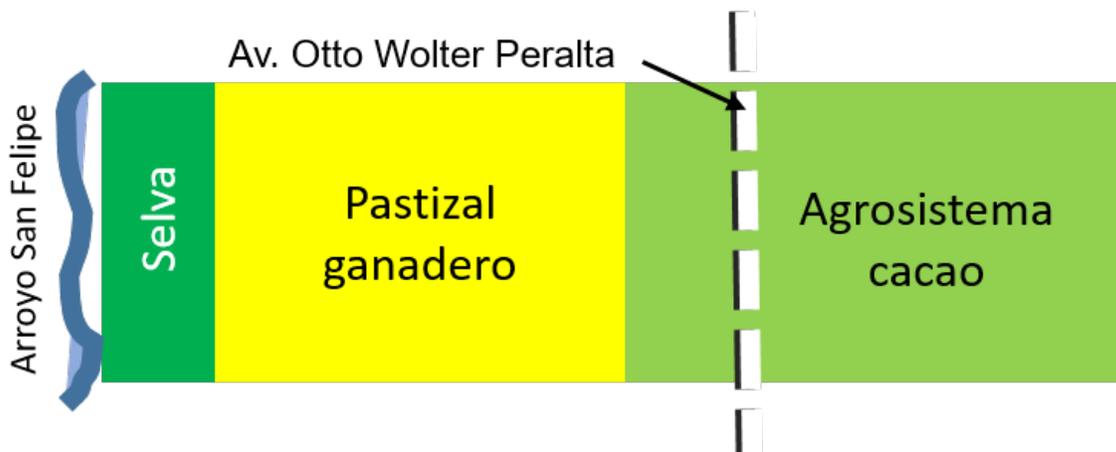


Figura 15. Organización y arreglo general de la Hacienda la Luz de acuerdo a los trabajadores *Servicios de soporte*. Del catálogo de animales que se les mostró a los trabajadores, identificaron 45 especies. De estos los que ven con más frecuencia y con nidos y/o crías son las ardillas, las iguanas, los tlacuaches y los monos. Así mismo mencionan que la ardilla y el mono son los animales que más causan daños en el agrosistema;

la ardilla se come el cacao y los frutos de otras especies, mientras que los monos consumen los productos de otros árboles frutales.

Servicios de Regulación. Uno de los trabajadores menciona que los monos y ardillas ayudan a fertilizar el suelo. Los que depredan organismos plagas son las boas e iguanas. Los animales que ayudan en la dispersión de semillas son las aves, de estas los colibrís ayudan en la polinización de las plantas. Los entrevistados coinciden en que el agrosistema de cacao ayuda la regulación del clima, la calidad del aire, y a que el suelo sea más fértil y se conserve.

Servicios culturales. Los cinco entrevistados concuerdan que el cacao es parte de sus tradiciones y cultura, representa identidad, sentido de pertenecía. Además, consideran que es agradable trabajar cerca o dentro del agrosistema pues les inspira y da tranquilidad. Sin embargo, reconocen que en la actualidad los jóvenes muestran poco interés por el cacao, desconocen el proceso de producción, cosecha y como se transforma en chocolate y sus derivados. De las actividades tradicionales que se realizan el estado en torno al cacao el más conocido es el Festival del Chocolate; a nivel municipal mencionan la "Enrama" como una tradición que se está perdiendo debido al cambio de cosmovisión de las nuevas generaciones. De las actividades culturales que se pueden realizar dentro del cacao concuerdan que los recorridos interpretativos son una buena opción, así como el turismo paisajístico y los talleres de elaboración del chocolate.

Amenazas. Para los trabajadores la amenaza principal que enfrenta el agrosistema de cacao es la presencia de plagas y enfermedades por el cambio climático. Las siguientes amenazas son el desánimo de los productores, y la migración y desinterés de las nuevas generaciones. También tres de ellos menciona que la reconversión a otros cultivos menos amigables con el ambiente afecta. Además, uno de ellos acentuó que la baja producción del cacao, falta de apoyo del gobierno, plantaciones viejas afecta también es una amenaza.

Oportunidades. Los cinco entrevistados coinciden que las principales oportunidades que tiene u ofrece el cacao son el aumento en la tendencia en el consumo del

chocolate, la preferencia por el Chocolate fino y de aroma valorado en los mercados internacionales. Tres trabajadores también consideran la venta de servicios ambientales y la elaboración de productos orgánicos.

Valoración económica de los servicios ecosistémicos de la Hacienda La Luz

Se consideraron los valores económicos de 14 servicios ecosistémicos que coincidieron con los estimados en el estudio referido (Vázquez-Navarrete *et al.*, 2011), los cuales pertenecían a las categorías de regulación, provisión y sustento. El cálculo del valor económico del servicio cultural de ecoturismo se obtuvo con información del sitio. Se tomó el valor estimado del servicio ecosistémico calculado en dólares por unidad de superficie por año (USD ha⁻¹ año⁻¹). Los valores promedio se muestran en el Cuadro 11, se incluye también el valor para el total de la hectáreas de la Hacienda.

Por categoría de servicio ecosistémico, el cultural fue el que más valor aportó con 2,076.92 USD ha⁻¹ año⁻¹, seguido de los servicios de provisión, soporte y regulación. Por tipo de servicio, después del ecoturismo, la producción de alimentos es el que más contribuye al valor total, seguido de la retención de sedimentos y suelo.

Cuadro 11. Valor económico de servicios ecosistémicos en la Hacienda la Luz. Los valores de referencia Vazquez-Navarrete et al., 2011) excepto Ecoturismo.

Categoría	Tipo de servicio	Valor USD/ha/año	Valor USD/ha/año Hacienda La Luz (26 ha)
Regulación	Regulación del clima	74.3	1931.8
Regulación	Regulación de contingencias	1.7	44.2
Regulación	Regulación del agua	2	52
Regulación	Retención de sedimentos y suelo	307.3	7989.8
Regulación	Tratamiento de agua	3.3	85.8
Regulación	Control Biológico	23	598
Provisión	Suministro de agua	81.7	2124.2
Provisión	Producción de alimentos	709.8	18454.8
Provisión	Materias primas	105	2730
Provisión	Recursos genéticos	13.7	356.2
Soporte	Formación de suelo	29	754

Categoría	Tipo de servicio	Valor USD/ha/año	Valor USD/ha/año Hacienda La Luz (26 ha)
Soporte	Ciclo de nutrientes	2.7	70.2
Soporte	Polinización	25	650
Soporte	Hábitat	16	416
Cultural	Ecoturismo	2076.92	53999.92
	Total	3471.42	90256.92

El valor total estimado de los servicios ecosistémicos del sistema agroforestal de la Hacienda La luz fue de \$90,256.92 de USD. Si bien la producción y precio del cacao puede variar anualmente, el valor de los otros servicios agrega valor a todo el sistema agroforestal. Esta información resalta la importancia de los servicios ecosistémicos que proveen los cacaotales, para que puedan ser considerados en las certificaciones de biodiversidad y bonos de carbono.

6.4 Captura de Carbono

6.4.1. Biomasa de la vegetación

La estimación de biomasa se realizó de forma tanto para la vegetación arbórea (árboles y arbustos) como del sotobosque. La biomasa arbórea se diferenció entre la contenida en el árbol de cacao y la de los árboles de sombra.

En promedio la cantidad de biomasa en la parte aérea del árbol de cacao fue de 58.69 kg/árbol, con un rango que fluctuó entre 0.90 kg y 206.71 kg. En el caso de los árboles de sombra el contenido medio de biomasa fue de 1,520.70 kg fluctuando entre 1.13 kg y 12,624.75 kg (esto en individuos de Samán).

En la parte radical, la biomasa promedio por árbol de cacao fue de 12.32 kg con un rango entre 0.32 y 38.55 kg, acumulándose un total de 4,803.48 kg/ha, y en el caso de los árboles de sombra la biomasa media por árbol fue de 181.84 kg, fluctuando entre 0.39 y 1,458.99 kg, acumulándose un total de 38,368.613 kg/ha (Cuadro 12).

En el caso de la vegetación de sotobosque, la medición se realizó usando el promedio de las cuatro muestras de un m² cada una, obteniéndose un promedio de

789 kg/ha, aunque considerando por separado cada una de las cuatro muestras, esta biomasa fluctuaría entre 219 y 2,048 kg/ha.

En total, la biomasa estimada en una hectárea del cacaotal de la Hacienda La Luz, incluyendo los componentes aéreo, radicular y sotobosque, es de 370.2 Ton/ha.

Cuadro 12. Biomasa acumulada en la parte aérea y subterránea de los árboles de cacao y de sombra en la Hacienda La Luz.

Característica	Biomasa aérea (kg/árbol)		Biomasa de raíces (kg/árbol)	
	Árboles de cacao	Árboles de sombra	Árboles de cacao	Árboles de sombra
Media	58.69	1520.70	12.32	191.84
Mínimo	0.90	1.13	0.32	0.39
Máximo	206.71	12624.75	38.55	1458.99
Rango	205.81	12623.62	38.24	1458.61

6.4.2. Contenido de carbono y CO₂ equivalente

Con las cantidades de biomasa estimadas, se calcularon los contenidos de C (en Mg C/ha) y de CO₂ equivalente (CO₂e en t/ha). Los resultados se presentan en la Cuadro 13.

Es evidente que la fracción aérea de los árboles de sombra son el componente que más C aportan en la plantación (77.89%), ya que tiene entre sus elementos árboles que pasan de medio siglo de edad, como es el caso del Samán. Las raíces del componente arbóreo (cacao más sombra) aporta el 16.05% de C y la fracción aérea de los árboles de cacao aportan el 5.86%. El aporte de la vegetación aérea del sotobosque es muy pequeño, contribuyendo solamente con el 0.2% del C del cacaotal.

En total el contenido de C/ha en el cacaotal (suma de los componentes aéreo y raíces de los árboles de sombra y arboles de cacao, así como del sotobosque; Figura 16) es de 195.25 Mg C/ha, que expresado en CO₂e corresponde a 715.40 ton/ha. Esta conversión de Mg C/ha a ton de CO₂e, se explica considerando que

la masa del CO₂ es de 44.0095 g/mol (<https://es.webqc.org/molecular-weight-of-CO2.html>), y que de esa masa 12.0107 g corresponden al C y 31.9988 g a los dos Oxígenos del CO₂, entonces los 44.0095 g de un mol de CO₂, equivaldría a 3.664 (resultando de dividir 44.0095 g/mol de CO₂ ÷ 12.0107 g/mol de C) partes de C, es decir, el peso de un mol de CO₂ (440095 g/mol) equivale a tener 3.664 veces más carbono solo que si fuera en forma de C. Por esta razón al transformar cantidades de C a cantidades de CO₂ equivalente, la primera cantidad se multiplica por el factor 3.664.

Cuadro 13. Estimaciones de los contenidos de C y CO₂e en el cacaotal de la Hacienda La Luz

Componente	Mg C/ha	CO ₂ equivalente (t/ha)
Árboles de sombra	152.07	557.19
Árboles de cacao	11.44	41.93
Sotobosque	0.39	1.45
Biomasa de raíces (vegetación arbórea)	31.34	114.83
Total	195.25	715.40

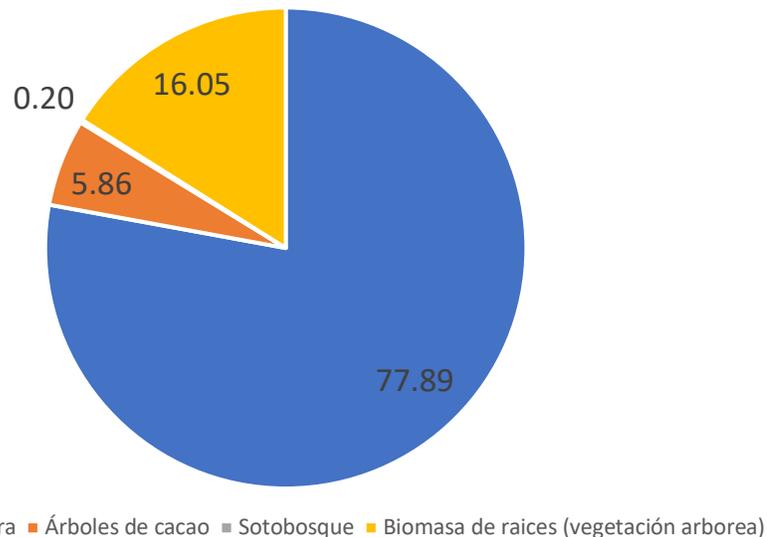


Figura 16. Distribución (en porcentaje) del C contenido en los distintos componentes evaluados de la vegetación del cacaotal de la Hacienda La Luz

6.5 Mercados Voluntarios de Carbono. Posibilidades de participación de la Hacienda La Luz.

El interés en la reducción de las emisiones de carbono para reducir el calentamiento global ha generado un aumento en la formulación de proyectos que compensen los servicios ecosistémicos que proveen la naturaleza, como por ejemplo, los proyectos de fijación y almacenamiento de carbono. Con éstos proyectos aparte de valorar los recursos naturales buscan crear alternativas económicas para los propietarios quienes muchas veces enfrentan niveles de pobreza o extrema pobreza (Castellanos et al., 2010). Como parte de las medidas críticas y costo-efectivas identificadas para reducir las emisiones globales se consideran la disminución de la deforestación y el aumento de los reservorios de carbono forestal, además de apoyar a los países en vías de desarrollo en la reducción de la pobreza y conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Eliasch, 2008). Existen numerosas vías y esfuerzos para reducir las emisiones de carbono y promover actividades que ayuden a almacenar y eliminar carbono. Esto ha hecho del carbono un valioso producto básico. Con el fin de encontrar una unidad de medida común para esta mercancía, todos los GEI se convierten en equivalentes del CO₂ (CO₂ -eq). Los CO₂ -equivalentes se comercian en los mercados de carbono, que funcionan de formaparecida a los mercados financieros. La moneda utilizada son los créditos de carbono.

La creciente demanda de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ha llevado a la creación de esquemas de comercio de emisiones a nivel internacional. El mercado de carbono, esquemas de reducción de emisiones de GEI, por medio de un comercio de emisiones entre Estados soberanos o actores del sector privado, ha experimentado un crecimiento exponencial en todo el mundo. Éste surge como una alternativa económicamente eficiente para países, empresas e individuos que quieren disminuir las emisiones de GEI en la atmósfera y favorecer la disminución de los efectos adversos del cambio climático. El Instituto de Recursos

Mundiales (WRI) define una compensación de carbono como “una unidad de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) que se reduce, evita o secuestra para compensar las emisiones que ocurren en otros lugares”.

El Acuerdo de París fortalece la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello considera: 1) Mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático; 2) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y 3) Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Un importante avance del Acuerdo de París, con respecto al Protocolo de Kyoto, fueron las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) a realizarse por los países cada cinco años (Farid et al., 2016).

El artículo 6 del Acuerdo de París, indica que los países pueden cumplir con sus contribuciones nacionales determinadas (NDC), a través del uso de “resultados de mitigación de transferencia internacional”. Sin embargo, a diferencia del MDL, estos mecanismos deben cumplir con los requisitos de: i) promover el desarrollo sostenible, ii) garantizar la integridad ambiental y transparencia, iii) asegurar la ausencia la doble contabilidad. Asimismo, este mecanismo funcionará bajo la autoridad y orientación de la Conferencia de las Partes del Acuerdo de París y parte de los fondos que se obtengan de la transacción serán utilizados para ayudar a los países en desarrollo a adaptarse a los efectos del cambio climático (UNFCCC,

2017). En el caso particular del secuestro de carbono, los mercados de carbono son en esencia globales en alcance a compradores internacionales

La agricultura y la forestación contribuyen con un 25% a las emisiones globales de GEI (Caviglia et al., 2016). La manera de reducir las emisiones puede ser por medio del cumplimiento de los mecanismos establecidos inicialmente en el Protocolo de Kyoto y actualmente en el Acuerdo de Paris, a través del desarrollo de proyectos y metodologías. Por ejemplo en el sector de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU), incluyen los requerimientos para área del proyecto, período de acreditación, categorías de proyecto elegibles, fuentes de GEI y de reservas de carbono, determinación de la línea base, cálculo de fuga y cálculo de reducciones y remociones de emisiones de GEI. Las categorías elegibles de proyectos AFOLU incluyen Forestación, Reforestación y Revegetación (ARR), Manejo de Suelos Agrícolas (ALM), Manejo Forestal Mejorado (IFM), Emisiones Reducidas por Deforestación y Degradación (REDD), Conversión Evitada de Pastizales y Matorrales (ACOGS) y Restauración y Conservación de Humedales (WRC).

Mercados voluntarios de carbono

Aunque la agricultura contribuye de manera importante al cambio climático, también proporciona diversas opciones como sumidero de carbono. Los proyectos agroforestales y de agricultura sostenible (suelos agrícolas y manejo de pastizales), han entrado dentro de este tipo de mercado. Los sistemas agroforestales como los de cacao pueden ser considerados para el desarrollo proyecto de captura de carbono.

Los mercados voluntarios, están basados en los compromisos voluntarios de empresas privadas e individuos que buscan compensar los impactos ambientales que genera su actividad productiva. Los mercados voluntarios surgen a partir de la demanda voluntaria de créditos de carbono por parte de compañías e individuos que buscan compensar sus propias emisiones (Peters-Stanley y Yin, 2013). Entre

las motivaciones de los compradores voluntarios se encuentran la responsabilidad social corporativa, razones éticas. La mayoría de las transacciones de créditos de carbono en el mercado voluntario se realizan a través de un sistema descentralizado denominado *over the counter* (OTC) que consiste en realizar contratos bilaterales entre compradores y vendedores que definen los términos de pago y entregas (Peters-Stanley y Yin, 2013). Los precios de venta de los créditos de carbono varían según el año, el tamaño del proyecto, su tipo, su ubicación, el tipo de mercado (primario o secundario) y si indican o no algún tipo de cobeneficio. Adicionalmente, de manera general, los proyectos grandes, que aportan mayores volúmenes al mercado suelen vender créditos a menores precios, mientras que los proyectos pequeños logran alcanzar mayores precios de venta (Peters-Stanley *et al.*, 2013).

Proceso de comercialización de bonos de Carbono

Un proyecto de captura de carbono forestal y de comercialización de créditos inicia con la reforestación, restauración o conservación de un predio forestal (comunal o privado, en este caso la Hacienda La Luz), con certeza legal para generar créditos de carbono. Los créditos de carbono son títulos comercializables acreditados por una agencia de certificación de proyectos de carbono. Cuando se emiten los créditos, se ponen en venta para empresas que desean compensar sus emisiones de manera voluntaria. Aunque no existe ninguna ley o reglamento que obligue a estas empresas a mitigar sus emisiones, lo hacen en el marco de su responsabilidad ambiental y social. El Acuerdo de París impulsa a los países para la emisión de compensaciones (*offsets*) forestales, incluso a nivel internacional (Organización de las Naciones Unidas, 2015). La implementación de un sistema de comercialización de emisiones entre las empresas representa una oportunidad de desarrollo para los proyectos de captura de carbono ya que considera vincular el mercado voluntario (Rontard *et al.*, 2020).

El proceso de comercialización de Bonos de Carbono se puede resumir en las siguientes etapas:

1. Diseño del Proyecto (DDP). Documento de Diseño de Proyecto que describe en detalle el diseño del proyecto y muestra como el proyecto cumple con todos los requisitos relevantes. Incluyen las siguientes etapas: Descripción del proyecto, Metodología de la línea base, Vida del proyecto y período de acreditación, Metodología y plan de monitoreo, Calculo de reducciones de emisiones de GEI, Impactos ambientales, Comentarios de partes interesadas
2. Verificación. Esta a cargo de la entidad operacional designada (DOE). Es la evaluación, periódica e independiente de las reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se hayan producido como resultado de la actividad de un proyecto de carbono. Una vez que el proyecto está registrado y en operación, se monitorea de acuerdo con el plan de monitoreo establecido en el PDD, y posteriormente la DOE verifica este monitoreo para solicitar así, la expedición de los bonos de carbono correspondientes al programa en que el proyecto ha sido registrado. La verificación es entonces una actividad periódica que se puede hacer de manera semestral, anual, o en períodos mayores.
3. Validación / Certificación. Es el proceso de evaluación independiente de un proyecto por parte de una entidad operacional designada (DOE) con base en el estándar bajo el cual se esté registrando el proyecto.
4. Registro. Los VER (Reducción Verificada de las Emisiones de Carbono) del proyecto validado se conservan en un Registro con el nombre del propietario hasta que sean comprados. Los registros de terceras partes permiten seguir la pista de todo el ciclo de vida del crédito de carbono: generación y numeración de créditos, documentos de la certificación, información del proyecto, transferencias y las últimas cancelaciones de créditos.
5. Emisión de Créditos y Comercialización. Es el proceso de creación de certificados de reducción de emisiones equivalente al volumen de reducción de emisiones de GEI generado, verificado y certificado para un proyecto de reducción de emisiones. Expedición de las Reducciones Certificadas de Emisiones (CER)
6. Cancelación de los créditos transferidos. Asegurar que las reducciones se venden una sola vez.

Un proyecto de carbono es una iniciativa que recibe financiación debido a la reducción de emisiones GEI que espera lograr, por lo que trae consigo una oportunidad financiera. Para demostrar que el proyecto logrará efectivamente una reducción real, permanente y verificable, tienen que aportarse detalles del proyecto y resultados de la actividad auditados, validados y certificados por un tercero. Se requiere de una conformación tripartita: un primer interviniente que es la empresa que promueve la iniciativa, un segundo que es la entidad financiera que proporciona la financiación, y un tercero que es una entidad de certificación reconocida. Las iniciativas de compensación valoran una colaboración entre Empresas, Industria, Comercio, Institutos de Investigación, Universidades, Comunidades y ONGs, que comparten un mismo objetivo de mitigación del Cambio Climático.

Los créditos de carbono en el mercado voluntario se denominan Reducción Verificada de las Emisiones de Carbono (VER, por sus siglas en inglés). Éstos son adquiridos principalmente por el sector privado. La Responsabilidad Social de las Empresas (ESR) y las relaciones públicas están entre las motivaciones más habituales para la compra de créditos de carbono, además de la certificación, la reputación y los beneficios ambientales y sociales. El sector privado puede comprar los créditos de carbono directamente de los proyectos, de las empresas o de los fondos de carbono (como por ejemplo el Fondo de Biocarbono del Banco Mundial).

Los certificados de reducción de emisiones (CER) pueden ser comercializados en el mercado financiero. En este contexto, el mercado de Bonos de Carbono opera de forma similar a otros mercados en función de la oferta y demanda, donde existen compradores y vendedores. La transacción de los bonos de carbono permite mitigar la generación de GEI, beneficiando a aquellas entidades que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido. Un bono de carbono se convierte en un Certificado de Emisiones Reducidas (CER) y

por lo tanto proporcional a 1ton de CO₂ equivalente que se deja de emitir a la atmósfera.

El Acuerdo de Paris (Artículo 6) establece que las naciones están autorizadas a negociar “enfoques de cooperación” para alcanzar sus NDC, incluyendo el uso de Resultados de Mitigación Transferidos Internacionalmente (ITMO). Los ITMO fueron creados con la finalidad de reemplazar otras formas existentes de bonos de carbono internacional en el nuevo marco climático internacional. En este contexto, por medio de la cooperación voluntaria entre países sobre la transferencia de sus emisiones GEI, los ITMOs son un mecanismo que contribuyen a alcanzar esta meta (UNFCCC).

Para asegurar al mercado de carbono voluntario de mayor credibilidad y uniformidad, se crearon un conjunto de estándares orientados a garantizar la calidad de los créditos voluntarios emitidos (VER). Los objetivos de los estándares y registros son (www.ecodes.org; Díaz-Cruz, 2016):

- Asegurar al comprador reducciones reales, adicionales y permanentes
- Transparencia sobre cuáles son los resultados esperados y cuál el grado de riesgo.
- Inclusión de otros posibles cobeneficios
- Asegurar que las reducciones se venden una sola vez

Entre los estándares que fomentan el desarrollo y la comercialización de proyectos de bonos de Carbono, están The Gold Standard (GS), Climate Action Reserve-California, Plan Vivo, Verified Carbon Standard – Verra (CS) y el Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB o CCBS) entre otros. En los mercados voluntarios, el Gold Stándar (GD) y el Verified Carbon Standard (VCS) son ampliamente utilizados, en conjunto con el estándar Climate, Community and Biodiversity (CCB) que certifica los cobeneficios asociados a proyectos de carbono. El CCB incluye cobeneficios para la biodiversidad y/o comunidad, además de considerar el

desarrollo de proyectos en sitios urbanos. El periodo de acreditación del proyecto es considerado largo y costoso (Cruz-Díaz, 2016)

The Gold Standard (GS) es una iniciativa independiente diseñada para asegurar que la reducción de emisiones de GEI alcanzada por proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), proyectos de Implementación Conjunta (JI) y proyectos Voluntarios sea real y verificable, y que de como resultado una contribución clara y apreciable al desarrollo sustentable. Recientemente, con la adopción del Acuerdo Climático de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), presentan un estándar de mejores prácticas para intervenciones climáticas y de desarrollo sostenible. Los

Los estándares más usados en proyectos AFOLU son: VCS, Plan Vivo y CCB. El Estandar de Carbono Voluntario (VCS-Verra) proporciona un estándar y un programa sólidos y globales para la aprobación de compensaciones voluntarias creíbles. Es una de las metodogías mas utilizadas. El VCS fue uno de los primeros estándares globales en desarrollar requerimientos robustos para acreditar proyectos AFOLU, en especial mediante Emisiones Reducidas por la Deforestación y la Degradación de Bosques (REDD). Muchos proyectos AFOLU obtienen beneficios adicionales a aquellos relacionados con reducción de emisiones de GEI, tales como protección de la biodiversidad, apoyo a comunidades locales, disminución de la pobreza rural, etc. VCS ofrece un sistema exclusivo de etiquetado (tagging) que permite que los proyectos demuestren su certificación a programas de cobeneficios como los Estándares Climate, Community & Biodiversity (Clima, Comunidad y Biodiversidad o CCB). Las compensaciones VCS deben ser reales (haberse producido), adicionales (el proyecto sólo puede implementarse por el componente de financiación del carbono), medibles, permanentes (no emisiones temporalmente desplazadas), verificadas de forma independiente y únicas (no utilizadas más que una vez para compensar emisiones). Se ha desarrollado una herramienta orientativa en relación a aspectos metodológicos de los proyectos

AFOLU y para determinar la elegibilidad de la tierra. Las actividades que contempla son:

- Forestación, Reforestación y Revegetación (ARR)
- Gestión de Tierras Agrícolas (ALM)
- Manejo Forestal Mejorado (MFI)
- Reducción de Emisiones por -Deforestación y -Degradación (REDD)
- Conversión evitada de pastizales y matorrales (ACoGS)
- Restauración y Conservación de Humedales (WRC).

El Estándar Plan Vivo apoya el desarrollo de proyectos agroforestales basados en la comunidad. Es el estándar de carbono más antiguo en el Mercado Voluntario de Carbono y ha pasado por una evolución de más de 25 años, recordando una amplia y rica experiencia de trabajo con proyectos de restauración y protección forestal liderados por pequeños propietarios y comunidades. Apoya el Pago por Servicios ambientales, los proyectos que desarrolla incluyen aforestación, conservación del bosque, restauración y deforestación evitada. Los productores que participan en el proyecto, deben estar organizados, o en proceso de organizarse, en cooperativas, asociaciones, organizaciones comunitarias u otras formas organizativas capaces de contribuir al desarrollo social y económico de sus miembros y comunidades y controladas democráticamente por los miembros

Una vez revisadas las características y guías para proponer proyectos de créditos de carbono, consideramos que el Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB) es el más adecuado para el modelo del sistema agroforestal de la Hacienda La Luz, en particular porque considera la conservación de biodiversidad, las plantaciones agroforestales, así como el enriquecimiento de plantaciones. A continuación, se mencionan algunas características del estándar CCB.

Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB o CCBS)

Los estándares del CCB se crearon para fomentar el desarrollo y la comercialización de proyectos que generen beneficios para el clima, la comunidad y la biodiversidad de manera integrada y sostenible (CCBA, 2013). Los proyectos que cumplen los Estándares adoptan las mejores prácticas para generar beneficios netos positivos para la mitigación del cambio climático, para las comunidades locales y para la biodiversidad. Los Estándares pueden aplicarse a cualquier proyecto de gestión de la tierra, incluyendo proyectos que reducen las emisiones de GEI por la deforestación y la degradación forestal o por la degradación evitada de otros ecosistemas, y proyectos que eliminan el dióxido de carbono mediante el secuestro de carbono (por ejemplo: reforestación, aforestación, revegetación, restauración de bosques y agricultura). Algunas características de este estándar son:

- Permiten un rango amplio de tipos de proyecto
- Los proyectos pueden estar en cualquier parte del mundo
- Los proyectos pueden ser de cualquier tamaño
- Los proyectos pueden tener cualquier fecha de inicio
- Pueden ser aplicados a todas las actividades basadas en la tierra que generen emisiones de GEI.
- Pueden ser utilizados en conjunto con otros estándares de contabilidad de carbono

Los créditos de los proyectos que son verificados bajo los Estándares CCB y bajo un estándar de contabilidad de carbono pueden ser etiquetados como CCB

Los Estándares CCB identifican proyectos basados en la tierra diseñados para generar reducciones robustas y confiables de gases de efecto invernadero a la vez que también generan beneficios netos positivos a las comunidades locales y la biodiversidad

Estos proyectos también deben buscar proteger a la biodiversidad y promover el desarrollo social y económico sostenible de las comunidades. Estos proyectos pueden generar medios de vida sostenibles para la población local mediante la diversificación de la agricultura, protección de suelos y agua, empleo directo, uso y

venta de productos forestales y ecoturismo. Con una planificación e implementación eficaces, todos estos resultados positivos se pueden lograr de forma eficaz con relación a los costos.

Los Estándares CCB son beneficiosos para una variedad de usuarios, entre ellos:

- 1) Formuladores de Proyecto y Comunidades Locales
- 2) Inversionistas de Proyectos y Compradores de Compensaciones
- 3) Gobiernos

Los Estándares CCB pueden aplicarse durante el ciclo de vida del proyecto para verificar la adopción de las mejores prácticas y la generación de beneficios sociales y ambientales de un proyecto de carbono basado en la tierra. Los estándares pueden combinarse en forma eficaz con un estándar de contabilización de carbono como, por ejemplo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) o el Verified Carbon Standard (VCS). En este caso, los Estándares CCB hacen posible evaluar los impactos sociales y ambientales de un proyecto, mientras que el estándar de contabilización de carbono permite la verificación y el registro de las reducciones o remociones de emisiones de gases de efecto invernadero cuantificadas. De este modo, los Estándares CCB verifican los beneficios sociales y ambientales generados por un proyecto, lo que permite a los inversionistas seleccionar créditos de carbono con beneficios adicionales.

Los Estándares CCB pueden utilizarse independientemente de la ubicación geográfica, la fecha de inicio o el tamaño de un proyecto. En el caso del cacaotal de la Hacienda La Luz, son 18,590 t de CO₂ equivalente (715 t/ha; Cuadro13). Los Estándares pueden usarse en proyectos financiados con inversión pública o privada, y se aplican a proyectos que generan créditos de carbono procedentes del mercado voluntario o de cumplimiento. Por lo tanto, se recomienda el uso de un estándar de contabilidad de carbono (como el Gold Standard, GS) en combinación con los Estándares CCB.

El proyecto debe tener como objetivo generar beneficios para el clima, la comunidad y la biodiversidad y debe estar diseñado para cumplir este objetivo. Los riesgos son identificados y gestionados para generar y mantener los beneficios del proyecto

durante y después del ciclo del proyecto. el proyecto reduce las emisiones de GEI durante el ciclo de vida del proyecto, que se derivan de las actividades del proyecto dentro del área de éste. Las actividades del proyecto por lo menos ‘no causan daño’ al bienestar de Otros Actores.

En el componente de Biodiversidad, toma como indicadores la descripción de la biodiversidad en la zona del Proyecto al inicio de éste y las amenazas para la biodiversidad, además se considera si en la zona del Proyecto hay presencia de Altos Valores de Conservación (AVC) relacionados con la biodiversidad como: áreas protegidas, especies amenazadas, especies endémicas (CCBA, 2013).

6.6. Valoración del agroecosistema cacaotal de la Hacienda La Luz

Una forma de llamar la atención sobre la importancia de los agroecosistemas como el cacaotal, es valorando no solo los rendimientos anuales que del cultivo se obtiene, sino que también sumar los aportes en captura de carbono y servicios ecosistémicos. Utilizando los resultados ya presentados en este documento, se puede hacer un resumen económico de lo que representa ese espacio denominado “cacaotal” de la Hacienda la Luz.

En la tabla xx se integran los componentes rendimiento de cacao, CO₂ almacenado en la vegetación (incluyendo el árbol de cacao) y los servicios ecosistémicos, acotando que la parte económica esta expresada en dólares estadounidenses (USD) homogenizar la integración.

Cuadro 15. Valoración económica del sistema agroforestal de cacao de la Hacienda La Luz, en Comalcalco, Tabasco.

Componente para el análisis	Solo cacaotal	Cacaotal+ mercado de carbono (CO ₂ almacenado)	Cacaotal +mercado de carbono (CO ₂ almacenado)+ servicios ecosistemicos
1. Como cultivo			
1a. Hectáreas de cacao en producción	26.00		
1b. Rendimiento promedio/ha/año	250.00		
1c. Producción anual de cacao estimada (1a*1b)	6,500.00		
1d. Precio promedio al productor (cacao seco) (en USD)	\$ 2.00		
1e. Valor local de la producción (1c*1d)	\$ 13,000.00		
2. Mercado de carbono			
2a. Hectáreas de cacao		26.00	
2b. t/ha de CO ₂ eq almacenado		715.40	
2c. Total (t) de CO ₂ eq almacenado en la plantación (2a*2b)		18,600.40	
2d. Precio estimado de una t de CO ₂ eq (USD)		\$ 6.00	
2e. Valor total de CO ₂ eq almacenado (2c*2d) (USD)		\$ 111,602.40	
3. Servicios ecosistémicos			
3a. Valor económico de regulación del clima (USD/ha/año)			\$ 74.30
3b. Valor económico de Regulación de contingencias (USD/ha/año)			\$ 1.70
3c. Valor económico de Regulación del agua (USD/ha/año)			\$ 2.00
3d. Valor económico de Suministro de agua (USD/ha/año)			\$ 81.70
3e. Valor económico de Retención de sedimentos y suelo (USD/ha/año)			\$ 307.30
3f. Valor económico de Formación de suelo (USD/ha/año)			\$ 29.00
3g. Valor económico de Ciclo de nutrientes (USD/ha/año)			\$ 2.70
3h. Valor económico de Tratamiento de agua (USD/ha/año)			\$ 3.30
3i. Valor económico de Polinización (USD/ha/año)			\$ 25.00
3j. Valor económico de Control Biológico (USD/ha/año)			\$ 23.00
3k. Valor económico de Hábitat (USD/ha/año)			\$ 16.00
3l. Valor económico de Producción de alimentos (USD/ha/año)			\$ 709.80
3m. Valor económico de Materias primas (USD/ha/año)			\$ 105.00
3n. Valor económico de Recursos genéticos (USD/ha/año)			\$ 13.70
3o. Valor económico de Ecoturismo (USD/ha/año)			\$ 2,076.92
3p. Valor de servicios ecosistémicos (USD/ha/año) (suma de 3a hasta 3o)			\$ 3,471.42
3q. Valor total de servicios ecosistemicos para la plantación (1a*3p)			\$ 90,256.92
4. Valoración total de la plantación			
4a. Valoración total de la plantación (solo produccion de cacao) (1e)	\$ 13,000.00		
4b. Valoración total de la plantación (produccion de cacao + CO ₂ almacenado) (1e+2e)		\$ 124,602.40	
4c. Valoración total de la plantación (produccion de cacao + CO ₂ almacenado + servicios ecosistemicos) (1e+2e+3q)			\$ 214,859.32

Es muy claro que para el momento actual, el CO₂ almacenado en la plantación, representa el principal componente de toda la valoración del agroecosistema (52%), seguido por el valor de los servicios ecosistémicos (42%) y finalmente el valor de la producción de cacao (6%) (Figura 17). Esto remarca la importancia de los espacios representados por los cacaotales tradicionales con sombra como sumideros de carbono y provisión de servicios ecosistémicos, y justifica los esfuerzos por conservarlos como parte de las medidas encaminadas a mitigar los impactos antropogénicos negativos sobre el equilibrio natural de los ecosistemas.

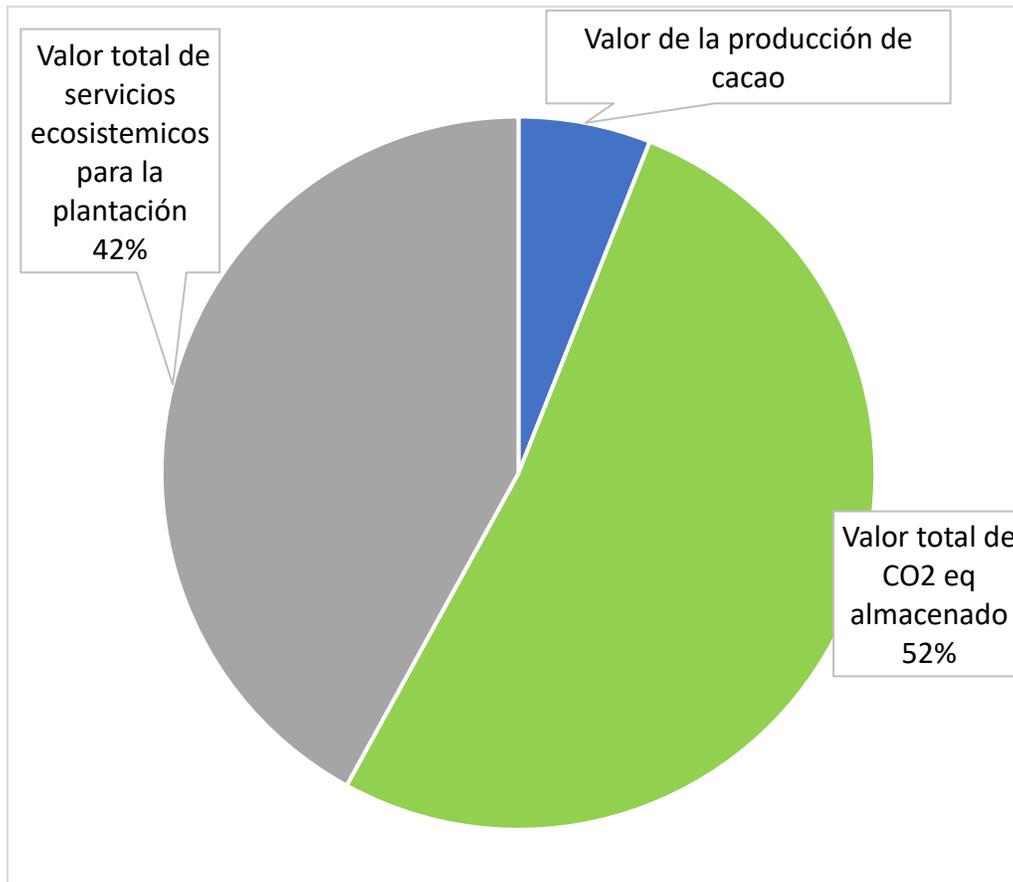


Figura 17. Distribución (porcentaje) del valor económico de los componentes producción de cacao, carbono almacenado y servicios ecosistémicos en la Hacienda La Luz.

7. DISCUSIÓN

7.1. Flora

Salvador-Morales (2019) estudiando la vegetación arbórea de sombra en los cacaotales de Tabasco encontró una diversidad de 37 géneros y 39 especies agrupadas en 24 familias; Moreno (2012), en un estudio específico para el municipio de Comalcalco, Tabasco, reporta una diversidad de elementos arbóreos integrado por 17 familias, 26 géneros y 29 especies. Ramírez-Meneses et al. (2013) estudiando el componente arbóreo de los cacaotales del municipio de Cárdenas, Tabasco, encontró en cacaotales de 50 años un total de 44 especies, 40 géneros y 24 familias. En el presente estudio se encontraron 35 especies que caracterizan al estrato arbóreo (27 especies de árboles, 6 arbustivas y una palma) agrupadas en 22 familias, lo cual se encuentra dentro del rango de número de especies que componen el estrato arbóreo de los cacaotales de la región.

En el trabajo de Salvador-Morales (2019) las especies con el mayor número de individuos fueron *Diphysa robinoides* Benth, *Erythrina americana* Mill, *Colubrina arborescens* Mill. Sarg., *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia rosea* [Bertol] DC. Y las familias mejor representadas fueron Fabaceae, Myrtaceae y Moraceae. Moreno (2012) reporta que la familia mejor representada fue Fabaceae y en el trabajo de Ramírez-Meneses et al., (2013) se reporta que las familias mejor representadas fueron Leguminosae (Fabaceae), Musaceae, Rhamnaceae, Meliaceae, Lauraceae y Moraceae. En este estudio de la Hacienda La Luz, las familias Fabaceae y Moraceae son las más abundantes, coincidiendo con los trabajos señalados. En relación a los géneros predominantes Ramírez-Meneses et al. (2013) señala que en su estudio fueron *Diphysa*, *Colubrina*, *Erythrina*, *Samanea*, *Cedrela*, *Persea* y *Hampea*. En este trabajo, los géneros predominantes fueron *Ficus*, *Guazuma*, y *Colubrina*, siendo que los dos primeros géneros no han sido predominantes en otros estudios.

En relación a las características estructurales de la vegetación, Ramírez-Meneses et al. (2013) señala que el área basal de la población fue de 58.1 m²/ha y en el caso

del estudio de Salvador-Morales (2019) la mayor área basal encontrada fue de 16.7 m²/ha. En el presente estudio de la Hacienda La Luz, el área basal encontrado fue de 48.68 m² para los elementos de sombra, y ya incluyendo a los árboles de cacao el área basal es de 60.74 m²/ha, valor alto comparado contra la literatura de otras áreas similares.

Salvador-Morales (2019) reporta que en su trabajo la altura promedio de los árboles de cacao fue de 4.4 m, variando de 1 m a 8 m y la de los árboles de sombra fue de 9.9 m con un mínimo de 1 m y un máximo de 22 m, y la densidad promedio fue de 613 árboles por hectárea, variando de 570 a 698 árboles por hectárea. En la Hacienda La Luz, la densidad de árboles de cacao fue de 400 individuos/ha, con una altura media (6.32 m) fue muy superior a lo reportado, en buena medida favorecido por la falta de labores de poda de formación a la plantación.

Fauna

Los agroecosistemas de cacao son conocidos por albergar comunidades de fauna diversas (Maas et al. 2013, 2015). En la Región de La Chontalpa, los agrosistemas de cacao representa el último refugio y hábitat para muchas especies de vertebrados tropicales, especialmente para los mamíferos que sobreviven en un paisaje dominado por pastizales para ganadería extensiva (sin cobertura arbórea) y zonas urbanas (Oporto et al. 2015; Valenzuela Córdova et al., 2015). En las zonas tropicales, por ejemplo, el sureste mexicano la estructura vegetal de la plantación juegan un papel esencial, formado por árboles de sombra gran tamaño y que pueden llegar a asemejarse un poco a selvas, podrían ser factor influyente en la selección y uso del sitio como hábitat para la biodiversidad (Bisseleua et al. 2009, 2013).

Para el área específica de Tabasco, hablando de diversidad de aves, la Hacienda La Luz en Comalcalco, reporta una riqueza de aves (40 especies, 21 familias) similar a los encontrados en cacaotales de Indonesia (Clough et al. 2009, n=53), pero más específicamente a cacaotales bolivianos, donde la riqueza de aves fue de 43 especies y 18 familias (Naoki et al. 2017), lo cual nos indica que, a pesar de los

pocos muestreos en el sitio, este agroecosistema alberga una buena diversidad de aves. Esta cifra es incluso mayor a lo reportado por Molina y Bohórquez (2013) para cacaotales de Venezuela, donde sólo reportan 23 especies.

Tal como reporta Sekercioglu (2012), los agroecosistemas tienden a ser atractivos para las migratorias. El cacaotal de Comalcalco exhibió una proporción de migratorias, mucho mayor a lo reportado por Trejo-Pérez (27.3%) e Ibarra et al. (2001) en Tabasco, sin embargo, se ajusta bastante a lo reportado por Cadenas-Madrigal (2013) que reporta 33 especies en cacaotales al oeste del estado. En este sentido las migratorias más comunes son *Setophaga ruticilla*, *S. citrina*, *S. magnolia* e *Icterus galbula* (Trejo-Pérez, 2007; Cadenas-Madrigal, 2013). (Trejo-Pérez, 2007). Los gremios que dominaron este tipo de agroecosistema son insectívoros de diversa índole (Van Bael, et al. 2007, Clough et al., 2009; Cadenas-Madrigal, 2013). Esta gran cantidad especies de insectívoras, principalmente parúlidos de talla pequeña, contribuyen al agrosistema mediante la depredación de plagas en el follaje del cacao (Karp et al. 2013, Maas et al. 2013, 2015, 2017). A pesar de esto, la especie *P. flavirostris*, catalogada como un frugívoro, fue la especie con mayor abundancia, lo cual no indica que al menos la especie más abundante ejerce una función de dispersor de semillas en el sitio de estudio (Clough et al. 2009). Los servicios de provisión en agroecosistemas representan alrededor de 63% del valor de hábitat nativos, mientras que las plantaciones representan 73% del valor de los servicios proporcionados por los agroecosistemas (Beenhouwer et al. 2013). De aquí la importancia de los servicios proporcionados por las aves y el cacaotal en general. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, la intensificación del manejo de los agroecosistemas de cacao provoca una disminución en los servicios ecosistémicos de provisión (Beenhouwer et al. 2013). Técnicas efectivas de conservación dependerán de las relaciones que tiene el cacaotal con la matriz agrícola, la biodiversidad presente y los servicios ecosistémicos antes mencionados (Bisseleua et al, 2013).

A pesar de los pocos censos en la Hacienda La Luz, se puede observar que el sitio representa una parte esencial para especies de aves en peligro, puesto que

psitácidos lo utilizan como refugio y descanso, mientras que otras, como *Pteroglossus torquatus* y *Notharchus hyperrynchus* lo pudieran estar utilizando como parte de su hábitat.

Por todo esto, las plantaciones de cacao pueden albergar una gran diversidad de aves, especialmente si cuentan con una estructura compleja y árboles de sombra nativos, propios de selvas (Jarrett et al. 2021). Un número de especies de aves prefieren sistemas de producción de cacao con una complejidad estructural mayor; por lo cual es recomendable los sistemas tradicionales de cultivo de cacao de sombra con promoción de la complejidad del sotobosque y árboles de sombra (Naoki et al. 2017; Jarret et al. 2021).

Así como en otros países, en México, los agrosistemas de cacao han ayudado a mantener y refugiar poblaciones de primates del género *Alouatta* (Estrada, 2006; Estrada et al., 2006; Estrada et al., 2012). La presencia y actividad de los primates en los agrosistemas pueden favorecer la productividad primaria y la persistencia de las especies arbóreas que aportan sombra a los cultivos y enriquecen de nutrientes el suelo del agrosistemas, beneficiando así a los productores (Estrada et al., 2005; Estrada et al. 2006; Muñoz et al., 2006; Oliveira y Estrada, 2017). De este modo, en áreas donde la vegetación natural ha sido reemplazada en su totalidad en cultivos agrícolas, los agrosistemas arbolados juegan un papel importante para la conservación. Es decir, que estos agrosistemas pueden proporcionar el último hábitat disponible para las especies dependientes de la vegetación natural, y que toleran un cierto nivel de perturbación (Schorth et al., 2004).

Además de las especies de mamíferos capturadas en el fototrampeo, en La Chontalpa se ha reportado la presencia en cacaotales de especie de gran importancia ecológica como los murciélagos (Oporto et al. 2015): *Artibeus jamaicensis*, *A. lituratus*, *A. phaeotis*, *A. watsoni*, *Carollia pers picillata*, *C. sowellii*, *Centurio senex*, *Chiroderma salvini*, *Choeroniscus godmani*, *Glossophaga soricina*, *Phyllostomus discolor*, *Platyrrhinus helleri*, *Sturnira lilium*. Así mismo, especies

prioritarios o en alguna categoría de riesgo como el monos saraguato (*Alouatta palliata*) (Muñoz et al 2005, Valenzuela-Córdova, 2018; Sánchez-Soto, 2018); el mico de noche o martucha *Potos flavus* (Hernández-Guzmán, 2020.); el viejo de monte o grisón (*Galictis vittata*) y osos hormiguero (*Tamandua mexicana*) (CONABIO, 2021, este estudio), y el puerco espín *Sphiggurus mexicanus* (Torres-de la Cruz y Ortiz-García, 2019). También se han reportado la presencia de especies generalistas mayormente asociadas a zonas urbanas rodeadas de cacaotales y huertos familiares, como los tlacuaches *Didelphis sp*; el mapache *Procyon lotor*, y la ardilla *Sciurus aureogaster* (Sánchez-Soto, 2018; CONABIO, 2021).

La densidad de monos saraguatos por hectáreas en el fragmento de la Hacienda La Luz es alto, en comparación con otros sitios de investigaciones realizadas en México (0.26 ind/ha, Cristóbal Azkarate et al 2017; 0.27 ind/ha, Puig-Lagunes et al 2016), Así mismo, se llega hasta cuadruplicar el promedio de individuos por tropas (8.4, Cristóbal Azkarate et al 2017; 5.1, Puig-Lagunes et al 2016). Un factor que puede estar influyendo en este caso es la composición del paisaje, ya que el fragmento está inmerso en un mosaico dominado por infraestructura humana (carreteras y casas) y pastizales para ganadería. Esta ubicación puede contribuir al aislamiento de los grupos, lo cual limita la dispersión de los individuos a otros fragmentos cercanos (Arroyo-Rodríguez et al., 2011). Si bien en los límites con una de las carreteras cuenta con pasos de fauna para monos, no hay registros documentados del uso de los mismos por los monos. Aunque no se tiene datos poblacionales y conductuales suficientes para determinar a qué se debe el gran tamaño la población en el sitio, es posible que esté relacionado a la disponibilidad de alimento, así como a la falta de competidores o depredadores naturales (Williams-Guillén, 2003; Arroyo-Rodríguez et al., 2008; Galán-Acedo et al., 2018). La población de monos en el sitio es un caso de estudio interesante, por lo que se sugiere implementar proyectos de investigación para conocer el estado de salud y viabilidad de la población. Entre los estudios que se pueden desarrollar están: a) monitoreo a largo plazo de los grupos para evaluar las tendencias de la dinámica de la poblacional; b) evaluación de la

vegetación y comportamiento alimenticios de los grupos; c) evaluar el aumento del estrés fisiológico de los grupos; d) evaluar si existe pérdida de diversidad genética por posible endogamia (Arroyo-Rodríguez y Mandujano, 2009; Arroyo-Rodríguez y Dias, 2010). Además, considerando la prestación de servicios ecoturísticos que brinda la hacienda se podría desarrollar proyectos que ayuden a la conservación de los monos y otras especies silvestres de la Región, mediante la certificación de los productos derivados del cacao comercializados en la hacienda (Mas y Dietscht, 2004; Bisseleua et al., 2009).

Otro tipo de servicio de gran relevancia que ofrecen los agrosistemas de cacao son los culturales, este incluye el sentimiento de arraigo de los productores a su tierra, el turismo, el interés del consumidor en la producción de cacao amigable con el ambiente (Mortimer et al., 2018), entre otros. En el contexto del patrimonio biocultural, los cacaotales en la Chotalpa son un ejemplo representativo, pues se reconoce la interconexión de la diversidad biológica y cultural de las comunidades locales. Esta interconexión abarca desde la semilla o grano del cacao hasta paisajes, desde conocimientos a los valores espirituales, los cuales son transmitidos de generación en generación. El patrimonio biocultural puede proporcionar:

- Saberes y sistemas de valores que promueven la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad.
- Diversidad de variedades de cultivos y estrategias de producción resilientes para la adaptación al cambio climático.
- Prácticas agrícolas sostenibles y alimentos nutritivos
- Conceptos de bienestar alternativos que integran los ecosistemas y la economía, promueven el desarrollo inclusivo y bajo en carbono, y fortalecen la cohesión social
- Productos y servicios únicos como gastronomía, artesanías, medicinas naturales, y paisajes preciosos.

El cultivo del cacao en Tabasco, puede considerarse como Patrimonio Biocultural, en donde la cultura asociada del cultivo del cacao ha prevalecido y arraigado profundamente en las costumbres, la gastronomía y el comercio local (Naranjo, 2011; González Jácome y Ramírez Martínez, 2010). Ello se ha reflejado en los usos y costumbres muy representativas de la zona cacaotera como las fiestas patronales o enramas, donde los creyentes ofrecen mazorcas de cacao, que llevan en procesión hasta el templo del patrono (Ramírez Martínez, 2007; Cruz-Coutiño, 2014), tradición que como mencionaron los entrevistados, poco a poco se ha ido perdiendo. Entre los ejemplos de la gastronomía se encuentra el pozol o chorote, bebida preparada con maíz cocido y granos de cacao tostado y molido (Barros y Buenrostro, 2011; Córdova-Lázaro, et al. 2018). Otros productos derivados del cacao están los chocolates (variados tipos), atole, mole, polvillos, dulces de corazón de cacao, licor de cacao y avenas caseras (Naranjo, 2011; Córdova-Lázaro, et al. 2018) y la chocolatería fina como la de la Hacienda La Luz. Estos productos son comercializados dentro y fuera del estado, teniendo así, un papel socio-cultural y económico importante en la Región de la Chontalpa.

A escala de paisaje, los agrosistemas de cacao bajo sombra pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad, particularmente a través de la conectividad del paisaje y el uso de especies de árboles locales, así como a la mitigación del clima a través del almacenamiento de carbono en los suelos y la biomasa en árboles grandes (Mortimer et al 2018). También se incrementan la conectividad del paisaje y reducen los efectos de borde entre la vegetación natural y la agricultura (Vaast y Somarriba, 2014).

El diseño y manejo de los árboles de sombra del cacao determina en gran medida el valor que para la conservación tiene el cacaotal, su diversidad funcional y su potencial de provisión de bienes y servicios ecosistémicos. Valorar económicamente estos servicios puede servir como un incentivo para mantener estos sistemas agroforestales, que en muchos casos están desapareciendo por su

baja productividad, enfermedades, fraccionamientos, actividad petrolera, etc (Estrada et al 2006; Garber *et al.* 2009).

Es importante tener en cuenta que los valores económicos calculados para los ecosistemas naturales corresponden en su mayoría con los estimados por otros autores, lo cual es comprensible ya que los precios fueron transferidos y adaptados a partir de estos estudios. Existe una gran diversidad de enfoques tanto para la cuantificación como para la evaluación económica. Así mismo, existen múltiples herramientas de medición de las variables biofísicas y económicas (Avila-Foucat 2007; Sanjurjo-Rivera e Islas-Cortés 2005). Esta diversidad analítica implica una gran complejidad para el entendimiento de los diversos componentes y procesos involucrados en el estudio de las interacciones en los ecosistemas y sus servicios (Balvanera y Cotler 2007; Vázquez-Navarrete *et al.* 2010).

Los valores de los servicios ecosistémicos que proveen los sistemas agroforestales de cacao acentúan la importancia de mantener estos sistemas en el largo plazo; sin embargo, si se comparan con los valores estimados para los servicios de ecosistemas como bosques, los servicios que proveen los cacaotales representan solo el 24% de los que proveen los bosques (Vázquez-Navarrete, et al. 2011). Es decir, que aún con todos los beneficios que estos agrosistemas proveen para el mantenimiento de la biodiversidad y la regulación climática, los sistemas agroforestales bajo sombra, no reemplazan aquellos que proporciona la vegetación natural (Beenhouner *et al.*, 2013).

A pesar de que los cacaotales no sustituyen a un sistema natural, porque no pueden sostener toda la biodiversidad propias de los bosques, así como sus procesos y funciones ecológicas (Parrish et al., 1999, Beenhouwer et al., 2013), pueden considerarse favorables para apoyar la conservación de la diversidad; sirviendo como refugio de vida silvestre en zonas de amortiguamiento o en áreas naturales (Parrish et al., 1999; Rice y Greenberg, 2000; Estrada et al., 2005; Salgado et al.,

2007; Clough et al., 2009; Sánchez, 2012; Beenhouwer et al., 2013) y una reserva importante de captura de carbono. Este tipo de evaluaciones puede fortalecer las iniciativas para establecer los incentivos económicos locales como esquemas de certificación y el pago por servicios ambientales, que permitan mantener la cultura asociada a este cultivo y fortalecer las iniciativas de atracción turística de Tabasco.

7.3. Captura de carbono

En diversos estudios realizados en plantaciones cacaoteras, se evidencia que mientras más años tenga el cultivo, mayor carbono acumulado se tendrá. En el estudio efectuado por Salvador-Morales *et al* (2019) las plantaciones mayores a 40 años registraron valores de 51.35 Mg/ha de carbono acumulado en la porción aérea del arbolado, aunque en suelos fluvisoles alcanzaron hasta 56.51 Mg C/ha. En otros estudios, como el de Concha, Alegre y Pocomucha (2007), evaluando cacaotales en Perú determinaron, en la porción aérea de los árboles en cacaotales de 20 años, contenidos de 32.4 t de C/ha, además Carvajal-Agudelo y Andrade (2020) en cacaotales sin arboles de sombra, en Colombia, encontraron almacenamientos de carbono de 16 Mg C/ha, y Patiño *et al.*, (2018), encontraron cerca de 85.9 (± 23.5) Mg de C/ha en la biomasa total de sistemas agroforestales de cacao de 10-15 años con sombra; Marín, Andrade y Sandoval (2016) en cacaotales con frutales y maderable registraron acumulaciones de C del orden de 61.0 Mg C/ha. En este trabajo solo la porción aérea (arboles de sombra más arboles de cacao) suman un total de 163.51 Mg C/ha, mucho mas alto que cualquiera de los estudios señalados, y ya incluyendo las raíces de los árboles y la biomasa del sotobosque se tiene un total de 195.25 Mg C/ha. Este resultado en buena medida se debe a que en la plantación de la Hacienda La Luz los arboles de sombra tienen más de 50 años y además no han recibido desde hace muchos años labores de poda o aclareo, y se permitió el crecimiento de especies de gran volumen como el Samán.

En relación a los contenidos de C en los árboles de cacao, Marín, Andrade y Sandoval (2016) reportan para cacaotales de Colombia en monocultivo, almacenamientos de carbono de hasta 13.8 t C/ha, y Salvador-Morales *et al* (2019),

en plantaciones de Tabasco, reportan que se almacenaron entre 6.22 Mg/ha y 9.6 Mg/ha de carbono, siendo que en el presente estudio se estimó un total de 11.44 Mg C/ha estando los arboles de cacao bajo condiciones de sombra. Por lo tanto, los resultados de esta valoración en la Hacienda La Luz se encuentran dentro de un rango ligeramente alto, muy cercano a las cantidades de C contenidas en los cacaotales como monocultivo.

Cuadro 16. Contenidos de C estimado en cacaotales bajo diferentes sistemas de manejo

Autor	País	Sistema	Mg C/ha	Observaciones
Concha, Alegre y Pocomucha (2007)	Perú	Monocultivo	32.4	Solamente porción aérea de los árboles
Marín, Andrade y Sandoval (2016)	Colombia	Con sombra	61.0	La sombra de frutales y maderables
Marín, Andrade y Sandoval (2016)	Colombia	Monocultivo	13.8	La sombra de frutales y maderables
Patiño et al., (2018)	Colombia	Con sombra	85.9	±23.5 Mg C/ha
Salvador-Morales et al., (2019)	México	Con sombra	56.51	Mayor a 40 años y sobre suelos fluvisoles
Carvajal-Agudelo y Andrade (2020)	Colombia	Monocultivo	16.0	

Mercados voluntarios de carbono

Existen numerosas vías y esfuerzos para reducir las emisiones de carbono y promover actividades que ayuden a almacenar y eliminar carbono

De las diferentes Metodología y Protocolos de Estándares que fomentan el desarrollo y la comercialización de proyectos de bonos de Carbono, para proponer proyectos de créditos de carbono, el Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB) consideramos que es el más adecuado para el modelo del sistema agroforestal de la Hacienda La Luz, pues fomentan el desarrollo y la comercialización de proyectos que generen beneficios para el clima, la comunidad y la biodiversidad de manera integrada y sostenible (CCBA, 2013).

Los Estándares CCB identifican proyectos basados en la tierra diseñados para generar reducciones robustas y confiables de gases de efecto invernadero a la vez que también generan beneficios netos positivos a las comunidades locales y la

biodiversidad, pues buscar proteger a la biodiversidad y promover el desarrollo social y económico sostenible de las comunidades.

Es importante mencionar que el cacaotal de La Hacienda La Luz es una muestra de los cacaotales bajo sombra de la Región de la Chontalpa, desde el punto de vista del cultivo o plantación agrícola representa una oportunidad para establecer la metodología para que más sistemas agroforestales de cacao, se incorporen en proyectos de comercialización de bonos de carbono.

8. CONCLUSIONES

Aspectos relevantes del presente trabajo que son importantes puntualizar son los siguientes:

- a) El cacaotal de la Hacienda La Luz ha sido manejado en los últimos años más como un área de conservación que como un cultivo tras la búsqueda de rendimientos altos y redituables; y aunque si se obtienen rendimientos, están muy lejanos a los obtenidos en la zona (600-700 kg/ha) por los cual con seguridad solo se obtenga un ligero margen de ganancia considerando la venta de toda la producción.
- b) La diversidad de flora en el cacaotal de la Hacienda La Luz puede considerarse dentro de lo reportado en otros estudios de la zona.
- c) Es posible mejorar el rendimiento de cacao en la plantación de la Hacienda La Luz con prácticas como rejuvenecimiento de la plantación, manejo de plagas y enfermedades y podas de mantenimiento tanto al árbol de cacao como los de sombra.
- d) La cantidad de carbono retenido en la biomasa es alta en comparación a otras plantaciones de cacao, pero esto se debe a la edad de la plantación y al libre crecimiento de los árboles de sombra.

- e) Particularmente, en el cacaotal de la Hacienda La Luz, el carbono almacenado en la vegetación representa el mayor valor económico en el presente momento.
- f) Dentro de las políticas ambientales en el estado, es importante apoyar a largo plazo iniciativas que fomenten la conservación y se complementen los ingresos de los productores con estrategias paralelas que le generen ingresos por sus actividades de conservación.
- g) El Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB) consideramos que es el más adecuado para el modelo del sistema agroforestal de la Hacienda La Luz, pues fomentan el desarrollo y la comercialización de proyectos que generen beneficios para el clima, la comunidad y la biodiversidad.

9. CONSIDERACIONES FINALES

En términos de biomasa vegetal y carbono almacenado, la plantación de cacao de la Hacienda La Luz sobresale de lo reportado en estudios similares debido a que se ha reducido el manejo agronómico como renovación de la plantación, manejo de la sombra, control de plagas y enfermedades, entre otras cosas, además de que se ha enriquecido con fauna introducida, o que ha repercutido en que envejezcan los árboles de cacao, los arboles de sombra crezcan libremente, las ardillas y las enfermedades dañen muchas mazorcas y que en general la producción de cacao en grano este muy debajo de los rendimientos obtenidos en plantaciones promedio en Tabasco.

10. REFERENCIAS

- Alcamo J., Ash N. J., Butler C. D., Callicott J. B., Capistrano D., Carpenter S. R., Castilla J. C., Chambers R., Chopra K., Cropper A., Daily G. C., Dasgupta P., Groot R., Dietz T., Duraiappah A. K., Gadgil M., Hamilton K., Hassan R., Lambin E. F., Lebel L., Leemans R., Jiyuan L., Malingreau J. P., May R. M., McCalla A. F., McMichael T. (A.J.), Moldan B., Mooney H., Naeem S., Nelson G. C., Wen-Yuan N., Noble I., Zhiyun O., Pagiola S., Pauly D., Percy S., Pingali P., Prescott-Allen R., Reid W. V., Ricketts T. H., Samper C., Scholes R. (B.), Simons H., Toth F. L., Turpie J. K., Watson R., T., Wilbanks T. J., Williams M., Wood S., Shidong Z. y Zurek M. B. (2003). Ecosystems and human well-being: a framework for assessment.
- Armengot, L., Barbieri, P., Andres, C., Milz, J., y Schneider, M. (2016). Cacao agroforestry systems have higher return on labor compared to full-sun monocultures. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 70.
- Arroyo-Rodríguez, V., Dias, P.A.D., y Cristóbal-Azkarate, J. (2011). Group size and foraging effort in mantled howlers at Los Tuxtlas, Mexico: a preliminary test of the ecological-constraints model. *Perspectivas en primatología mexicana*. Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. p, 103-116.
- Arroyo-Rodríguez, V., y Mandujano, S. (2009). Conceptualization and measurement of habitat fragmentation from the primates' perspective. *International Journal of Primatology*, 30(3), 497-514.
- Arroyo-Rodríguez, V., Mandujano, S., y Benítez-Malvido, J. (2008). Landscape attributes affecting patch occupancy by howler monkeys (*Alouatta palliata mexicana*) at Los Tuxtlas, Mexico. *American Journal of Primatology*, 70(1), 69-77.
- Arroyo-Rodríguez, V., y Dias, P. A. D. (2010). Effects of habitat fragmentation and disturbance on howler monkeys: a review. *American Journal of Primatology*, 72(1), 1-16.
- Asensio, N., Arroyo-Rodríguez, V., Dunn, J. C., y Cristóbal-Azkarate, J. (2009). Conservation value of landscape supplementation for howler monkeys living in forest patches. *Biotropica*, 41(6), 768-773.
- Barrantes M. G. (2006) Elementos para el diseño de un plan de acción para la implementación de pago por Servicios Ambientales. Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS). Costa Rica. 30 pag.
- Berlanga-García, H., Gómez de Silva, H., Vargas-Canales, V. M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. A., Ortega-Álvarez, R. y Calderón-Parra, R. (2015). *Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- Bibby, C.J., Burgess, N.D., Hill, D.A. y Mustoe, S.H. (2002). *Bird Census Techniques*. 2da Ed. Academic Press, London. 302 p.
- Bisseleua, D. H. B., Missoup, A. D., y Vidal, S. (2009). Biodiversity conservation, ecosystem functioning, and economic incentives under cocoa agroforestry intensification. *Conservation biology*, 23(5), 1176-1184.

- Blanco P. A., Cedillo V. R., Durán A. M. T., Lechuga G. M. A. y Treviño A. M. (2002) Los animales y los astros. 83-88. In: Iconografía Mexicana: Las representaciones de los astros. Editado por De Piña-Chan B. B. Vol. 3. Plaza y Valdes. 203 pag.
- Boesman, P. (2006). *BIRDS OF MEXICO - MP3 Sound Collection (1.0)* [CD-ROM]. Merelbeke, Belgium. BirdSound.nl, The Netherlands.
- Cairns M.A, Brown S., Helmer E. H. y Baumgardner G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/225488798_Root_biomass_allocation_in_the_world's_upland_forests
- Carvajal-Agudelo B. y Andrade H. J. (2020). Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia*. Vol. 24(1): 13-22. <http://doi.org/10.22579/20112629.587>
- Cassano, C. R., Silva, R. M., Mariano-Neto, E., Schroth, G. y Faria, D. (2016). Bat and bird exclusion but not shade cover influence arthropod abundance and cocoa leaf consumption in agroforestry landscape in northeast Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 232: 247-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.013>.
- CCBA (2013). Estándares de Clima, Comunidad y Biodiversidad Tercera Edición. CCBA, Arlington, VA, USA. Diciembre, 2013. www.climate-standards.org
- Cerda B., R., Espin C., T., & Cifuentes, M. (2013). Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 49, 33-41.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190. doi: 10.1111/gcb.12629
- Climate Action Reserve-California. Recuperado de <https://www.climateactionreserve.org/>
- CONABIO. 2021. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- Concha J. Y., Alegre J. C. y Pocomucha V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*. Vol. 6(1,2): 75-82.
- Cortés-Ramírez, G., Gordillo-Martínez, A. y Navarro-Sigüenza, A. G. (2012). Patrones biogeográficos de las aves de la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 530-542. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.2>.
- Cristóbal-Azkarate, J. C., Dunn, J. C., Balcells, C. D., y Baró, J. V. (2017). A demographic history of a population of howler monkeys (*Alouatta palliata*) living in a fragmented landscape in Mexico. *PeerJ*, 5, e3547.
- Daubenmire, R. 1959. A canopy-coverage method of vegetational analysis. *Northwest Science*. 33:43-64.
- De Groot, R. S, M. A. Wilson, M.J.R y M. J. Boumans (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41:393-408.

- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental, Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, Lista de especies en riesgo. México, 77 p.
- Díaz-Cruz, M. C. (2016). Bonos de carbono: un instrumento en el sistema financiero internacional. *Revista Libre Empresa*. 13(1), 11-33. <http://dx.doi.org/10.18041/libemp.2016.v13n1.25106>
- Domingo-Balcells, C., y Veá-Baró, J. J. (2009). Developmental stages in the howler monkey, subspecies *Alouatta palliata mexicana*: a new classification using age-sex categories. *Neotropical Primates*, 16(1), 1-8.
- Eliasch, J. (2008). Eliasch Review. Climate Change: Financing Global Forest. Recuperado de <https://www.gov.uk/government/organisations/eliasch-review>
- Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB). Recuperado de <https://www.climate-standards.org/>
- Estrada A., Raboy B. E. y Oliveira L. (2012). Agroecosystems and Primate Conservation in the Tropics: A Review. *American Journal of Primatology* 74:696-711.
- Estrada, A. (2006). Human and non-human primate co-existence in the neotropics: a preliminary view of some agricultural practices as a complement for primate conservation. *Ecological and Environmental Anthropology*. 2(2), 17- 29.
- Estrada, A., Sáenz, J., Harvey, C. A., Naranjo, E., Muñoz, D., Rosales-Meda, M. (2006). Primates in agroecosystems: conservation value of agricultural practices in Mesoamerican landscapes. In: Estrada A, Garber PA, Pavelka MSM, Luecke LG, editors. *New perspectives in the study of Mesoamerican primates: distribution, ecology, behavior and conservation*. New York: Springer Press.437-470 p.
- FAO. s/f. El cambio climático y los bosques. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/y0900s/y0900s06.htm>
- Felton A., Andersson E., Ventorp D. y Lindblad, M. (2011) A comparison of avian diversity in spruce monocultures and spruce-birch polycultures in Southern Sweden. *Silva Fennica* 45(5):1143–1150.
- Foley JA, Defries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramankutty N, Synder PK (2005) Global consequences of land use. *Science* 309(5734): 570–574
- Franzen, M., y Borgerhoff Mulder, M. (2007). Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide. *Biodiversity and conservation*, 16(13), 3835-3849.
- Galán-Acedo, C., Arroyo-Rodríguez, V., Estrada, A., y Ramos-Fernández, G. (2018). Drivers of the spatial scale that best predict primate responses to landscape structure. *Ecography*, 41(12), 2027-2037.
- Garbach., Milder, J.C., Mintenegro, M., Karp, D. S., DeClerck E. F. J. 2014. Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems. Elsevier, 21-40
- Glander, K. E. (1980). Reproduction and population growth in free-ranging mantled howling monkeys. *American Journal of Physical Anthropology*, 53(1), 25-36.
- Gold Standard for the Global Goals. Recuperado de <https://globalgoals.goldstandard.org/>

- González L. V. y Amaya G. (2005). Cacao en México: competitividad y medio ambiente con alianzas (diagnóstico rápido de producción y mercadeo. USAID, From The American People. 80 p.
- Graniel-Velasco, P.A. G. y Castellanos, J.M.A. (2020). Otto Wolter Hayer: médico, agricultor y constructor. *Cinzontle*, 12(26), 12-19.
- Hamrick, K., & Gallant, M. (2017). Fertile Ground. State of the Forest Carbon Finance 2017. Recuperado de <http://forest-trends.org/releases/p/sofcf2017>
- Harvey CA, Chaco'n M, Donatti CI, Garen E, Hannah L, Andrade A, Bede L, Brown D, Calle A, Chara' J, Clement C, Gray E, Hoang MH, Minang P, Rodríguez AM, Seeberg-Elverfeldt C, Semroc B, Shames S, Smukler S, Somarriba E, Torquebiaue E, van Etten J, Wollenberg E (2013) Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conserv Lett* 00:1–14
- Hernández-Guzmán, J. (2020). Nuevos registros de la martucha *Potos flavus* (PROCYONIDAE) en las tierras bajas de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Mastozoología, nueva época*, 10(1):47-51. ISSN: 20074484. www.revmexmastozoologia.unam.mx
- IPCC. (2003). Los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Programa intergubernamentales. Guía de Buenas Prácticas para el uso de la tierra, cambio de uso y Silvicultura. Hayama, Kanagawa, Japón. p.113-116
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Keith Paustian, N.H. Ravindranath, Andre van Amstel, Michael Gytarsky, Werner A. Kurz , Stephen Ogle, Gary Richards y Zoltan Somogyi. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan. 24 pp. Recuperado de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_01_Ch1_Introduction.pdf
- IPCC. (2007). Climate Change 2007. Mitigation of climate change. Intergovernmental panel of climate change. Special report. Cambridge University Press, Cambridge, USA. (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>)
- Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest System*, 76:1–10. DOI 10.1007/s10457-009-9229-7.
- Kanninen M. s/f. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Consultado en: <https://www.fao.org/3/y4435s/y4435s09.htm#TopOfPage7>
- Kauffman, K (2005) Guía de Campo a las aves de Norteamérica. Edit. Hillstar. L.c. 392 p.
- Leakey, R. R.B. 2014. The Role of Trees in Agroecology and Sustainable Agriculture in the Tropics *Annu. Rev. Phytopathol*, 52:113–33. DOI: 10.1146/annurev-phyto-102313-045838
- López A. P.A., Delgado Ñ V. C., Azpeitia M. A. y Castañeda C. R. (2000). Tecnología para la producción de cacao en Tabasco. ISPROTAB, INIFAP Produce. Villahermosa, Tabasco. 74 p.
- Lot A. y Chiang F. (Eds). (1986). Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora en México A. C. 142 pp.

- Lynch, J. F. (1995). Effects of Point Count Duration, Time-of-Day, and Aural Stimuli on Detectability of Migratory and Resident Bird Species in Quintana Roo, México. En: Ralph, C. J., S. Droege y J. Sauer (Eds). *Monitoring bird population trends by point counts*. U.S. Department of Agriculture Forest Service General Technical Report PSW-GTR-149. P.p. 1-6.
- Maas, B., Clough, Y., y Tschardtke, T. (2013) Bats and birds increase crop yield in tropical agroforestry landscapes. *Ecology Letters* 16, 1480–1487.
- Maas, B., Tschardtke, T., Saleh, S., Dwi Putra, D. y Clough, Y. (2015): Avian species identity drives predation success in tropical cacao agroforestry. *Journal of Applied Ecology* 52: 735-743. DOI: 10.1111/1365-2664.12409.
- Maas, B., Tschardtke, T., Tjoa, A., Saleh, S., Edy, N., Anshary, A., Mahfudz y Basir, M. (2017). Effects of Ecosystem Services Provided by Birds and Bats in Smallholder Cacao Plantations of Central Sulawesi. UNTAD Press. 106 p. DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2018-1085>.
- Marín Q., M. del P., J. Andrade, H., & P. Sandoval, A. (2016). Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Vol. 19(2): 351–360. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.89>
- Márquez R. I., De Jong B., Eastmond A., Ochoa G. S., Hernández S., Kantún M. D. (2005). Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el Oriente de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 21 (42): 56-72.
- Mas, A. H., y Dietsch, T. V. (2004). Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: butterflies and birds in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications*, 14(3), 642-654.
- Michel, N. L., Whelan, C. J., y Verutes, G. M. (2020). Ecosystem services provided by Neotropical birds. *The Condor* 122(3):1-21. DOI: 10.1093/condor/duaa022.
- Moreno G. N. (2012). Diversidad arbórea y captura de carbono en cacaotales en Comalcalco. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Comalcalco, Tabasco. 65 pp.
- Mortimer, R., Saj, S., & David, C. (2018). Supporting and regulating ecosystem services in cacao agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 92(6), 1639-1657.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Willey, Nueva York. 547 p.
- Mortimer, R., Saj, S., & David, C. (2018). Supporting and regulating ecosystem services in cacao agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 92(6), 1639-1657.
- Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H. (1974). Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons. 547 pp.
- Muñoz, D., Estrada, A., Naranjo, E., y Ochoa, S. (2006). Foraging ecology of howler monkeys in a cacao (*Theobroma cacao*) plantation in Comalcalco, Mexico. *American Journal of Primatology*, 68(2), 127-142.
- Naranjo G. J. A. (2011) Caracterización de productos tradicionales y no tradicionales derivados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 60 pp.

- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H. y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85:476-495. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2014.5>.
- Norgrove, L., y Beck, J. (2016). Biodiversity Function and Resilience in Tropical Agroforestry Systems Including Shifting Cultivation. *Current Forestry Reports*, 2(1), 62-80.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Oliveira, L. C. y Estrada, A. (2017). Agroecosystems. In Fuentes A. (Ed). *The International Encyclopedia of Primatology*. 1608 pp. DOI: 10.1002/9781119179313.wbprim0235.
- Oporto, S., Arriaga-Weiss, S. L., y Castro-Luna, A. A. (2015). Diversidad y composición de murciélagos frugívoros en bosques secundarios de Tabasco, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(2), 431-439.
- Palma-López, D. J., Vázquez-Navarrete, C. J., Mata-Zayas. E. E., López-Castañeda, A., Morales-Garduza, M. A., Chable-Pascual, R., Contrera-Hernández, J., y Palma-Cancino, D. Y. (2011). Zonificación de ecosistemas y agroecosistemas susceptibles de recibir pagos por servicios ambientales en la Chontalpa, Tabasco. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Villahermosa, Tabasco, México. 139 pp.
- Parizot-Wolter, A. (2021). Hacienda La Luz. Museo Vivo del Cacao. Documento descriptivo.
- Patiño S., Suárez L.N., Andrade-Castañeda H. J. y Segura-Madriral M. A. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Vol. 9(2):121-133. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme and Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf_contents.htm.
- Peres C. A. 1999. General guidelines for standardizing line-transect surveys of tropical forest primates. *Neotrop. Primates* 7:111–16.
- Peters-Stanley, M., González, G., & Yin, D. (2013). Covering New Ground: State of the Forest Carbon Markets 2013. <http://www.forest-trends.org/documents/files/SOFCMfull-report.pdf>.
- Peterson, RT & EL Chalif (2008) Aves de México. Guía de Campo. Ed. Diana. México. 473 p.
- Plan Vivo. Recuperado de <https://www.planvivo.org/>

- Power A. G. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365: 2959–2971. doi:10.1098/rstb.2010.0143.
- Puig-Lagunes, Á. A., Canales-Espinosa, D., Rangel-Negrín, A., y Dias, P. A. D. (2016). The Influence of Spatial Attributes on Fragment Occupancy and Population Structure in the Mexican Mantled Howler (*Alouatta palliata mexicana*). *International Journal of Primatology*, 37(6), 656-670.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F. y Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p.
- Ramírez-Meneses A., García-López E., Obrador-Olán J. J., Ruiz-Rosado O. y Camacho-Chiu W. (2013). Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 29(3):215-230
- Ranero, Alejandro, & Covalada, Sara. (2018). El financiamiento de los proyectos de carbono forestal: Experiencias existentes y oportunidades en México. *Madera y bosques*, 24(spe), e2401913. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401913>
- Rapidel, B., Ripoché A., Allinne, C., Metay A., Deheuvels, O., Lamanda N., Blazy J-M., Valdés-Gómez, H., Gary, C. 2015. Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agron. Sustain. Dev.*, 35:1373–1390. DOI 10.1007/s13593-015-0317-y.
- Salvador-Morales P, Cámara-Cabrales L, Martínez-Sánchez JL, Sánchez-Hernández R, Valdés-Velarde E. 2019. Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales cacao. *Madera y Bosques* 25: 1.
- Salvador-Morales P, Cámara-Cabrales LDC, Martínez-Sánchez JL, Sánchez-Hernández R, Valdés-Velarde E. (2019) Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y Bosques* 25: 1.
- Sánchez-Soto, S. 2018. Registros de sitios con presencia de *Alouatta palliata* (Gray) (Primates: Atelidae) en la Chontalpa, Tabasco, México. *Revista Nicaragüense de Biodiversidad* 37:3-18.
- Sánchez-Soto, S. 2018. Vertebrados silvestres observados en un huerto familiar de la Chontalpa, Tabasco, México. *Revista Nicaragüense De Biodiversidad* 29:3-39.
- Schroth, G., da Fonseca, A.B., Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L. y Izac, A.M.N. (2004). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press, Washington, USA.
- Schroth, G., Faria, D., Araujo, M., Bede, L., Van Bael, S. A., Cassano, C. R., Oliveira L. C., y Delabie, J. H. (2011). Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 20(8), 1635-1654.
- Şekercioğlu, C. H. (2012). Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal of Ornithology* 153:153-161. DOI: 10.1007/s10336-012-0869-4.

- Şekercioğlu, C. H. 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology and Evolution* 21(8):464-471.
- Serio-Silva J. C., Pozo Montuy G., Díaz López H. M., y Nolasco Caba N. (2006). Los monos saraguatos y araña del estado de Tabasco: un recurso vulnerable. Cuadernos de biodiversidad: publicación cuatrimestral del Centro Iberoamericano de la Biodiversidad 20:17-24.
- Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsidig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edenhofer, O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T. and Minx J. C. (eds.). Cambridge University Press. 1435 pp. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- Somarriba E, Cerda R, Orozco-Aguilar L, Cifuentes M, Da'vila H, Espin T, Mavisoy H, A'vila G, Alvarado E, Poveda V, Astorga C, Say E, Deheuvels O (2013) Carbon stocks and cacao yields in agroforestry systems of Central America. *Agric Ecosyst Environ* 173:46–57
- Somarriba E. (1998) ¿Qué es agroforestería? 03-14 pag. en: Jiménez F. y Vargas A., Apuntes de clases del curso corto: Sistemas Agroforestales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica.
- Sullivan, B.L., C.L. Wood, M.J. Iliff, R.E. Bonney, D. Fink, y S. Kelling (2009). eBird: a citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation* 142: 2282-2292. <https://ebird.org/home>.
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 230: 150-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>.
- Torres-de la Cruz, M. y C.F. Ortiz-García. 2019. El agroecosistema cacao y su función en la conservación de la biodiversidad. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. 111. CONABIO, México, pp. 308-312
- Vaast, P., y Somarriba, E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry systems*, 88(6), 947-956.
- Valenzuela-Córdova, B., Mata-Zayas, E. E., Pacheco-Figueroa, C. J., Chávez-Gordillo, E. J., Díaz-López, H. M., Gama, L., y Valdez-Leal, J. D. D. (2015). Potencial ecoturístico del agrosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) con monos saraguatos (*Alouatta palliata* Gray) en la Chontalpa, Tabasco. *Agroproductividad*, 8(5):3-10.
- Van Bael, S. A., P. Bichier, y R. Greenberg (2007). Bird predation on insects reduces damage to the foliage of cocoa trees (*Theobroma cacao*) in western Panama. *Journal of Tropical Ecology* 23:715–719.

- Vázquez-Navarrete, C. J., E. E. Mata-Zayas, D. J. Palma-López, G. Márquez-Couturier y A. López-Castañeda. 2011. Valoración Económica de los Bienes y Servicios Ambientales en Zonas con Influencia Petrolera en Tabasco. Colección Bicentenario José Narciso Roviroso. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. 100 pp.
- Verified Carbon Standard – Verra. Recuperado de <https://verra.org/project/vcs-program/>
- Wenny, D. G., Devault, T. L., Johnson, M. D., Kelly, D., Şekercioğlu, C. H., Tomback, D. F., y Whelan, C. J. (2011). The need to quantify ecosystem services provided by birds. *Auk* 128(1):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1525/auk.2011.10248>
- Whelan, J.C., Şekercioğlu, C. H. y Wenny, D. G. (2015). Why birds matter: from economic ornithology to ecosystem services. *Journal of Field Ornithology* 156 (Supl. 1): S227-S238. DOI:10.1007/s10336-015-1229-y.
- Williams-Guillén K., (2003). The behavioral ecology of mantled howling monkeys (*Alouatta palliata*) living in a Nicaraguan shade coffee plantation. Doctor Thesis. New York University. 223 pp.
- Wilman, H., Belmaker, J., Simpson, J., de la Rosa, C., Rivadeneira, M. M. y Jetz, W. (2014). EltonTraits 1.0: Species level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology* 95:2027. DOI: <http://dx.doi.org/10.1890/13-1917.1>.
- Xeno-canto (2019). Fundación Xeno-canto; Naturalis Biodiversity Center. Disponible en: <https://xeno-canto.org>.
- Yanes G. M. (1994). El cacao: origen, cultivo e industrialización en Tabasco. UJAT. Villahermosa. 87 p

