



El Colegio de la Frontera Sur

Análisis de los servicios ecosistémicos de los Sistemas Agroforestales Tradicionales y su analogía con la Selva

Tesis

Presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Manejo de Recursos Naturales

Por

Mariana Yazzur Hernández Hernández

2017



Chetumal, Quintana Roo a 28 de Abril de 2017

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Mariana Yazzur Hernández Hernández

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada:

“Análisis de los servicios ecosistémicos de los Sistemas Agroforestales Tradicionales y su analogía con la Selva”.

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Con orientación en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales

Director:

Dr. Pedro Antonio Macario Mendoza

Asesor:

Dr. Jorge Omar López Martínez

Asesor:

Dr. Fabien Sylvain Jacky Charbonnier

Sinodal Adicional:

Dr. José Armando Alayón Gamboa

Sinodal Adicional:

M. en C. Luciano Pool Novelo

Sinodal Suplente:

M. en C. Luis Candelario Sánchez Pérez

DEDICATORIA

A Isabel, Juan Manuel y Mario

A las personas que con sus actos generan realidades en armonía.

AGRADECIMIENTOS

A mi Comité Tutorial, porque juntos construimos esta investigación. Inicialmente al Dr. Pedro Antonio Macario Mendoza por confiar en mi, por su gran apoyo a lo largo de este proceso y por sus sabios consejos. A mis asesores el Dr. Jorge Omar López Martínez por sus ideas innovadoras en investigación y por su energía contagiosa, y al Dr. Fabien Charbonnier por su paciencia y por la forma tan agradable y eficaz de transmitirme sus conocimientos.

Al M.C. Luciano Pool Novelo por su motivación, valiosos comentarios y contribución con su amplia experiencia en suelos. Así mismo al Dr. José Armando Alayón Gamboa por sus oportunas observaciones y contribución con su amplia experiencia en los huertos familiares de Calakmul. Al M.C. Luis Candelario Sánchez Pérez por su apreciable colaboración, acompañamiento y apoyo en distintas fases del proyecto, sobretodo en campo.

A Albert Chan Dzul del Colectivo U Yich Lu'um por abrirnos las puertas y acercarnos a las familias.

A las familias Estrella Martínez, González Santiago, González Martínez, Cahuich Cahuich, Camal Puch, Chuc Camás, López Gutiérrez, Sánchez Cruz y Torres Gómez quienes me recibieron en sus hogares y me compartieron una parte importante de sus vidas, la alimentación.

A quienes pusieron su granito de arena en algún momento de la fase de campo: Juan Manuel, Mario, Isabel, Alicia, Marco, Gerardo y familia.

A mi Familia por siempre apoyarme en mis locuras, abrazarme y amarme: Isabel, Juan Manuel P.H. y Juan Manuel P.P.

A Mario por su amor, apoyo, paciencia, pasión y alegría.

Porque a pesar de la distancia nunca me faltó un abrazo, hogar, palabra, mensaje, oreja o mano amiga. Gracias: Denessi, Mauricio, Jessica, Hugo, Laura, Roberto, Esther, Ivett, Marina, Gissel, Jorge, Cristy, Lalo, Isa, Cruz, Carolina, Zela, Agustín, Leo, Arturo y Rox.

A mis profesores que me guiaron en el camino de la ciencia durante el primer año de la maestría.

A mis compañeros de generación por su apoyo y consejos tanto académicos como administrativos.

A todas las personas que hacen posible que ECOSUR funcione, especialmente al personal del SIBE de todas las unidades por las que pasé, y en particular a José y Gaby de la Unidad Chetumal por su ayuda y disposición a resolver mis dudas.

Este trabajo fue posible gracias al Pueblo de México que a través del pago de impuestos me permitió ser becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural Programa 2015-2016.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Justificación de la investigación	10
Planteamiento del problema	11
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos	13
CAPÍTULO 1	
Los Sistemas Agroforestales Tradicionales en la Provisión de Alimentos bajo el enfoque de Soberanía Alimentaria	14
CAPÍTULO 2	
Variabilidad de la respiración del suelo en dos sistemas agroforestales tradicionales y la selva	51
CONCLUSIÓN.....	79
LITERATURA CITADA	80

RESUMEN

Los ecosistemas proporcionan cuatro tipos de servicios: provisión, regulación, culturales y soporte. Sin embargo, el uso y transformación de los ecosistemas naturales para la obtención de alimentos, ha alterado la capacidad que tienen para brindar otros beneficios como la regulación del clima. La evaluación de los servicios ecosistémicos (SE) es una herramienta útil para destacar su importancia y comprender mejor las funciones del ecosistema. El objetivo del presente trabajo fue analizar los SE de soporte y regulación, mediante la respiración del suelo (Rs) como variable proxy, y servicio de provisión de alimentos bajo el enfoque de Soberanía Alimentaria (SA) de los Sistemas Agroforestales Tradicionales (SAFT) comparados con la Selva. La investigación se desarrolló en tres comunidades aledañas a la Reserva de la Biósfera de Calakmul en tres sistemas: milpa, huerto y selva. El marco teórico-metodológico se basó en la agroecología. Se utilizaron métodos etnográficos y actividades de investigación participativa para describir y analizar los factores que fortalecen la SA, a través del uso de cinco indicadores. Aunado a ello, se midió la Rs en los tres sistemas y se relacionó con la cobertura vegetal y atributos del suelo. Los resultados presentan una descripción y análisis del acceso a los recursos, modelos de producción actuales, patrones de consumo y seguridad alimentaria, comercialización y participación en la toma de decisiones de estas comunidades. A mayor cobertura arbórea en los agroecosistemas, menor la diferencia en el flujo de CO₂ entre la selva y éstos, por lo tanto, con mejoras en su manejo, mayor potencial para proveer SE. Aunque los SAFT son una forma de agricultura ecológica, y representan una fuente importante de obtención de alimentos, es preciso reforzar su modelo de producción, resaltar su importancia y articular las acciones de diversos sectores para asegurar su permanencia y contribución a la soberanía alimentaria.

PALABRAS CLAVE

Soberanía Alimentaria, Respiración del suelo, Cobertura vegetal, Agroecología, Calakmul.

INTRODUCCIÓN

El entorno socioeconómico, cultural y político de los grupos humanos influye en el manejo de los ecosistemas y de los múltiples servicios que les proveen, mismos que a su vez determinan el bienestar de las poblaciones (Daily 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

La iniciativa internacional, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), sintetizó y analizó los vínculos que existen entre los ecosistemas y las sociedades humanas, y propone una clasificación de los servicios ecosistémicos; entre los que destacan los servicios de provisión, tales como el agua, alimentos, fibras y madera. Estos bienes o servicios proporcionan el sustento básico de la vida humana, por lo tanto, cualquier esfuerzo por asegurar su provisión guiará las actividades productivas y económicas, y transformará a los ecosistemas naturales (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009). Los servicios de regulación, circunscriben procesos ecosistémicos complejos, mantienen las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades productivas. Incluyen la regulación climática, la regulación de los vectores de enfermedades y la regulación de la erosión de los suelos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009). Los servicios culturales representan beneficios no materiales como: recreación, desarrollo cognitivo y enriquecimiento espiritual (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Mientras que los servicios de soporte mantienen los procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y por lo tanto el flujo del resto de los servicios (Balvanera y Cotler, 2009).

Las selvas, de acuerdo a la clasificación de Miranda y Hernández (1963) o bosques tropicales (Rzedowsky, 1978) aunque sólo cubren el 6% de la superficie terrestre (Lambin, Turner y Geist, 2001) constituyen los ecosistemas terrestres más ricos y complejos de todas las comunidades vegetales (Rzedowsky, 1978).

Son imprescindibles para la conservación de la vida en el planeta, pues proveen servicios ecológicos, sociales y económicos, tales como conservación del suelo y regulación del ciclo hidrológico (Bonan, 2008), albergan más de la mitad del total de las especies del planeta (Buschbacher, 1990; Turner y Corlett, 1996), regulan el clima mediante los intercambios de energía, agua, dióxido de carbono y otros elementos químicos con la atmósfera (Bonan, 2008) y proporcionan alimentos nutritivos a aproximadamente mil millones de personas en el mundo (FAO, 2014).

La capacidad de los ecosistemas para proveer servicios deriva directamente de la operación de ciclos biogeoquímicos naturales que han sido significativamente modificados, en algunos casos debido a las modificaciones humanas (Millennium Ecosystem Assessment, 2015).

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), estima que la deforestación y degradación de los ecosistemas forestales representa del 18 al 20% de las emisiones de CO₂ en el planeta y necesita ser controlada (IPCC, 2001; Gamboa y Criollo, 2011). Sin embargo, la deforestación ha ido en aumento, tan solo en Latinoamérica y el Caribe, donde se encuentran las áreas más extensas de selva, se han perdido 179, 405 km² de vegetación arbórea entre el 2001 y 2010 (Aide *et al.*, 2013).

Aunado a ello, durante las últimas décadas se ha fomentado una creciente expansión hacia la agricultura industrial (Altieri, 2009). Este uso y transformación de los

ecosistemas naturales para la obtención de alimentos, ha alterado la capacidad que tienen para brindar otros beneficios como la regulación del clima (Balvanera y Cotler, 2009). Es decir, se ha favorecido a los satisfactores a corto plazo a costa de aquellos a mediano y largo (Balvanera y Cotler, 2009).

Los sistemas de producción intensivos, tanto agrícolas como ganaderos y plantaciones forestales comerciales, han devastado un gran número de ecosistemas naturales y tradicionales, en donde la diversidad biológica ha sido remplazada por monocultivos diseñados para una máxima producción a corto plazo. Los ecosistemas resultantes, altamente simplificados, son inestables, insostenibles y poco resilientes, pues requieren de considerables insumos externos (Senanayake, 2003; Altieri y Nicholls, 2013). A nivel mundial, aproximadamente el 80% de los 1.5 billones de hectáreas de tierras cultivables está ocupada por monocultivos (Nicholls *et al.*, 2015).

Los agroecosistemas, dependiendo de su manejo, pueden ser reservorios de biodiversidad (Perfecto *et al.*, 2009), contribuir a reducir la presión de la deforestación de nuevas áreas para la agricultura (Moreno-Calles *et al.*, 2013) y son una alternativa sostenible a la adaptación y mitigación del cambio climático (Cassanova-Lugo *et al.*, 2011; Altieri y Nicholls, 2013).

Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra en donde plantas leñosas perennes están asociadas con cultivos dentro de una variedad de esquemas espacio-temporales (Nair, 1993; Sánchez, 1995; Wojtkowski, 2002). Su principal función es diversificar la producción para obtener mayores beneficios sociales, económicos y ambientales, respetando el principio de sostenibilidad. Ello, ha atraído cada vez más la atención de los científicos que trabajan en la gestión integrada de los recursos naturales

y la conservación de la biodiversidad, especialmente en los países tropicales. Los agricultores de muchos sistemas agrícolas tradicionales han mantenido o incluido árboles como parte del paisaje durante miles de años para proporcionar beneficios tales como la sombra, el abrigo, la alimentación humana y animal (Sodhi y Ehrlich, 2010).

La agroforestería puede beneficiar a la conservación de la biodiversidad en tres formas; provisión de hábitat adecuado para las especies forestales en zonas que han sufrido deforestación histórica significativa, provisión de una matriz de paisaje que permite el movimiento de especies entre los remanentes de bosque, y la provisión de los medios de vida para la población local, que a su vez puede aliviar la presión sobre las áreas restantes de bosque primario (Sodhi y Ehrlich, 2010).

En Mesoamérica, los indígenas crearon una cultura agrícola basada en la coexistencia y aprovechamiento ingenioso de la enorme diversidad de espacios, ecosistemas y especies disponibles en sus territorios. Este uso no especializado de la tierra genera paisajes con mosaicos heterogéneos en los que se entremezclan comunidades rurales, huertos, milpas, pequeñas plantaciones, acahuales y bosques, en lugar de grandes plantaciones de monocultivos (Soto y García, 2015). Tales mosaicos heterogéneos son el resultado de la interacción a largo plazo entre los seres humanos y su ambiente, e implica un aprovechamiento e intervención frecuentes más no destructivos (Ichikawa y Toth, 2012).

A este conocimiento y prácticas ecológicas desarrolladas e implementadas por indígenas y culturas locales se le ha denominado “Traditional Ecological Knowledge” (TEK) o conocimiento indígena (IK por sus siglas en inglés) y ha sido propuesto como una importante línea de estudio que respeta, preserva, mantiene el conocimiento

tradicional, y asimismo contribuye a la conservación de la biodiversidad (Martin *et al.*, 2010; Ichikawa y Toth, 2012).

Las estrategias agrícolas, hortícolas y forestales de la cultura maya están basadas en el policultivo, la selección de variedades para su adaptación a distintas franjas climáticas, y en el aprovechamiento del espacio vertical y horizontal estratificado tal como se presenta en la naturaleza (Barrera *et al.*, 1997; Ford y Nigh, 2015). Tal es su conocimiento del aprovechamiento del espacio, que incluso tienen denominación en lengua maya para cada uno de los estratos y etapas de la vegetación (Velazco, 1999).

A este tipo de sistemas agroforestales se les denomina “multiestrato” (Hernández, 1970; Hart, 1980; Nair y Garrity, 2012), o análogos a ecosistemas “naturales” (Hart, 1980). Moreno-Calles *et al.*, (2013) identificaron 20 diferentes sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) en México, mismos que actualmente se encuentran en uso. Aquellos con características de sistemas multiestratos son los agrobosques (agroforest, kuojtakiloyan, te´lom y cacaotal) y huertos (calmil, solar, ekuaro, homegarden), ambos comparten estructuras arquitectónicas similares (De Clerck y Negreros-Castillo, 2000). Los agrobosques (bosques intermedios, bosques artificiales, bosques alterados, agroforests), son espacios donde los seres humanos han dirigido la composición de los árboles de acuerdo con sus necesidades, pero preservan características estructurales y procesos ecológicos que se desarrollan en los bosques considerados naturales (Torquebiau, 2000; Wiersum, 2004; Moreno-Calles *et al.*, 2013).

La estructura y composición de los huertos en Mesoamérica es compleja, pues contienen varios estratos horizontales y verticales, en donde dominan las especies perennes y se emula a los bosques (Montagnini, 2006; Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Mientras que los agricultores en cada parcela bajo manejo agroforestal pueden tener no más de 40 especies silvestres y cultivadas, a nivel de paisaje los agrobosques y huertos presentan hasta 400 especies (*te'íom*, *kuojtakiloyan* y *huertos*) (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

En la península de Yucatán la agroforestería ha existido desde hace miles de años a través de los sistemas tradicionales de manejo de los recursos naturales. Estas prácticas aún existen en las comunidades rurales (Ellis y Porter, 2007; Ford y Nigh, 2015). Junto con el monte y la milpa, el solar constituye el otro espacio productivo, reproductivo y social de los campesinos de la Península de Yucatán (Estrada *et al.*, 1998). A diferencia del monte, que es un espacio abierto, el solar es cerrado y para la convivencia familiar. Lo conforman las áreas abiertas que rodean la casa habitación, y secundariamente, algunos terrenos urbanos, sin habitación alguna. A veces se les denomina, solar o patio, o Tankab y Kuch en maya, está ocupado por plantas y animales. La mayoría de los árboles ocupan la parte posterior del solar. Los espacios más dinámicos, son los más cercanos a la casa (Terán y Rasmussen, 2009).

Los huertos o solares, tienen una importancia relevante en la obtención de alimentos, pero menor comparada con la milpa, ya que en ésta última se siembran a gran escala los alimentos principales, tales como maíz, frijol, calabaza y chile. No obstante, históricamente y desde el punto de vista productivo, han jugado un papel estratégico para la supervivencia de la familia, ofreciendo recursos alimenticios complementarios a la milpa en años buenos, y esenciales en años de escasez. Por otro lado, los alimentos ahí obtenidos, tienen la característica de ser intercambiables por otros productos y por

dinero (Terán y Rasmussen, 2009), de tal manera que complementan la economía familiar (Caballero, 2000).

En las selvas, las especies encontradas tienen diferente arquitectura, configuraciones de doseles, edades, etapas de desarrollo, tasas de crecimiento y mortandad (Oldeman, 1998). Son los árboles, enredaderas, arbustos y herbáceas los que ocupan nichos que cambian en tiempo y espacio (De Clerck y Negreros-Castillo, 2000). Las diferentes alturas y formas de estas especies permiten una distribución y uso de la radiación solar en todos los estratos (Oldeman, 1998).

La dinámica natural de los sistemas análogos ocurre de manera similar a la de la selva, pues en este sistema policultivo, las plantas están distribuidas tanto horizontal como verticalmente (Oldeman, 1983; Del Amo y Ramos, 1993). Además, no presentan una sola etapa de desarrollo, sino una sucesión, lo que permite tener cultivos tolerantes a la sombra y aquellos que aprovechen mejor la luz solar (De Clerck y Negreros-Castillo, 2000). Estas plantas de importancia antropogénica, cumplen funciones ecológicas similares a las especies nativas, pero también suplen necesidades de los humanos y proveen servicios ambientales (Senanayake, 2003).

Tales condiciones y dinámica de los sistemas análogos, permite que se pueda producir el doble de biomasa comestible en comparación a los monocultivos (Del Amo y Ramos, 1993). Se ha comprobado que la viabilidad de un agroecosistema está relacionado directamente con la similitud que éste tiene con los ecosistemas naturales del mismo ambiente (Hart, 1980).

Verchot *et al.* (2007), Balvanera y Cotler (2009), Soto-Pinto *et al.* (2010) y Cassanova-Lugo *et al.* (2011) reconocen el potencial de los sistemas agroforestales tradicionales

para desarrollar sinergias entre la mitigación del cambio climático (mediante la captura de carbono) y la adaptación de los pequeños agricultores a las consecuencias negativas de estos cambios (Vallejo *et al.*, 2011).

Por ello, a la par de conservar la diversidad biológica y mantener los procesos naturales de los ecosistemas, los sistemas análogos proveen de productos y alimentos a las comunidades rurales destinados al autoabastecimiento y/o a la comercialización (Del Amo y Ramos, 1993). Lo anterior contribuye a la generación de ingresos y a la seguridad y soberanía alimentaria (FAO, 2014).

La soberanía alimentaria (SA) es un concepto propuesto durante la Cumbre Mundial de la Alimentación en 1996 por diversas organizaciones campesinas; la cual plantea que en materia de alimentación, cada pueblo tiene el derecho de definir sus propias políticas agropecuarias a fin de alcanzar metas de desarrollo sustentable y autosuficiencia (Vía Campesina 1996). La SA se sustenta en sistemas diversificados de producción local para la obtención de alimentos nutritivos e inocuos (Rosset y Martínez 2004; Cuéllar y Sevilla 2009). Asimismo, considera a los agricultores como guardianes de la biodiversidad, administradores de los recursos naturales y depositarios del conocimiento (Rosset y Martínez 2004).

Sin embargo, para la implementación de una propuesta de la SA, se ha visto la necesidad del uso de herramientas para su análisis, comunicación y evaluación (Ortega-Cerda y Rivera-Ferre 2010). Estos autores han categorizado y estructurado cinco indicadores: (i) consumo alimentario y derecho a la alimentación, (ii) modelos de producción, (iii) transformación y comercialización, (iv) acceso a los recursos y (v) políticas agrarias.

Justificación de la investigación

El estudio de los SAFT, es una línea de investigación que permitirá documentar la experiencia milenaria para atender necesidades técnicas actuales en manejo de los recursos vegetales (Caballero, 2000; Blancas *et al.*, 2010; Moreno-Calles *et al.*, 2013; Martin *et al.*, 2010).

Moreno-Calles *et al.* (2013) puntualizan en encaminar dicha línea de investigación a conocer el estado actual de los SAFT, realizar precisiones acerca de su ubicación y extensión en el país, inventarios de su flora y fauna, de sus transformaciones, de las problemáticas particulares que tiene cada uno de ellos actualmente y evaluar su importancia en la satisfacción de las necesidades de subsistencia de las familias y comunidades rurales.

Los agroecosistemas forestales con su capacidad de transformar el carbono inorgánico de la atmósfera en orgánico a través de la fotosíntesis, desempeñan un papel clave en la captura y ciclo del carbono a escala global y local (Peng *et al.*, 2008). Gomes *et al.* (2016) resaltan que a pesar de que se ha estudiado sobre las reservas de carbono de los suelos de los bosques y los agroecosistemas en regiones tropicales, aún sigue existiendo cierta incertidumbre sobre los factores que controlan las pérdidas de carbono del suelo (flujo de CO₂) y cómo las prácticas agrícolas podrían mitigar las emisiones de CO₂ en estos ecosistemas.

La presente investigación se desarrolló en tres comunidades aledañas a la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC). Dicha reserva, se enfrenta al reto de hacer coincidir la conservación de su diversidad biológica con la subsistencia de las comunidades humanas que en ella habitan (Bohn *et al.*, 2014).

En este contexto, la relevancia de esta investigación recae en la generación de evidencia cualitativa sobre el rol de los SAFT en la provisión de alimentos bajo el enfoque de Soberanía Alimentaria e información cuantitativa a través de la medición de la respiración del suelo como parte fundamental del ciclo del carbono. Dicha información dará la pauta para resaltar la importancia de mantener y diseñar agroecosistemas que contribuyan a la conservación de la biodiversidad, procesos ecológicos y provisión de alimentos.

Tal como lo señala Sosa (2014), para sugerir alternativas de conservación acordes con la producción agrícola, es preciso estudiar a la agricultura tradicional bajo una visión integral, analizando los elementos, componentes e interacciones ecológicas, socioeconómicas y culturales que van más allá de la actividad productiva principal.

Planteamiento del problema

Los sistemas agroforestales tradicionales a pesar de sus múltiples beneficios (Hernández 1985; Verchot *et al.* 2007; Sodhi y Ehrlich 2010; Soto-Pinto *et al.*, 2010; Casanova-Lugo *et al.*, 2011; Moreno-Calles *et al.*, 2014) se encuentran en una constante transformación (González, 2012). Por ejemplo, se ha registrado una disminución de los componentes forestales, así como cambios en su riqueza, composición y diversidad (Moreno-Calles *et al.*, 2013). Estas transformaciones ponen en riesgo su permanencia, y modifican las dinámicas ecológica y social que mantienen. (Moreno-Calles *et al.*, 2013). Por tales motivos, surge la necesidad de generar información acerca de su importancia alimentaria y ecológica.

La evaluación de los servicios ecosistémicos es una herramienta útil para el monitoreo de las funciones de un ecosistema, su integridad y su evolución en el tiempo (Daily,

1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009). Sin embargo, debido a sus distintas escalas espaciales y temporales, los servicios ecosistémicos resultan difíciles de medir directamente, no obstante, algunos procesos ecológicos como la fotosíntesis o los depósitos de nutrientes como parte de los ciclos biogeoquímicos, son fácilmente medibles a escalas locales y se usan como proxies o indicadores (Rapidel *et al.*, 2011; Taugourdeau *et al.*, 2014; Stephens *et al.*, 2015). En el presente trabajo planteamos a la respiración del suelo como variable proxy.

Por otro lado, debido a la complejidad del concepto de la Soberanía Alimentaria, el uso de indicadores permite medir y sistematizar las características específicas en torno al concepto y demostrar el alcance de su influencia a nivel local (Ortega-Cerda y Rivera-Ferre, 2010; Simón y Alemán, 2010).

La presente investigación está basada en la siguiente pregunta general:

¿Cómo contribuyen los agroecosistemas tradicionales y la selva al mantenimiento de servicios ecosistémicos de soporte y regulación (respiración del suelo), así como de provisión (diversidad y origen de productos alimenticios)?

Objetivo general

Analizar los servicios ecosistémicos de soporte y regulación, a través de la respiración del suelo como variable proxy, y servicio de provisión de alimentos bajo el enfoque de Soberanía Alimentaria de los Sistemas Agroforestales Tradicionales comparados con la Selva.

Objetivos específicos

- Caracterizar los factores que fortalecen a la soberanía alimentaria en torno a los sistemas agroforestales tradicionales, a través del uso de indicadores.
- Determinar por unidad doméstica el porcentaje de alimentos que proviene de especies vegetales comestibles en los sistemas agroforestales tradicionales.
- Cuantificar el flujo de CO₂, como variable proxy del servicio ecosistémico de regulación, en dos agroecosistemas tradicionales y la selva.
- Estudiar el efecto de los atributos físico-químicos del suelo y la cobertura arbórea en la respiración del suelo.

El presente trabajo de investigación se compone de dos capítulos: 1) Los Sistemas Agroforestales Tradicionales en la Provisión de Alimentos bajo el enfoque de Soberanía Alimentaria y 2) Variabilidad de la respiración del suelo en dos sistemas agroforestales tradicionales y la selva.

Las hipótesis, materiales y métodos, resultados, y discusión relacionados a cada uno de los objetivos específicos se exponen en los capítulos respectivos.

CAPÍTULO 1

Los Sistemas Agroforestales Tradicionales en la Provisión de Alimentos bajo el enfoque de Soberanía Alimentaria

Artículo enviado a: Journal of Ethnobiology

Traditional Agroforestry Systems in the Food Supply under the Food Sovereignty Approach

Mariana Y. Hernández¹, Pedro A. Macario^{1*} and Jorge O. López-Martínez¹.

¹Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal. Av. Centenario km. 5.5. CP.77900. Quintana Roo, México.

*Corresponding author. E-mail: pmacario@ecosur.mx

Abstract

Intensive production systems have damaged many natural ecosystems and have altered their capacity to provide ecosystem services such as climate regulation, soil fertility and vector-borne disease control. Therefore, these agroecosystems are unsustainable and poorly resilient. However, Traditional Agroforestry Systems (TAS) contribute to the conservation of biodiversity and to the provision of inputs for the maintenance of local populations. The objective of this study was to evaluate the contribution of the TAS in the food supply under the Food Sovereignty (FSv) approach in three different cultures. The study was conducted in three communities of different origin in the State of Campeche, one Maya Tseltal-Chol, the other Mestizo and the third Yucatec Mayan. The theoretical-methodological framework of this research was based on Agroecology. Ethnographic methods and participatory research activities were carried out in order to describe and analyze the factors that strengthen Food Sovereignty, through the use of five FSv indicators. Our results present a description and analysis of resource access, current production models, patterns of consumption and food security, commercialization and participation in decision-making of these communities. Traditional agroecological management practices are still preserved and native species are still being cultivated. Farmers obtain about 55% of their food from TAS. The consumption of food is influenced by the culture, the purchasing power linked to economic activities and

government support. TAS have played a strategic role for the survival of families but to ensure their contribution to FSv, it is necessary to articulate the actions of the sectors that share the same objective.

Keywords: Traditional Agroforestry Systems, Food Sovereignty, Participatory research, Agroecology, Food consumption.

Introduction

Intensive production systems, both crop and livestock-oriented, have disrupted and devastated many natural and traditional ecosystems, where biodiversity has been replaced by monocultures designed for maximum short-term production (Senanayake 2003; Balvanera and Cotler 2009; Altieri and Nicholls 2013). These highly simplified ecosystems are unstable, unsustainable, and poorly resilient since they use high amounts of external inputs (Senanayake 2003; Altieri and Nicholls 2013). Approximately 80 % of the 1.5 billion hectares of global arable land are devoted to monocultures (Nicholls et al. 2015).

Given this scenario, initiatives that apply and combine Agroecology with indigenous knowledge systems have emerged (Altieri 2009). These initiatives have demonstrated that it is possible to improve food security while conserving natural resources and agrobiodiversity (Pretty et al. 2003; Altieri 2009).

Food Sovereignty (FSv) is a concept developed by the international peasants movement at the World Food Summit 1996 and it states that in terms of food, every community has the right to define its own agricultural policies in order to achieve sustainable development and self-sufficiency goals (Vía Campesina 1996). FSv is based on locally produced species grown in diversified systems to obtain safe and nutritious food (Rosset

and Martínez 2004, Cuéllar and Sevilla 2009). It also considers farmers as guardians of biodiversity, managers of natural resources and custodians of traditional knowledge (Rosset and Martínez 2004).

However, to successfully implement a FSv proposal, tools for analysis, communication and evaluation are needed (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). These authors have categorized and structured five indicators: (i) Access to resources: Individual and community processes of access and control over resources in a sustainable way; (ii) Production models: Diversified local family production through traditional models of sustainable agricultural production; (iii) Safety and food consumption: The right to the consumption of healthy, nutritious and culturally appropriate food from local producers and produced through agroecological techniques; (iv) Transformation and commercialization: Peasants right to sell their products to supply the local population; (v) Agricultural policies: The peasant has the right to know, participate and influence local public policies related to Food Sovereignty.

On the other hand, Agroecology is defined as: "The application of ecological concepts and principles to the design and management of sustainable agroecosystems" (Gliessman 2007: 18; Altieri 2009: 26). This science is directly linked to the consolidation and defense of the proposals associated with FSv (Cuéllar and Sevilla 2009).

Agroecosystems under agroecological management can be reservoirs of biodiversity (Perfecto et al. 2009), they contribute to reduce the pressure of deforestation of new areas for agriculture (Moreno-Calles et al. 2013) and they represent a sustainable alternative to the adaptation and mitigation of climate change (Casanova-Lugo et al. 2011; Altieri and Nicholls 2013). Particularly, agroforestry systems keep groups of trees and crop species interacting in multistrata systems (Nair 1993; Sánchez 1995;

Wojtkowski 2002). Its main function is to diversify production to obtain greater environmental, social and economic benefits, following the principle of sustainability (Sodhi and Ehrlich 2010). Agroforestry can benefit biodiversity conservation in three ways: the provision of habitat for forest species in areas that have suffered significant historical deforestation, the provision of a landscape matrix that permits the connectivity of species that benefits migration and dispersal processes, and the provision of livelihoods for local communities which may in turn relieve pressure on remaining areas of primary forest (Sodhi and Ehrlich 2010). In addition, agroforestry systems contribute to climate change mitigation through carbon sequestration (Verchot et al. 2007, Soto-Pinto et al. 2010, Casanova-Lugo et al. 2011).

In Mexico, traditional agricultural systems and practices based on empirical knowledge developed by farmers are highly important because of their potential benefits, history and diversification (Hernández 1985; Moreno-Calles et al. 2014). The slash-and-burn milpa system (with a long period of non-cultivated land) where maize (*Zea mays* L.), bean (*Phaseolus* spp.), and squash (*Cucurbita* Spp.) are cultivated with many other crops, and the types of homegardens: *solar*, *calmil*, *ekuario* and *traspatio* (Hernández 1985; Moreno-Calles et al. 2014) are among the most significant practices of traditional agroforestry.

In this context, this research was conducted in three communities surrounding the Calakmul Biosphere Reserve (CBR). Moreover, the reserve faces the great challenge of reaching a balance between the conservation of its biological diversity and the survival of the human communities that inhabit it (Bohn et al. 2014).

Based on the information above, we hypothesized that Traditional Agroforestry Systems (TAS) are type of ecological agriculture and represent an important source of food to

meet dietary needs of local populations. The present study aims to answer: What is the role of Traditional Agroforestry Systems (TAS) in the food supply under the approach of Food Sovereignty? To achieve that, we propose the following specific objectives: 1) Describe and analyze the access to resources, models of production, the marketing mechanism and some of the agricultural policies implemented in our study area; and 2) Determine per household the percentage of food that comes from traditional agroforestry systems.

Methodology

Study Area

This research was carried out in three communities that are part of the Calakmul Biosphere Reserve (CBR) in Campeche, Mexico (Figure 1). Unión 20 de Junio (Mancolona) located to 43 km to the north of Xpujil, the municipality, 20 de Noviembre located 15.5 km to the southwest ($18^{\circ} 27' 06''$ N and $89^{\circ} 18' 25''$ W) and Narciso Mendoza located 33 km to the south ($18^{\circ} 13' 50''$ N and $89^{\circ} 27' 12''$ W).

This region's climate is warm sub-humid A_{w1} with an average annual temperature of 24.9°C . Mean annual rainfall varies from June to November, averaging 1,000 – 1,500 mm per year. The dry season is from December to April, with over 50 mm during January, which allows agricultural production in autumn and winter (Pool et al. 2000, Villalobos-Zapata and Mendoza 2010).

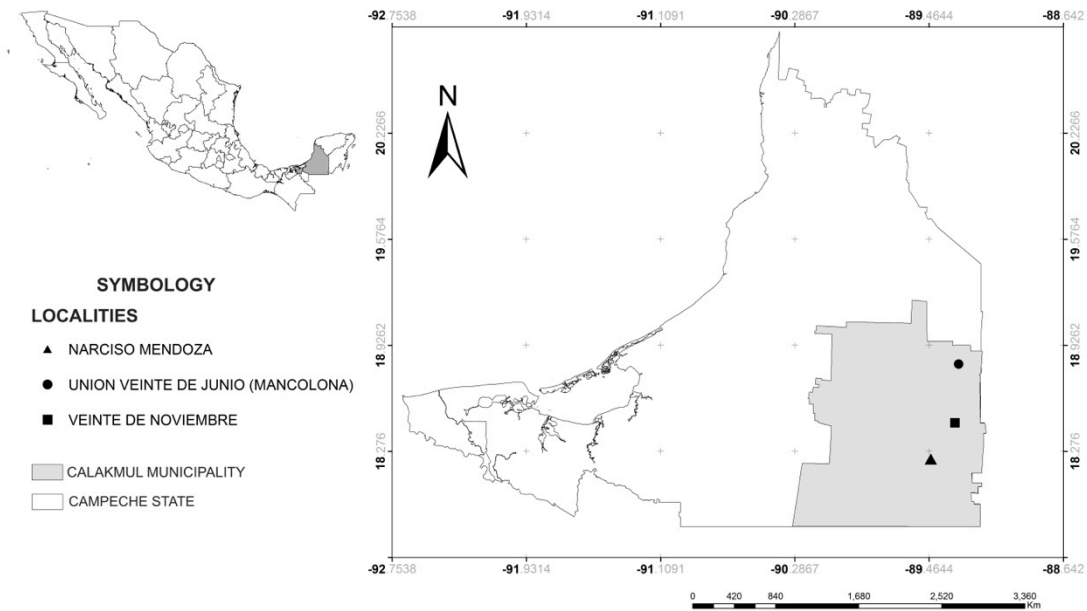


Figure 1. Study area location

The water table is between 60 to 300 m above sea level with high gypsum content, so the water is not suitable for drinking or irrigation. It has karst landscapes with high rates of permeability, therefore, water draining is intermittent (Municipio de Calakmul and Proyecto Prosureste GPZ-CONANP 2015). Calakmul is located in the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), therefore presents periodic droughts and hurricanes, to which the peasants have to adapt (Vallejo et al. 2011).

The most representative soils in the area are rendzinas, gleysols, vertisols and lithosols (INECOL 1999; Pool et al. 2000). Calakmul contains the most extensive forest area of the Mexican tropic, whose climatic and edaphic characteristics have the peculiarity of forming a mixture of forest landscapes: mainly medium semi-evergreen forest, subdeciduous forest, low forest and savannah floodplains (Pool et al. 2000; Martínez and Galindo-Leal 2002; Noriega-Trejo and Arteaga 2010).

Calakmul is characterized by a constant fluctuation in the occupation of the land, its society is composed of settlers from 23 states of the country with a strong indigenous component (Gurri et al. 2002, Ellis and Porter 2007). Migration has contributed to the high cultural diversity in the region, and it has also created a vegetation mosaic with different types of land use, intensities and types of production (Municipio de Calakmul and Proyecto Prosureste. GPZ-CONANP 2015; Bovin et al. 2000). Nevertheless, these communities are in a region with poor soil and highly unstable rainfall, which leads to a low agricultural production (Ellis and Porter 2007).

In the study area, a subsistence-oriented peasant economy predominates, but more and more production units are incorporated into a market economy. The main economic activities are agriculture and livestock production. Animal husbandry is carried out in homegardens (91%) and the rest in pasture areas (Gurri et al. 2002; Municipio de Calakmul and Proyecto Prosureste. GPZ-CONANP 2015). There are also important groups that produce honey, allspice, chewing gum resin and chili. The total land area used for growing maize covers more than 10,000 hectares, with a production dedicated to self-consumption and with yields of 0.8 ton / ha (Municipio de Calakmul and Proyecto Prosureste. GPZ-CONANP 2015). Maize, chihua squash, chili and beans are cultivated in the milpa (Gurri et al. 2002).

The community Unión 20 de Junio (Mancolona) has a total population of 449 inhabitants, 87% belong to an indigenous group. On 20 de Noviembre there are 218 inhabitants and 39% Indigenous people. Finally Narciso Mendoza has a population of 364 inhabitants and only 2.8% speak some indigenous language (INEGI 2010).

Sampling design

This study was conducted in three communities that represent three different cultural backgrounds: Tseltal-Chol Mayan (Unión 20 de Junio), Yucatec Mayan (20 de Noviembre) and Mestizo (Narciso Mendoza). Altogether nine families, three in each village, were chosen based on the ethnic origin and were identified for share certain characteristics: migrants, pluriactive families and agricultural management practices. Both communities and families were chosen using local knowledge and guidance from key actors. The sampling design was stratified in order to observe the differences in their food consumption and production.

Data collection

The theoretical-methodological framework of this research was based on Agroecology (Altieri 2009). Ethnographic methods for the identification and analysis of social problems regarding food sovereignty of the communities were used (Hernández 1985); participant observation, semi-structured interviews, a field log, a diagnostic workshop and documentary research were also used (Huntington 2000; Martin et al. 2010; Chablé-Can et al. 2015).

The study was carried out from January to October 2016 (with a total of three previous visits in the area and six visits to families who decided to participate in the project with informed consent). To obtain data, the five indicators of FSv were taken as a guide (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). Additionally, based on what Bello and Estrada described (2011), six production and man-nature interaction systems were defined for the Calakmul peasants: milpa, homegarden (dooryard garden or solar), secondary vegetation (known as *acahual*), ranch (plot) and the forest (known as *monte*).

A) Access to resources

The first indicator considers the access to natural resources as water, land, forests, animals, seeds, infrastructure and basic services (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). The data was collected using a field log, semi-structured interviews to key actors and participant families, field visits to the communities and documentary research.

B) Production model

This indicator contemplates the use of traditional agroecological and sustainable practices into consideration, as well as diversified family production (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). The information was collected using a field log, semi-structured interviews, participant observation and field visits to the agroecosystems. Because milpa and homegardens are the main food supply systems, only these production systems were taken for the analysis of this indicator.

C) Security and food consumption

Origin of food, consumption of food, culturally appropriate food and temporality of food were considered for this indicator (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). The percentage of food produced in traditional agroecosystems, the forest, and non-local production systems was recorded using and adapting the dietary diversity tool (Hoddinot 2001) through a participatory diagnostic workshop (Chablé-Can et al. 2015). To carry out this activity, families were summoned two days before. Once in the workshop, family members wrote down in a piece of paper each of the foods they consume throughout the year, their origin (production or purchase), the frequency with which they consume those food items and the season of the year in which those foods are produced. In terms of frequency, seven categories were made and a numerical value was assigned to each category: occasional (1), seasonal (2), monthly (3), every two weeks (4), weekly (5),

three times a week (6) and daily (7). For every food item, a sum of frequencies was made by families and finally by cultural-ethnic group. Regarding the origin of the food, the participants indicated the place of production and/or purchase. 27 people aged between 9 and 55 years participated in the workshops. This technique allowed the social actors to play an active role in the execution of the research process.

D) Transformation and commercialization

This indicator includes local marketing, direct selling or with a minimum of intermediaries (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). To collect this data we used semi-structured interviews, participant observation and some of the information derived too from the participatory diagnostic workshop.

E) Agricultural policies

The last indicator considers participation in decision-making and peasant social organization related to food production, consumption and commercialization (Ortega-Cerda and Rivera-Ferre 2010). This information was collected through semi-structured interviews to key actors and participant families as well documentary research.

Data analysis

In order to organize, describe and interpret the data collected in the field, the information was classified according to the corresponding food sovereignty indicator, using the qualitative method of data analysis described by Miles and Huberman (1994), which consists of three phases: data display, data reduction and conclusion drawing and verification. This method was enriched with the coding tool (Miles and Huberman 1994; Patton, 2002). The numeric values to obtain descriptive statistics were analyzed in R Studio Software.

Results

Indicators of Food Sovereignty

A) Access to resources

The people from Unión 20 de Junio (La Mancolona) arrived to Campeche in 1978 but in 1989 when the Calakmul Biosphere Reserve was established, the community overlapped with CBR core area. As a consequence the community moved again to the CBR buffer zone, where nowadays, 60 small co-owners have private lands (Mendez-Lopez et al. 2014). The *ejido* Narciso Mendoza was founded in 1976 with 51 ejidatarios originating from Tabasco and Veracruz. The ejido extension is 3,979 hectares (Barbosa et al. 2010). The *ejido* 20 of November was founded in 1970 with Yucatecan Mayas originating from Dzitbalché, Campeche. They are 100 *ejidatarios* and the *ejido* extension is 36,800 hectares (Barbosa et al. 2010).

Access to water is limited, especially in times of drought. Agriculture in the three communities is rainfed. Respect to water consumption for domestic use (Table 1), most households obtain it from rainwater harvesting systems, either in the community or through water tanks in their homes. The only community that has water wells in their homes for the extraction of the resource is 20 de Noviembre. Families reported that during drought season they occasionally use domestic water to water some plants grown in the homegarden.

Families conserve and grow their own seeds, even some have brought them from their places of origin. However, through the government machining program they are given improved maize seed.

Tabla 1. Food Sovereignty Indicator. Access to resources: natural resources, infraestructure and basic services

Community-Indigenous Group	Resources			
	Water	Land/Forest	Seeds	Infraestructure and basic services
Unión 20 de Junio (Tseltal-Chol Mayan)	Rainwater harvesting communitary system (waterhole)	Private	Conserve and cultivate their own seeds. Receive maize seeds from a gubernamental program.	Population with access to health service 94% and with schooling 93%. Homes with electricity: 91%. Connected to the municipality by highway.
Narciso Mendoza (Mestizo)	Piped water and rainwater harvesting per home and communitary	<i>Ejidal</i>		Population with access to health service 59% and with schooling 90%. Homes with electricity: 93%. Connected to the municipality by highway
20 de Noviembre (Yucatec Mayan)	Water well at home	<i>Ejidal</i>		Population with access to health service 58% and with schooling 94%. Homes with electricity: 96%. Connected to the municipality by highway

Source: Own elaboration based on the information obtained from the interviews and INEGI (2010)

According to the social, economic and demographic indicators of the National Population Council (CONAPO), the three communities have a high rate of marginalization (CONAPO 2010).

B) Production Model

The production model in the three communities follows a similar pattern of management with a considerable gender distribution of work. When cultivating and maintaining traditional milpa, no fossil energy source is used since it is the family work (mainly of the men) what sustains this system.

Within the milpa system, people still cultivate varieties of squash (*Cucurbita pepo*), beans (*Phaseolus vulgaris*), chihua (*Cucurbita argyrosperma*) and xpelon (*Vigna unguiculata*). However, improved maize seeds (*Zea mays*) have been incorporated to this traditional system. Another way of making milpa is through agroforestry systems, since some fruit and timber species have been established in combination with annual crops.

Regarding homegardens, which are also known as *solares*, it was observed that it is also the family work that supports this system. In general, women are responsible for their management. However, men perform certain activities such as pruning and sowing. Management practices include pruning trees, which is not done periodically, only when an heliophilous crop such as beans or maize is cultivated. On the other hand, logging mahogany trees to use their wood was observed in two dooryard gardens. No fertilization is carried out, and even in more than half of the homegardens, plant litter and residuals of some crops are collected and burned. There is no composting of the organic waste generated in the domestic unit, since they use this waste to feed their animals. Weeding is done by hand with the help of hoe or a machete. No problems related to severe pest attacks were reported, because as farmers mentioned, their chickens serve as a biological control method when feeding on insects.

C) Security and Food Consumption

A total of 127 foods consumed were registered, on average 60 foods per family. Appendix A shows the classification of foods per origin (plant, animal, mineral and industrial) and use (Tables 3 and 4).

Origin of Food

From the 127 foods consumed, 70 (55%) are produced. Of these 70, 55% come from homegarden, ranch and/or *milpa*, while 33% is exclusively produced on homegardens, 7% on ranch and 5% in *milpa*. The purchased foods are 39 (34%), and people get them more frequently in Distribuidora Conasupo S.A. de C.V. (Diconsa) and local grocery stores; they also get them at supermarkets, market, and sellers from the municipality. Although six (5%) of the 127 foods are produced regularly, people buy them in times of shortage, these are: maize (*Zea mays*), bean (*Phaseolus vulgaris*), egg, chicken (*Gallus*

gallus domesticus), banana (*Musa sp.*) and tomato (*Solanum lycopersicum*). Finally, 6% is harvested or hunted in the forest or *acahual*. On average, the community that produces the most food is Narciso Mendoza (36), while the one that buys more food is 20 de Noviembre (29) (Figure 2).

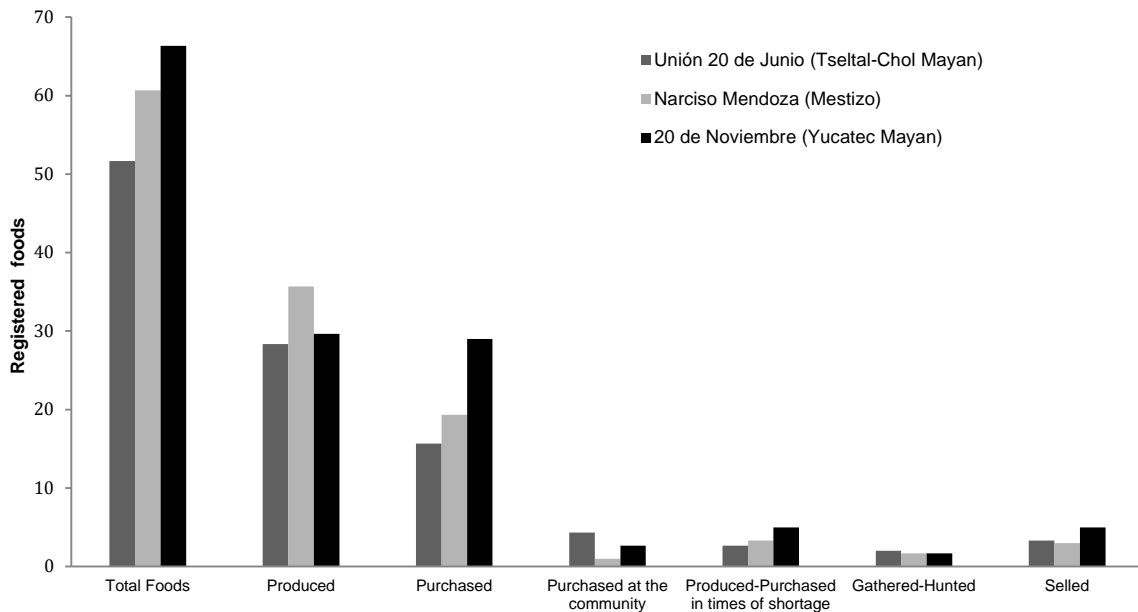


Figure 2. Origin of food: Differences between communities.

Consumption of food

The most frequently consumed foods are: oil, salt, corn (*Zea mays*), onion (*Allium cepa*), tomato (*Solanum lycopersicum*), sugar, beans (*Phaseolus vulgaris*), egg, rice (*Oryza sativa*), instant coffee, habanero pepper (*Capsicum chinense*), potato (*Solanum tuberosum*), lemon (*Citrus latifolia*), chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), allspice (*Pimenta dioica*), chicken (*Gallus gallus domesticus*), chayote (*Sechium edule*), banana (*Musa sp.*), soft drink, cilantro (*Coriandrum sativum*), carrot (*Daucus carota*), cabbage (*Brassica oleracea*), yucca (*Manihot esculenta*), sweet potato (*Ipomoea batatas*), orange (*Citrus sinensis*), chili (various), fish (unidentified), garlic (*Allium sativum*), coconut (*Cocos nucifera*), pasta, pork (unidentified), bread, lentil (*Lens culinaris*), radish

(*Raphanus sativus*), native squash (*Cucurbita* sp.), zucchini (*Cucurbita pepo*), chives (*Allium schoenoprasum*), cheese, milpa tomato (*Lycopersicon esculentum*), chihua (*Cucurbita argyrosperma*) and jalapeño pepper (*Capsicum annum*) (Figure 3). It's important to emphasize that even though habanero pepper (*Capsicum chinense*) is one of the most consumed foods, only one third of the families (Yucatec Mayan) cultivate it.

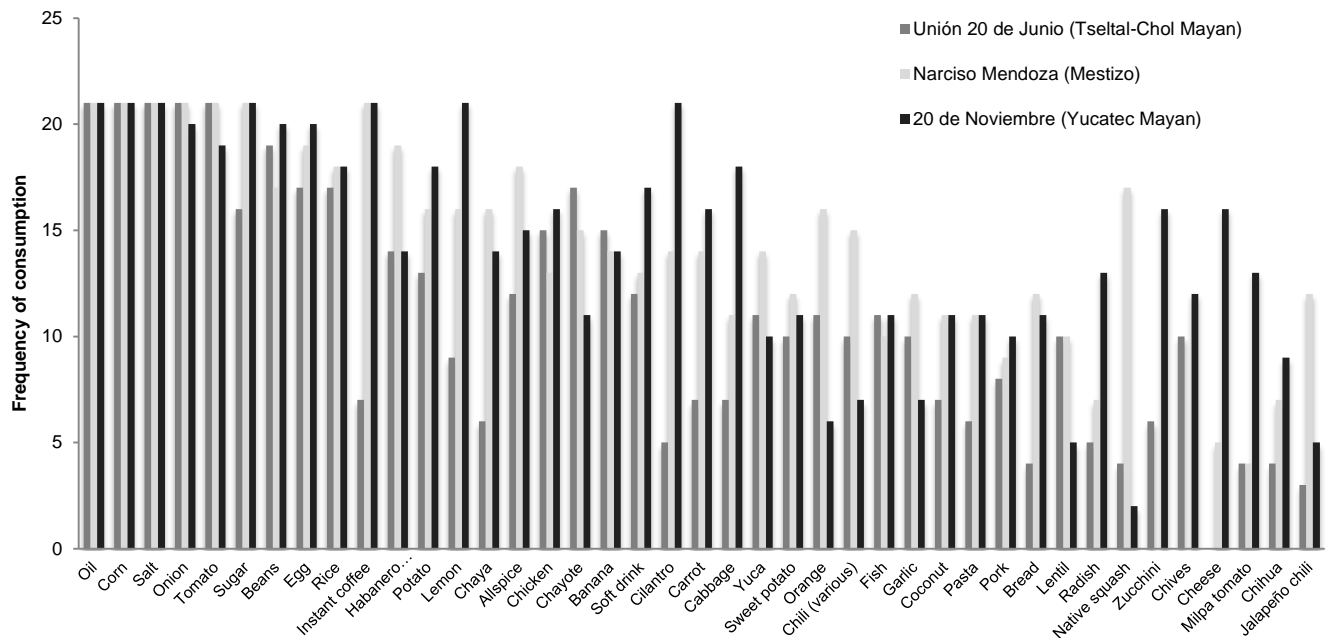


Figure 3. Foods with higher frequencies of consumption

The main sources of animal protein in the communities are egg and chicken (*Gallus gallus domesticus*), followed by pork (unidentified). Animal husbandry takes place in homegardens. People can also buy meat in the community and occasionally in the municipality.

In Figure 4, we can see that the most consumed foods are bought in the store (41%), such as oil, salt, onion, tomato, sugar, rice, coffee and potato, whereas 42% of the most consumed foods such as vegetables, fruit, cereals, legumes, condiments, eggs and chicken, come from homegardens, ranch and/or milpa. The other 16% is produced in

the homegarden (8%) or *milpa* (7%); however, in times of shortage they are purchased in the store. In contrast, 31% of foods with lower frequency of consumption come from homegardens and / or ranch and only 13% come exclusively from homegardens, due to the temporary nature of these foods.

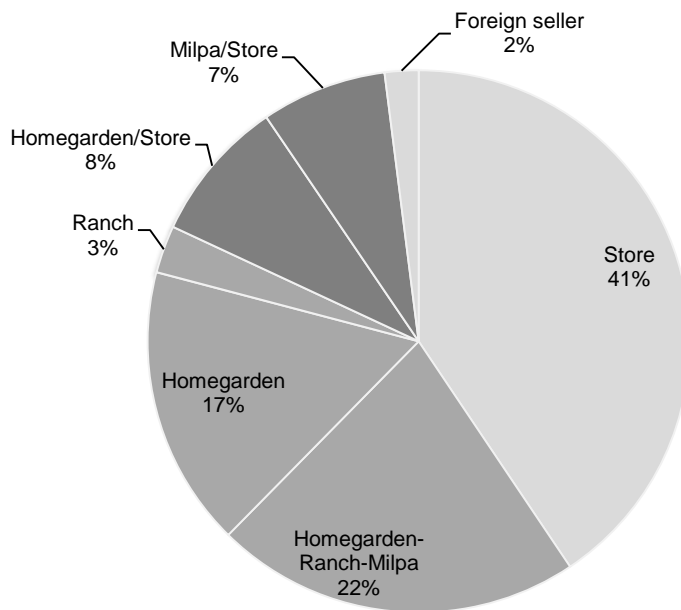


Figure 4. Origin of foods with higher frequencies of consumption

Culturally appropriate food: Particularities in Food Consumption according to the culture

There are particularities in food consumption among ethnic groups (Table 2). Since the three populations are migrants, various plant species have been brought from their place of origin, so people’s consumption habits are determined by those places and the adaptation to the environment in which they now live. For example, mestizo families from Veracruz and Tabasco consume shrimp, cacao (*Theobroma cacao*), sugar cane (*Saccharum officinarum*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*) and now they have also included ramón (*Brosimum allicastrum*) and ciricote (*Cordia dodecandra*) (foods they started to consume when they arrived to the region) to their diet. Yucatec Mayan communities particularly consume achiote (*Bixa orellana*), ibes (*Phaseolus lunatus*),

yam (*Dioscorea rotundata*) and more processed foods such as soda, crackers, wheat flour and tuna. The community Unión 20 de Junio is peculiar since it is the farthest community from the municipality (43 km). People here do not consume as much industrialized food as in the other communities, and they do not consume dairy products.

Table 2. Particularities in food consumption according to the culture

Community-Indigenous Group	Foods
Unión 20 de Junio (Tseltal-Chol Mayan)	Chayote, banana, Indian mustard, mango, green or tender beans, anona, lemon grass, hunted animals, and momo. There was no consumption of dairy products.
Narciso Mendoza (Mestizo)	Orange, chili (various), yucca, native squash, jalapeño pepper, macal, shrimp, avocado, cocoa, turkey, sugarcane, chipilín, parsley, jicama, dragon fruit, cumin, grapefruit, ramón and ciricote.
20 de Noviembre (Yucatec Mayan)	Lemon, soft drink, coriander, cabbage, radish, zucchini, cheese, milpa tomato, cookies, achiote, watermelon, tortillas made of wheat flour, plum, tuna, oats, peas, ibes, melón, milk and yam.

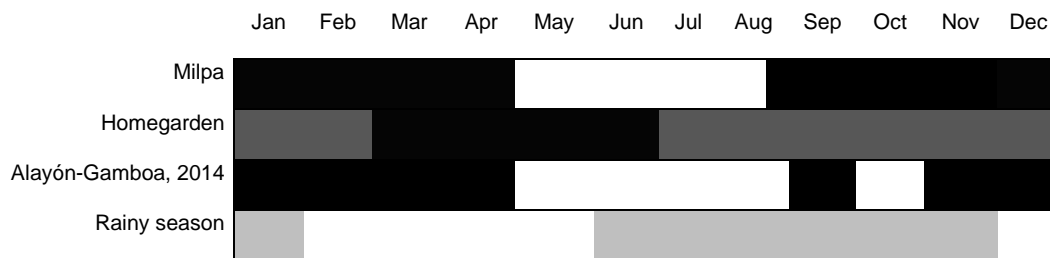
*See Appendix A for scientific names

Temporality of food

Homegardens are a highly important source of food since a lot of products are obtained here. However, *milpa* is more important since it is in this system where the most commonly eaten foods are cultivated, such as corn, beans, squash and chili.

The results of this study indicate that as long as the drought is not excessive, there is food availability in the homegardens all year round. From March to June there is a greater production of fruit trees. The harvesting of food in the *milpa* begins at the end of August with vegetables such as native cucumber and ends in April with tubers like sweet potato (this period coincides with the rainy season). The period of food vulnerability specified by Alayón-Gamboa (2014), coincides with the results of this work, as well as the preparation of the terrain and the development of the *milpa* (Table 2).

Table 2. Temporality of food production in traditional agroecosystems.



The local maize production is insufficient due to long periods of drought. In the community of Narciso Mendoza, we recorded that the average yield is 0.73 t / ha, while the annual consumption per family is 1.9 t. Thus, families need to buy 1.17 t to satisfy their corn consumption, as they also use this crop to feed their animals. Given this problem, farmers take advantage of the rainfall in January, which allows agricultural production in autumn-winter, event that is colloquially known as *tornamil* by farmers. Some farmers have even opted to plant maize, beans and squash within the homegarden.

D) Transformation and commercialization

There is also, but on a smaller scale, an important acquisition of locally produced food. The following foods are bought or shared between families and neighbors, and even sold in nearby communities: egg, lemon (*Citrus latifolia*), chayote (*Sechium edule*), banana (*Musa* sp.), cilantro (*Coriandrum sativum*), yucca (*Manihot esculenta*), sweet potato (*Ipomoea batatas*), orange (*Citrus sinensis*), coconut (*Cocos nucifera*), pork (unidentified), radish (*Raphanus sativus*), zucchini (*Cucurbita pepo*), milpa tomato (*Lycopersicon esculentum*), chihua (*Cucurbita argyrosperma*), achiote (*Bixa orellana*), macal (*Xanthosoma sagittifolium*), mandarine (*Citrus reticulata*), Mexican plum (*Spondias* sp.), hierbamora (*Solanum americanum*), caimito (*Chrysophyllum cainito*),

chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chicken (*Gallus gallus domesticus*), carrot (*Daucus carota*), cabbage (*Brassica oleracea*), chili (various) (*Capsicum* sp.), zapote mamey (*Pouteria sapota*), Indian mustard (*Brassica juncea*), pineapple (*Ananas comosus*), mangoe (*Mangifera indica*), ibes (*Phaseolus lunatus*), lettuce (*Lactuca sativa*) and grosella (*Phyllanthus acidus*).

Some foods are commercialized through foreign intermediaries who are responsible for collecting the products in the communities. There are also producer societies like the ones who produce allspice (*Pimenta dioica*) and honey, which are already organized to sell their products. The most important commercialized foods are: lemon (*Citrus latifolia*), allspice (*Pimenta dioica*), cilantro (*Coriandrum sativum*), radish (*Raphanus sativus*), zucchini (*Cucurbita pepo*), mandarine (*Citrus reticulata*), honey, cucumber (*Cucumis sativus*) and pitahaya (*Hylocereus undatus*).

E) Agricultural policies

Existing organizations in food production and marketing are regional, some families from Narciso Mendoza and Unión 20 de Junio (La Mancolona) are part of the organization for the commercialization of pepper Xanich S.P.R. Of R.L. Which has 47 partners from 11 communities. On the other hand, there is the Union of Ecological Apiculture Societies of Calakmul (USAEC), which sells bulk honey to different buyers and commercial chains. USAEC groups around 250 beekeepers distributed in 25 communities, including Narciso Mendoza.

About participation in decision-making, the only participation is in the way of carrying out some programs implemented by non-government organizations, but there is no influence on local public policies about production or food security.

Discussion

Access to resources

The greatest vulnerability to lack of access to a vital resource comes from periods of drought in the area. However, the families practicing traditional agriculture have adapted to the local environment with a flexible strategy where losses in one subsystem are replaced by others with similar functions (Vallejo et al. 2011).

The inhabitants of Calakmul, due to migrations and long periods of drought, are still in the process of learning and adapting to the conditions of the forest. This result is similar to what Neulinger et al. (2013) found because they mention that migrants try strategies about cultivation of species that are native to their place of origin in order to guarantee their food supply. Their knowledge about cultivation of some plant species that grow in the area is still incipient (Municipio de Calakmul and Proyecto Prosureste. GPZ-CONANP 2015) and nowadays they are still experimenting with species that they bring from their place of origin, such as cocoa and coffee.

Production models

According to the indicator "production model", traditional agroecological management practices are still preserved, native species are still being cultivated, and people do not heavily rely on external inputs to continue their production, which is also described by Chi-Quej et al. (2014). However, there is an evident need to reinforce the empirical knowledge of the farmers with current agroecological techniques and specific technical advice.

The change from the *milpa* system to mechanized cultivation of maize could lead to a greater dependence on the use of non-renewable energies, and by doing so, energy

efficiency and sustainability could be reduced, making the agroecosystems more vulnerable as mentioned by Alayón-Gamboa (2014).

A study conducted by Alayón-Gamboa (2014) showed that traditional agroecosystems in Calakmul are more energy-efficient compared to agricultural systems in transition towards the technification, given the fact that traditional agroecosystems are based on the synergistic use of solar energy and family workforce (Jianbo 2006, Alayón-Gamboa 2014). Similarly, Altieri (1999) states that traditional agroecological systems are energy efficient and they have more stable levels of production per unit area over time, compared to those of intensive farming systems.

According to Chi-Quej et al. (2011) it is necessary to take into account and to carry out international and national policies as strategies of local development. The Ecological Management of the Territory Program of the Calakmul Municipality and the Strategy for the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in the State of Campeche indicate actions for the sustainable use of biodiversity, as well as the Aichi Biodiversity Targets that are part of the Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020. However, it is still necessary to implement in the communities the actions outlined in these documents.

Safety and food consumption

Cahuich-Campos (2012) found that farmers obtain about 77% of the ingredients necessary for the preparation of their food through these production systems, which differs from our results, since we found that 55% of the food that is produced comes from the homegarden, the ranch and/or the *milpa*. This suggests that they are inherently related production systems. Alayón-Gamboa (2014) points out that there is a high degree of energy exchange between these agroecosystems. According to Terán (2011),

milpa serves as the organizing axis for the rest of the production systems, since it is the arranging element of culture, due to each socio-cultural system (family or community) has its own dynamics, establishes objectives and is organized so that its productive systems work and can be reproduced. Our results are similar to the ones found by Alayón-Gamboa (2014), and Terán and Rasmussen (2009), who state that historically, and from the productive point of view, homegardens have played a strategic role for the survival of families, offering complementary food resources to *milpa* in good years, and essential ones in years of scarcity. The food obtained from these Traditional Agroforestry Systems can be interchanged by other products or money (Terán and Rasmussen 2009), in a way that complements the family economy (Caballero 2000). Thus, the multiple use strategy of natural resources contributes to improve farmers and their families in their quality of life (Cahuich-Campos 2012). In this sense, food production is a network type system as it relies on several systems (Rosado 2012).

As mentioned by Chi-Quej et al. (2014) and our results, not all species have the same cultural importance in the three communities, as factors such as the preference for consumption, the type of dishes they prepare and their purchasing power (linked to other economic activities or government support) are combined.

At the present time, the change in eating habits threatens the permanence of homegardens (Chi-Quej et al. 2011). Rosado (2012) mentions that when family gardens are lost, other traditional production systems, such as *milpa*, are lost as well, and the region diminishes its probability of achieving food sufficiency and sovereignty.

It is necessary to preserve and consume traditional foods. An example of this was the publication of the Calakmul Regional Recipes, whose objective is to spread and support the culinary culture (Flores and Gurri 2005).

Transformation and commercialization:

As our results indicate, there is a small-scale commercialization and intermediaries generally control it, although there are producers who already form part of associations that sell their products or even some of them sell them independently. Existing mechanisms could be replicated and adapted for local marketing of surplus products from traditional agroforestry systems. The Ecological Management of the Territory Program of the Calakmul Municipality mentioned that one of the challenges is to identify commercialization channels so that the surplus products of TAS could be sold (Calakmul Municipality and Project Prosureste, GPZ-CONANP 2015).

Agricultural policies

On the other hand, Food Sovereignty is threatened by government social programs that disarray the ways of production and food consumption of the inhabitants. This situation causes side effects that seem to go in the opposite direction to the objective for which they were designed and implemented (Pérez et al. 2012, Olvera 2016). For example, studies from Pérez et al. (2012) and Olvera (2016) reveal that the usual diet of rural communities has been affected by the introduction of modern processed foods. This is related to the increasing risks of diseases like obesity and type 2 diabetes mellitus. It has been observed that changes in diet are associated with the availability of money obtained in government social programs or by labor emigration (Olvera 2016).

Alayón-Gamboa (2014) mention that high government support towards Yucatec Mayan communities by promoting artisanal activities, is discouraging the importance of agriculture as a way of having streams of income. The community 20 de Noviembre is an example of this situation, families here buy more food than the other families from the

other communities, and this situation is also reflected in the plant composition of their gardens compared to the other study sites. In the three communities that are part of this study, despite having highly diverse homegardens, family consumption is focused on few plant species, as Cahuich-Campos (2012) and Alayón-Gamboa (2014) conclude.

Given this scenario, Moreno et al. (2013) highlight the need to create and apply policies based on the context and the biocultural richness of the region. Rosset and Martinez (2004) suggest that government support should be given to farmers to stay on their land, conserve active rural economies, promote soil conservation, help maintain sustainable agricultural practices, and promote direct sales to local consumers and the adoption of a healthy diet (Pérez et al. 2012).

Conclusions

Traditional Agroforestry Systems are a type of ecological agriculture, and represent an important source of food for the dietary needs of the local population; it is necessary to reinforce its production model and to emphasize its importance among families to ensure their permanence.

The production and consumption of food are embedded in a complex network that responds to changes in the pattern of rainfall, migrations and exogenous factors, such as government programs that are not in context with the reality of the social actors.

Homegardens have played a strategic role for the survival of families among the multiple use strategy of natural resources. The homegarden and the *milpa* constitute an important life strategy for the peasant families. However, to ensure their contribution to Food Sovereignty, it is necessary to articulate the actions of the sectors that share the same objective. Some of these participants are the academic sector, governmental organizations, non-governmental organizations operating in the area, management of

the Biosphere Reserve and peasant organizations. Ensuring the livelihood provision of the local population can relieve the pressure on the remaining areas of primary forest.

It would be advisable to orientate future research to highlight the ecological importance of TAS and create adapting productive strategies due to change in rainfall patterns, in order to maintain and increase the productive potential of TAS.

Furthermore, it would be appropriate to encourage diversification in the consumption of plant foods, because despite the fact of having highly diverse productive spaces, families focus their consumption on few species, which leads to a dependency because they do not always have the necessary conditions to achieve its production and self-sufficiency.

Agricultural production must be focused on sustainable practices that allow the existence of natural ecological processes, conservation of biodiversity and at the same time provide diverse, nutritious and culturally appropriate food for the population. To this aim, the strengthening and widespread of agroecological practices play a key role.

While it is necessary to meet the basic food needs of the population, it is also essential to ensure the sustainability of this provision as well as the maintenance of other ecosystem services. To do this, it is necessary to create a real coordination between the actions proposed in the Ecological Ordination Program of the Municipality of Calakmul and the Strategy for the Conservation and Sustainable use of Biodiversity in the State of Campeche with the actions implemented with the Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA), the Ministry of Rural Development of the State of Campeche and the corresponding municipal departments.

It is essential to guide government policies and programs towards the promotion of local economic development. One way to achieve this development in rural areas is by

creating local production and consumption circuits where farmers' families sell their products and buy what they need in local populations, as there is potential production that can supply demand at the community level. Such a task would allow the conservation and improvement of Traditional Agroforestry Systems.

The social unit for the production and organization of work is the family, at the homegarden level headed by women and at the *milpa* level by men. It may be relevant to consider a scale of organization at the community level at a later stage for commercialization, which involves the creation and support of local markets, direct sales to the consumer or with a minimum of intermediaries.

Acknowledgments

We thank Dr. Fabien Sylvain Jacky Charbonnier for his valuable comments and contributions to this article. We also thank the participation of the families in Calakmul who welcomed us in their homes and shared part of their life with us. Map collaboration by Gisel Puc is gratefully acknowledged. Finally, we would like to thank Albert Chan Dzul for bringing us closer to the families and to Mario Alberto Santiago Ortega for his support in the field.

References Cited

- Alayón-Gamboa, J. 2014a. Contribución del huerto familiar a la seguridad alimentaria de las familias campesinas de Calakmul, Campeche. In *El huerto familiar: Un sistema socioecológico y biocultural para sustentar los modos de vida campesinos en Calakmul, México*, edited by J. Alayón-Gamboa and A. Morón, pp. 15-40. El Colegio de la Frontera Sur, Mexico.
- Alayón-Gamboa, J. 2014b. Sustentabilidad de la agricultura tradicional y el impacto en su transformación: el caso de Calakmul, Campeche. In *Sociedad y ambiente en México: áreas naturales protegidas y sustentabilidad*, edited by M. Pinkus, pp. 211-236. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales, México, D.F.
- Altieri, M. 2009a. Applying Agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environment, Development and Sustainability*, 1: 197-217.
- Altieri, M. 2009b. Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. *Ecología Política*, 38: 25-35.
- Altieri, M.A., and Nicholls, C. I. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8: 7-20.
- Barbosa, S., Molina, D., Escalona, G. and Bello, E. 2010. Organización y ecoturismo en ejidos del sureste mexicano. *Revista de Estudios Agrarios*, 44:141-160.
- Balvanera, P., and Cotler, H. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. In *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, edited by CONABIO. pp. 185-245. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, DF.
- Bello, E. and Estrada, E.I.J. (comps.). 2011. *Cultivar el territorio maya. Conocimiento y organización social en el uso de la selva*. El Colegio de la Frontera Sur y Universidad Iberoamericana, México.

- Bohn, J., Stewart, A., Diemont, W., Gibbs, J., Stehman, S., and Mendoza J. 2014. Implications of Mayan agroforestry for biodiversity conservation in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico. *Agroforestry Systems*, 88: 269-285.
- Bovin, P., Pat, J., and Schmook, B. 2000. Presentación de avances de investigación: Aspecto socioeconómico. In *Tendencias de cambio en el uso de suelo por los factores socioeconómicos, naturales y técnicos en la región de Calakmul, Campeche*, edited by J. M. Pat y V. Ku, pp. 24-102. El Colegio de la Frontera Sur, Mexico.
- Caballero, C.G. 2000. Aspectos ecológicos de los huertos familiares de Quintana Roo y Campeche, México. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Chetumal, Mexico.
- Cahuich-Campos, D. 2012. El huerto maya y la alimentación cotidiana de las familias campesinas de X-Mejía, Hopelchén, Campeche. In *El huerto familiar del sureste de México*, edited by R. Mariaca, pp.197-229. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur, México.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., and Solorio-Sánchez, J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17:133-143.
- Chablé-Can E., Molina-Rosales D., Mendoza J. and Kú-Quej M. 2015. *Proceso participativo: una propuesta metodológica para la elaboración de estrategias relacionadas con REDD+*. El Colegio de La Frontera Sur, México.
- Chi-Quej, J., Rivas, G., Gutiérrez, I., Detlefsen, G., Alayón-Gamboa, A., and Ku-Quej, V. 2011. Los huertos familiares y su contribución a la seguridad alimentaria en Campeche, México. Paper Presented at the 3rd Congreso Latinoamericano de *Agroecología*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo, Mexico.
- Chi-Quej, J., Alayón-Gamboa, J., Rivas, G., Gutiérrez, I., Detlefsen, G., and Ku, V. 2014. Contribución del huerto familiar a la economía campesina en Calakmul,

Campeche. In *El huerto familiar: Un sistema socioecológico y biocultural para sustentar los modos de vida campesinos en Calakmul, México*, edited by J. Alayón-Gamboa and A. Morón, pp.75-90. El Colegio de la Frontera Sur. México.

[CONABIO and SEMARNATCAM] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad and Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Campeche. 2016. *Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el estado de Campeche*. CONABIO, México.

[CONAPO] Consejo Nacional de Población. 2010. Índice de marginación por localidad 2010. CONAPO, Mexico.

Cuéllar, M., and Sevilla, E. 2009. Aportando a la construcción de la Soberanía Alimentaria desde la Agroecología. *Ecología política* 38: 43-51.

Ellis, E.A., and Porter, B.L. 2007. Agroforestería en la selva maya: antiguas tradiciones y nuevos retos. In *Los nuevos caminos de la agricultura: procesos de conversión y perspectivas*, edited by J.A., González, R.S, Del Amo and G.F, Gurri, Universidad Iberoamericana. México, D.F.

Flores, V., and Gurri, F. 2005. *Recetario regional de Calakmul, Campeche*. México: El Colegio de la Frontera Sur. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2006. Calendario de cultivos. América Latina y el Caribe. FAO, Roma.

Gliessman, S. 2007. *Agroecology. The ecology of sustainable food systems*. 2nd Ed. CRC Press, Florida.

Gurri, F. D. Alayón, J. A. and Molina, D.O. 2002. *Adaptabilidad en poblaciones mayas y poblaciones migrantes de Calakmul, Campeche*. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), México.

[INECOL] Instituto Nacional de Ecología. 1999. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Calakmul*. 1era Edición. Unidad de Participación Social, Enlace y Comunicación, INE, México, D.F.

- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. *Censo General de Población y vivienda. Principales resultados por localidad*. INEGI, Campeche. México.
- Herbario CICY. 2010. Flora de la Península de Yucatán. [web page]. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán. URL: <http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/>. Accessed on August 15, 2016.
- Hernández, X. E. 1985. *Xolocotzia. Obras de Efraím Hernández Xolocotzi*. Tomo I. Geografía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Hoddinott, J. 2001. *Food security in practice. Methods for Rural Development Projects*. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Huntington, H.P. 2000. Using Traditional Ecological Knowledge in Science: Methods and Applications. *Ecological Applications*, 10:1270-1274.
- Jianbo, L. 2006. Energy balance and economic benefits of two agroforestry systems in northern and southern China. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 116:255-262.
- Loeza-Deloya, V., Uzcanga-Pérez, N., Cano-González, A., Ramírez-Jaramillo, G., Ramírez-Silva, J., and Aguilar-Duarte, Y. 2016. Cadenas de importancia socioeconómica para el desarrollo agrícola e industrial de la península de Yucatán, México. *Agroproductividad*, 9: 3-8.
- Macario, P., and Sánchez, L. 2003. *Lista florística de especies presentes en la vegetación secundaria del Ejido X-Hazil y Anexos*. ECOSUR, SISIERRA, UADY and Clark University, México.
- Martin, J.F., Roy, E.D., Diemont, S., and Ferguson, B.G. 2010. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. *Ecological Engineering*, 36:839-849.
- Martínez, E. and Galindo C. 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: Clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 71:7-32.

- Méndez-López ME, García-Frapolli E, Pritchard D.J, Sánchez MC, Ruiz-Mallén I, Porter-Bolland L, Reyes-García V. 2014. Local participation in biodiversity conservation initiatives: A comparative analysis of different models in South East Mexico. *Journal of Environmental Management*, 145: 321-329.
- Miles, M.B. and Huberman, A.M. 1994. *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. 2nd ed. Sage. Thousand Oaks, CA.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- Moreno-Calles., A.I., Toledo, V.M., and Casas, A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91: 375-398.
- Moreno-Calles, A.I., Galicia-Luna, V.J., Casas, A., Toledo, V.M., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., and Camou-Guerrero, A. 2014. La Etnoagroforestería: El estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12:1-6.
- Municipio de Calakmul and Proyecto Prosureste. GPZ-CONANP. 2015. Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Calakmul, Campeche. Un estudio enfocado a las funciones ecológicas del paisaje. México: Gobierno del Estado de Campeche.
- Nair, P.K.R. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publisher, Holanda.
- Nicholls, C.I., Altieri, M.A., Henao, A., Montalba, R., and Talavera, E. 2015. *Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático*. REDAGRES y SOCLA, Lima, Perú.
- Noriega-Trejo, R., and Arteaga, M. 2010. Síntesis de los tipos de vegetación terrestre. In *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*, edited by G. J. Villalobos-Zapata and J. Mendoza-Vega, pp. 730. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, México.
- Ortega-Cerda, M., and Rivera-Ferre, M. 2010. Indicadores internacionales de Soberanía

Alimentaria. Nuevas herramientas para una nueva agricultura. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 14:53-77.

Olvera, B. 2016. Efectos no deseados de los programas de apoyo alimenticio en la producción de alimentos y su consumo en Calakmul, Campeche. Master's Thesis, El Colegio de la Frontera Sur, México.

Patton, M.Q. 2002. *Qualitative research and evaluation methods*. 3rd ed. Sage. Thousand Oaks, CA.

Perfecto, I., Vandermeer, J., and Wright, A. 2009. *Nature's Matrix. Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. Earthscan, London.

Pérez, O., Nazar, A., Salvatierra, B., Pérez-Gil, S., Rodríguez, L., Castillo, M., and Mariaca, R. 2012. Frecuencia del consumo de alimentos modernos en la dieta habitual de comunidades mayas de Yucatán, México. *Estudios Sociales* 20:156-184.

Pool, L., Cortina, S., and Macario, P. 2000. Presentación de avances de investigación: Aspecto físico biótico. In *Tendencias de cambio en el uso de suelo por los factores socioeconómicos, naturales y técnicos en la región de Calakmul, Campeche*, edited by J-J. Pat y V. Ku, pp. 24-102. El Colegio de la Frontera Sur, México.

Pretty, J., Morrison, J., and Hine, R. 2003. Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95: 217-234.

Rosado, F. 2012. Los huertos familiares, un sistema indispensable para la soberanía y suficiencia alimentaria en el sureste de México. In *El huerto familiar del sureste de México*, edited by R. Mariaca. pp. 544. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco and El Colegio de la Frontera Sur, México.

Rosset, P., and Martínez, M.E. 2004. Soberanía Alimentaria: Reclamo Mundial del Movimiento Campesino. Translated by P. Rosset from 2003. *Food Sovereignty: Global Rallying Cry of Farmer Movements*. *Institute for Food and Development*

Policy Backgrounder 9: 4.

- Sánchez, P.A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 30:5-55.
- Senanayake, R. 2003. Forestería Análoga: Una alternativa a rozar y simplificar. *Revista de Agroecología LEISA*, 16: 14-15.
- Sodhi, N.S., and Ehrlich, P.R. 2010. *Conservation Biology for All*. New York: Oxford University Press.
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jiménez, G., and De Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78:39-51.
- Terán, S. 2011. Milpa, biodiversidad y diversidad cultural. In *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, edited by R. Durán and M. Méndez, pp. 496. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, México.
- Terán, S. and Rasmussen, C. 2009. *La milpa de los mayas*. 2da Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Vallejo, M., Gurri, F., and Molina, D., 2011. Agricultura comercial, tradicional y vulnerabilidad en campesinos. *Política y Cultura*, 36: 71-98.
- Vía Campesina. 1996. Declaración sobre la Soberanía Alimentaria de los Pueblos. Cumbre Mundial de la Alimentación. II Conferencia Internacional de la Vía Campesina. Tlaxcala, México. Available at: <http://www.viacampesina.org>. Accessed on November 11, 2015.
- Villalobos-Zapata, G. J., and J. Mendoza Vega (Coord.). 2010. *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur, México.
- Verchot, L., Van Noordwijk, M., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K., and Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12: 901-918.

Wojtkowski, P. 2002. *Agroecological perspectives in agronomy, forestry and agroforestry*. Science publishers. New Hampshire, United States of America.

Zizumbo, D., Colunga, P., May, F., Martínez, J., and Mijangos, J. 2011. Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. In *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, edited by R. Durán, and M. Méndez, pp. 496. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, México.

APPENDIX A

Tabla 3. List and classification of foods consumed from vegetal origin.

Vegetal Origin - Condiment			Vegetal Origin – Forestry edible		
Common name	Scientific name	Family	Common name	Scientific name	Family
Allspice	<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	Myrtaceae	Guano (corazón)	<i>Sabal japa</i>	Arecaceae
Achiote	<i>Bixa orellana</i> L.	Bixaceae	Palma (corazón)	No identificada	No identificada
Cumin	<i>Cuminum cyminum</i>	Apiaceae	Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	Moraceae
Vegetal Origin –Fruit trees					
Common name	Scientific name	Family	Common name	Scientific name	Family
Lemon	<i>Citrus latifolia</i> (Tan.)	Rutaceae	Dragon fruit	<i>Hylocereus undatus</i>	Cactaceae
Banana	<i>Musa sp.</i>	Musaceae	Soursop	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae
Orange	<i>Citrus sinensis</i> (L.)	Rutaceae	Grapefruit	<i>Citrus paradisi</i>	Rutaceae
Coconut	<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	Apple	<i>Malus domestica</i>	Rosaceae
Tangerine	<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	Bitter orange	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae
Zapote mamey	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	Sapotaceae	Wild Anona	<i>Annona primigenia</i>	Annonaceae
Plum	<i>Spondias sp.</i>	Anacardiaceae	Ciricote	<i>Cordia dodecandra</i> <i>Talisia floresi</i>	Boraginaceae
Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	Kolop	Standley <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) HBK.	Sapindaceae
Pineapple	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	Bromeliaceae	Nance	<i>Pouteria unilocularis</i> (Donn. Smith) Baehni	Sapotaceae
Avocado	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	Zapote de monte	<i>Pyrus communis</i>	Rosaceae
Guaya	<i>Melicoccus bijugatus</i>	Sapindaceae	Pear	<i>Averrhoa carambola</i>	Oxalidaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i> <i>Talisia olivaeformis</i> (H.B. & K.) Radlk.	Anacardiaceae	Star fruit	Unidentified	Sapotaceae
Guaya de monte	<i>Chrysophyllum cainito</i>	Sapotaceae	Chóoch	<i>Pouteria glomerata</i> <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Ex Mart.	Sapotaceae
Tamarind	<i>Tamarindus indica</i>	Fabaceae	Cocoyol	<i>Phyllanthus acidus</i>	Phyllanthaceae
Anona	<i>Annona purpurea</i> <i>Manilkara sapota</i> (L.) Van Royen	Annonaceae	Grosella	<i>Annona squamosa</i>	Annonaceae
Chicozapote	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Saramuyo		
Guava					
Vegetal Origin – Grains					
Common name	Scientific name	Family	Common name	Scientific name	Family
Corn	<i>Zea mays</i>	Poaceae	Cocoa	<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae
Beans	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	Ibes	<i>Phaseolus lunatus</i> var. Lunatus (Ibe)	Fabaceae
Rice	<i>Oryza sativa</i>	Poaceae	Peanut	<i>Arachis hypogaea</i>	Fabaceae
Lentil	<i>Lens culinaris</i>	Fabaceae	Green beans	<i>Phaseolus sp.</i>	Fabaceae
Chihua squash	<i>Cucurbita argyrosperma</i>	Cucurbitaceae	Xpelon bean	<i>Vigna unguiculata</i>	Fabaceae
Oats	<i>Avena sativa</i>	Poaceae	Native soy	<i>Glycine max</i>	Fabaceae
Vegetal Origin -Vegetables					
Common name	Scientific name	Family	Common name	Scientific name	Family
Onion	<i>Allium cepa</i> <i>Solanum lycopersicum</i> L.	Alliaceae	Indian mustard	<i>Brassica juncea</i>	Brassicaceae
Tomato		Solanaceae	Peas	<i>Pisum sativum</i> L. <i>Solanum americanum</i> Mill.	Fabaceae
Habanero pepper	<i>Capsicum chinense</i>	Solanaceae	Hierbamora	<i>Cucumis melo</i>	Solanaceae
Potato	<i>Solanum tuberosum</i>	Solanaceae	Cantaloupe	<i>Opuntia sp.</i>	Cucurbitaceae
Chaya	<i>Cnidocolus</i>	Euphorbiaceae	Nopal		Cactaceae

	<i>aconitifolius</i>				
Chayote	<i>Sechium edule</i>	Cucurbitaceae	Sugarcane	<i>Saccharum officinarum</i>	Poaceae
Coriander	<i>Coriandrum sativum</i>	Apiaceae	Chipilín	<i>Crotalaria longirostrata</i> H.et.A	Fabaceae
Carrot	<i>Daucus carota</i>	Umbelliferae	Parsley	<i>Petroselinum sativum</i>	Apiaceae
Cabbage	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i>	Brassicaceae	Cauliflower	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	Brassicaceae
Yucca	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	Jícama	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Fabaceae
Sweet potato	<i>Ipomoea batatas</i>	Convolvulaceae	Yam	<i>Dioscorea rotundata</i>	Dioscoriaceae
Chili (various)	<i>Capsicum</i> sp.	Solanaceae	Lemon grass	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae
Garlic	<i>Allium sativum</i>	Alliaceae	Peppermint	<i>Mentha</i> sp.	Lamiaceae
Radish	<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae	Jamaica	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	Malvaceae
				<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>	
Native squash	<i>Cucurbita</i> sp.	Cucurbitaceae	Beetroot	convar. <i>vulgaris</i>	Chenopodiaceae
Zucchini	<i>Cucurbita pepo</i> L.	Cucurbitaceae	Lettuce	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
	<i>Allium schoenoprasum</i>	Alliaceae	Momo	<i>Piper auritum</i> Kunth.	Piperaceae
	<i>Lycopersicon esculentum</i> P. Mill.	Solanaceae	Spinach	<i>Spinacia oleracea</i>	Chenopodiaceae
Milpa tomato	<i>Capsicum annum</i>	Solanaceae	Alcaparra	No identificada	No identificada
Jalapeño pepper	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	Araceae	Zucchini flower	<i>Cucurbita pepo</i> L.	Cucurbitaceae
Macal	<i>Cucumis sativus</i>	Cucurbitaceae	Coconut flower	<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae
Cucumber	<i>Citrullus lanatus</i>	Cucurbitaceae			
Watermelon					

* Those of higher frequency of consumption are shaded. Source: Own elaboration with taxonomic data of Macario and Sánchez

2003; FAO 2006; Herbario CICY 2010; Zizumbo et al. 2011; Loeza-Deloya et al. 2016.

Tabla 4. List and classification of foods consumed from animal, mineral and industrial origin.

Animal Origin				
Egg	Pork	Beef	Lard	Zats Worm (<i>Arsenura armida</i>)
Chicken	Cheese	Shrimp	Hunted animals	
Fish	Honey	Turkey	Duck	
Mineral Origin				
Salt	Mineral condiment			
Industrialized				
Oil	Pasta	Tuna	Sausage	Sauce
Sugar	Bread	Milk	Mayonnaise	
Instant	Cookies	Ham	Tinned fruit	
Soft drink	Wheat flour	Chocolate	Tinned beans	

* Those of higher frequency of consumption are shaded Source: Own elaboration.

CAPÍTULO 2

Variabilidad de la respiración del suelo en dos sistemas agroforestales tradicionales y la selva

VARIABILIDAD DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES TRADICIONALES Y LA SELVA.

RESUMEN

La respiración del suelo representa un proceso clave en la regulación del ciclo del carbono, la productividad del ecosistema y la fertilidad del suelo. Y aunque no es el mecanismo directo que subyace al almacenamiento de carbono terrestre, es relevante para comprender el secuestro de carbono. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variación en la respiración del suelo bajo tres diferentes uso de suelo y determinar su utilidad como un proxy del funcionamiento ecosistémico, así como su relación con la cobertura vegetal y los atributos del suelo. Los análisis se realizaron en tres usos distintos de suelo con tres repeticiones cada uno: milpa tradicional, huerto agroforestal tradicional y selva. El flujo de CO₂, la temperatura y la humedad del suelo se midieron mediante el sistema LI-8100, la interceptación de la radiación por el follaje mediante el uso del analizador de dosel LAI-2200, las muestras de suelo se hicieron mediante el método del anillo volumétrico y cada uno de los puntos se georreferenció con el equipo Leica Viva GS15 (GNSS). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), análisis de varianza (ANOVA), prueba de comparación de medias de Tukey y análisis de correlaciones de Pearson. Se encontraron diferencias significativas en el valor medio de respiración del suelo conforme al tipo de sistema: milpa ($3.12 \pm 0.23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), huerto ($4.43 \pm 0.34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y selva ($6.16 \pm 0.45 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). El valor medio de respiración del suelo muestra valores en ascenso conforme aumenta la cobertura vegetal, puesto que se relaciona con la cantidad de raíces y su aporte de materia orgánica al suelo. Los sistemas agroforestales tradicionales con mejoras en su manejo y un aumento de su cobertura arbórea podrían contribuir a un mayor flujo y captura de carbono, y por lo tanto a mantener procesos ecológicos vitales para la mitigación del cambio climático.

PALABRAS CLAVE

Respiración del suelo, Servicios ecosistémicos, Cobertura arbórea, Ciclo del carbono, Captura de carbono.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas proporcionan cuatro tipos de servicios: provisión, regulación, culturales y soporte (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Los servicios de regulación, como su nombre lo indica regulan las condiciones del ambiente: clima, inundaciones, vectores de enfermedades, erosión del suelo y la calidad del agua (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009). Los servicios de soporte tales como: la productividad primaria, fotosíntesis, ciclos biogeoquímicos, formación del suelo y polinización; aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y por ende el flujo del resto de los servicios (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009). En función de la escala de tiempo y rapidez con que impactan a los seres humanos, algunos servicios pueden clasificarse tanto de soporte como de regulación (Millennium Ecosystem Assessment, 2015).

La evaluación de los servicios ecosistémicos es una herramienta útil para el monitoreo de las funciones de un ecosistema, su integridad y su evolución en el tiempo (Daily, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009). Sin embargo, debido a sus distintas escalas espaciales y temporales, los servicios ecosistémicos resultan difíciles de medir directamente, no obstante, algunos procesos ecológicos como la fotosíntesis o los depósitos de nutrientes como parte de los ciclos biogeoquímicos, son fácilmente medibles a escalas locales y se usan como proxies o indicadores (Rapidel *et al.*, 2011; Taugourdeau *et al.*, 2014; Stephens *et al.*, 2015). En este trabajo planteamos a la respiración del suelo como variable proxy.

La respiración del suelo (R_s) representa uno de los mayores flujos de CO_2 de la tierra a la atmósfera, por ello es un proceso clave en la regulación del ciclo del carbono, la

productividad primaria del ecosistema y la dinámica de nutrientes en el suelo (Xu *et al.*, 2001; Luo y Zhou, 2006; Peng *et al.*, 2008). Y aunque no es el mecanismo directo que subyace al almacenamiento de carbono terrestre, es relevante para comprender el secuestro de carbono (Luo y Zhou, 2006). Cabe mencionar, que la Rs también es un indicador de la actividad biológica del suelo (Peng *et al.*, 2008).

La Rs es un proceso ecosistémico mediante el cual se libera dióxido de carbono, y se clasifica principalmente en dos categorías: autotrófica y heterotrófica (Luo y Zhou, 2006). La autotrófica es la respiración de las raíces vivas asociadas a micorrizas y nódulos simbióticos fijadores de nitrógeno. Mientras que la respiración heterotrófica proviene de la fauna del suelo y de la descomposición microbiana de la materia orgánica y exudados radicales (Lloyd y Taylor, 1994; Luo y Zhou, 2006;). Y aunque en menor medida, la emisión de CO₂ se genera por la oxidación química de los compuestos de carbono, específicamente del ácido carbónico durante la erosión de las rocas, particularmente en zonas áridas (Lloyd y Taylor, 1994; Luo y Zhou 2006).

Se han experimentado diversos métodos para medir la respiración del suelo, tales como: cámara estática cerrada, cámara dinámica con analizador infrarrojo de gases (IRGA por sus siglas en inglés) y técnicas micrometeorológicas (Luo y Zhou, 2006).

Diversos factores influyen en la Rs: temperatura, humedad, oxígeno, nitrógeno, fósforo, textura del suelo, pH, materia orgánica, actividad microbiana, cantidad de raíces y relación carbono-nitrógeno (Luo y Zhou, 2006; Bicalho *et al.*, 2014). No obstante, derivado de la experimentación, se ha demostrado que la temperatura y humedad del suelo son los factores con mayor influencia en los cambios del flujo de CO₂ (Luo y Zhou, 2006; Pérez-Molina *et al.*, 2013).

La cobertura arbórea regula la cantidad de luz que penetra hacia abajo del dosel, promueve la infiltración de la precipitación, y disminuye la velocidad del viento, por lo tanto, influye en las condiciones de vida de macro y microfauna, temperatura, humedad y estructura del suelo, mismas que influyen la respiración del suelo (Raich y Tufekciogul, 2000; Bréda, 2008; Aguirre-Salado *et al.*, 2011). El índice de área foliar (IAF) ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) expresa la superficie foliar de un solo lado de la hoja (m^2) por superficie del suelo (m^{-2}) (Bréda, 2003; Raivonen *et al.*, 2015). Las complejidades geométricas del dosel vegetal se reducen a la suma de todas las capas foliares como IAF (Bréda, 2008).

El uso y transformación de los ecosistemas naturales para la obtención de alimentos bajo el modelo de agricultura industrial han cambiado su estructura, sus procesos y funcionamiento (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Altieri, 2009). Al favorecer los satisfactores a corto plazo, se han alterado los ciclos biogeoquímicos naturales y con ello la capacidad de los ecosistemas para brindar otros beneficios como la regulación del clima (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera y Cotler, 2009).

Las estrategias agrícolas, hortícolas y forestales en la Península de Yucatán están basadas en el policultivo, la selección de variedades para su adaptación a distintas franjas climáticas, y en el aprovechamiento del espacio vertical y horizontal estratificado tal como se presenta en la naturaleza (Barrera *et al.*, 1997; Ford y Nigh, 2015).

Entre las prácticas trascendentales de agroforestería tradicional se encuentra la milpa de roza tumba y quema (RTQ) (como un sistema agroforestal de descanso largo) en dónde se combina el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseouls* spp.), calabaza (*Cucurbita* spp.) con múltiples hortalizas (Hernández, 1985; Moreno-Calles *et al.*, 2014).

El sistema RTQ, se basa en el aprovechamiento periódico de los recursos acumulados en el ecosistema, a través de la rotación de áreas de cultivo con ciclos recurrentes al espacio inicial después de un período de descanso (Pool y Hernández, 1987). El período en dónde se regenera la vegetación secundaria, es la base fundamental del sistema, cuando es lo suficientemente largo se mantiene el equilibrio ecológico y la fertilidad del suelo (Hernández, 1959). La quema transforma los recursos acumulados en la vegetación secundaria y los hace disponibles para la agricultura, al aumentar la disponibilidad de nutrientes, retrasar el establecimiento de las arvenses en el terreno y deshierbarlo de manera rápida, eficiente y económica (Pool y Hernández, 1987).

Otra de las prácticas notables de agroforestería tradicional son los huertos familiares (Hernández, 1985; Moreno-Calles *et al.*, 2014). La estructura y composición de los huertos es compleja, contienen varios estratos horizontales y verticales, en donde dominan las especies perennes y se emula a los bosques (Montagnini, 2006; Moreno-Calles *et al.*, 2013). A este tipo de sistemas agroforestales se les denomina: “multiestrato” (Hernández, 1970; Hart, 1980; Nair y Garrity, 2012), agrobosques (Torquebiau, 2000; Wiersum, 2004; Moreno-Calles *et al.*, 2013) o análogos a ecosistemas naturales (Hart, 1980).

En estos agroecosistemas los seres humanos han dirigido la composición de los árboles de acuerdo con sus necesidades, pero preservan características estructurales y procesos ecológicos que se desarrollan en los bosques considerados naturales (Torquebiau, 2000; Wiersum, 2004; Moreno-Calles *et al.*, 2013). La dinámica natural de los sistemas análogos ocurre de manera similar a la de la selva, ya que en este sistema policultivo, las plantas están distribuidas horizontal y verticalmente (Oldeman, 1983; Del

Amo y Ramos, 1993). No presentan una sola etapa de desarrollo, sino una sucesión, lo que permite tener cultivos tolerantes a la sombra y aquellos que aprovechen mejor la luz solar (De Clerck y Negreros-Castillo, 2000). Estas plantas de importancia antropogénica cumplen funciones ecológicas similares a las especies nativas, pero también suplen necesidades de los humanos y proveen servicios ambientales (Hart, 1980; Senanayake, 2003).

Los agroecosistemas, dependiendo de su manejo, pueden ser reservorios de biodiversidad (Perfecto *et al.*, 2009), contribuir a reducir la presión de la deforestación de nuevas áreas para la agricultura (Moreno-Calles *et al.*, 2013) y son una alternativa sostenible a la adaptación y mitigación del cambio climático (Cassanova-Lugo *et al.*, 2011; Altieri y Nicholls, 2013).

Gomes *et al.* (2016) resaltan que a pesar de que se ha estudiado sobre las reservas de carbono de los suelos de los bosques y los agroecosistemas en regiones tropicales, aún sigue existiendo cierta incertidumbre sobre los factores que controlan las pérdidas de carbono del suelo (flujo de CO₂) y cómo las prácticas agrícolas podrían mitigar las emisiones de CO₂ en estos ecosistemas.

En este contexto, la relevancia de esta investigación recae en la generación de evidencia sobre el flujo de CO₂ de los suelos de los SAFT, que podría dar la pauta para mejorar su diseño y lograr el mantenimiento de los procesos ecológicos con mayor similitud a los ecosistemas naturales. El objetivo del presente trabajo es evaluar la relación del flujo de CO₂, como variable proxy de los servicios ecosistémicos de regulación y soporte, con la cobertura vegetal y atributos del suelo, analizando las diferencias entre los SAFT y la selva.

Peng *et al.*, (2008) menciona que los ecosistemas con altos niveles de productividad primaria y secundaria presentan altas tasas de flujo de CO₂ en el suelo, por lo tanto nuestra hipótesis es que entre menor sea la diferencia significativa entre la selva y el sistema agroforestal tradicional (milpa o huerto), respecto a la tasa de flujo de CO₂, se mantienen procesos ecológicos similares a la selva y por lo tanto, tienen mayor potencial para proveer servicios ecosistémicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en la comunidad de Narciso Mendoza (18 ° 13' 50" N y 89 ° 27' 12" W) a una altitud entre los 243 a 325 msnm, aledaña a la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC) en el estado de Campeche, México (Figura 1). Esta región presenta un clima cálido subhúmedo Ax'(w1), con una temperatura media anual de 26°C, la precipitación anual fluctúa entre 1,100 y 1,500 mm, con la mayor cantidad de lluvias de junio a noviembre, un período de sequía durante diciembre a abril y con precipitaciones de más de 50 mm durante el mes de enero, hecho que permite la producción agrícola en otoño-invierno (Pool *et al.*, 2000; Villalobos-Zapata y Mendoza, 2010). Presenta paisajes cársticos con permeabilidad alta, por lo tanto, los escurrimientos son intermitentes (Municipio de Calakmul y Proyecto Prosureste GPZ-CONANP, 2015).

Los suelos más representativos son rendzinas, gleysoles, vertisoles y litosoles (INECOL, 1999; Pool *et al.*, 2000). En Calakmul se encuentra el área forestal más extensa del trópico mexicano, cuyas características climáticas y edáficas tienen la peculiaridad de conformar una mezcla de selvas; principalmente Selva Mediana

Subperennifolia, Selva Subcaducifolia, Selva Baja y Sabanas Inundables (Pool *et al.*, 2000; Martínez y Galindo-Leal, 2002; Noriega-Trejo y Arteaga, 2010).

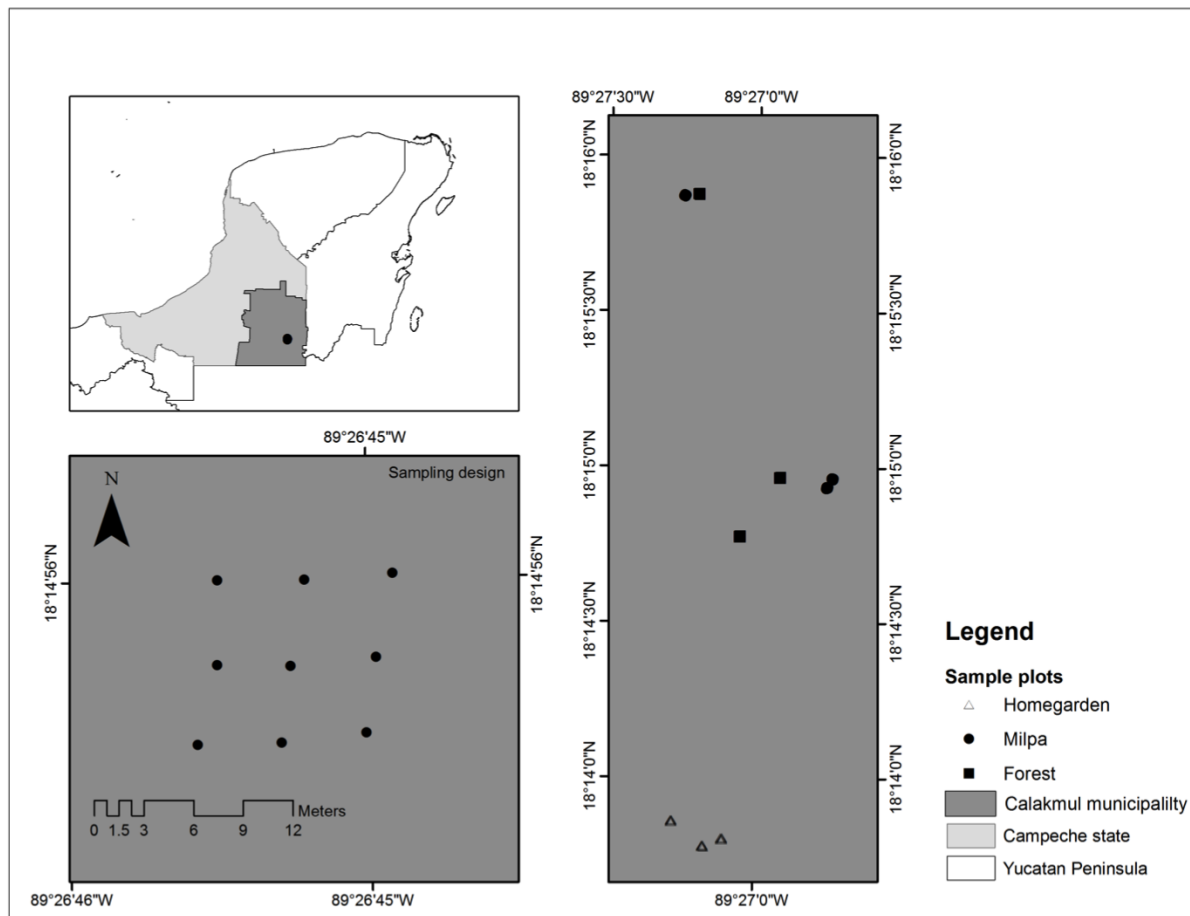


Figura 1. Área de estudio, localización de sitios y diseño de muestreo

Diseño experimental

El flujo de CO₂ del suelo y sus variaciones fueron analizados en tres usos distintos de suelo con tres repeticiones cada uno: milpa tradicional, huerto agroforestal tradicional y selva con 25 años sin perturbación.

El criterio de selección de las milpas consistió en que se manejaran mediante técnicas tradicionales, sistema roza-tumba-quema, policultivo, y labores culturales no mecanizadas. Las milpas se encontraban en su segundo ciclo de cultivo. Una de ellas anteriormente fue plantación forestal, sin embargo, sufrió un incendio quedando con

sólo algunos árboles esparcidos por la parcela; mientras que en el resto de las parcelas se intercaló el cultivo de maíz con árboles frutales (MIAF). El criterio de selección de los huertos consistió en que presentaran características multiestrato con un fuerte componente arbóreo. Todos los sitios se localizaron con el apoyo de las familias participantes en la investigación.

Debido a la heterogeneidad y complejidad de los ecosistemas estudiados, se delimitó un área de 400 m² (20 m x 20 m). En cada parcela se establecieron nueve puntos de medición con un arreglo sistemático a una distancia de 5 m entre punto y punto (Figura 5). Cada uno de los puntos se georreferenció con el equipo Leica Viva GS15, sistema global de navegación por satélite (GNSS por sus siglas en inglés) mediante método diferencial. Las lecturas estáticas en cada uno de los puntos de la milpa tuvieron una duración de cuatro minutos, en el huerto de 10 minutos y en la selva de 25 minutos.

Respiración del suelo

Siete días antes de la medición de la respiración del suelo, se insertaron anillos de PVC (diámetro interior de 20.32 cm y altura 12 cm) a una profundidad de 10 cm, en cada una de las parcelas, con la finalidad de evitar que el efecto de la inserción en el suelo afectara las mediciones.

El flujo de CO₂ se midió con el sistema LI-8100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), al inicio del período de lluvias durante el mes de junio del 2016. Se registró el cambio de concentración de CO₂ dentro de la cámara (tipo cerrada) a lo largo de dos minutos mediante el analizador de gases del equipo. El flujo de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) es calculado como la derivada del cambio inicial de concentración de CO₂ incluyendo

algunas correcciones referentes al volumen de aire, la presión y el vapor de agua dentro de la cámara.

Paralelamente a la medición de flujo de CO₂, se registró la temperatura (Ts) y la humedad (Hs) del suelo con los sensores adjuntos a la unidad de control LI-8100. Los sensores se insertaron 8 cm en el suelo cerca de los anillos de PVC. Cabe destacar que los dispositivos se probaron y calibraron antes del inicio del experimento. Las mediciones se registraron de 8:00 am a 3:00 pm. Una vez obtenidos los datos se procesaron en el software LI-8100.

Análisis de características físico-químicas del suelo

En cada uno de los sitios se tomaron nueve muestras mediante el método del anillo volumétrico (Wuest, 2009) a 10 cm de profundidad con un volumen conocido (3, 243 cm³) en el lugar de los anillos instalados para la medición del flujo de CO₂, con el fin de calcular la densidad aparente. Las muestras se secaron bajo sombra (durante dos semanas), se tamizaron con una criba de 2mm y se separó la materia orgánica visible (hojarasca y pequeños pedazos de ramas y corteza) de piedras y tierra. El análisis de las características físicas y químicas del suelo, tales como: textura; pH; contenido de materia orgánica; concentración de N, P, K y carbonatos; relación C/N, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico, se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Colegio de la Frontera Sur. Se emplearon los procedimientos, materiales y métodos descritos en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Índice de área foliar

Se midió la interceptación de la radiación por el follaje mediante el uso del analizador de

dosel LAI-2200 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). El instrumento se basa en la ley de Beer-Lambert y la ecuación de la transferencia radiativa, que relaciona la extinción de una onda de luz con las propiedades del material atravesado, en este caso la cantidad de follaje (Anderson, 1971; Bréda, 2003; Mason *et al.*, 2012). Un lente óptico similar a un ojo de pez mide la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa discretizada en cinco ángulos cenitales (Sandmann *et al.*, 2013).

Se utilizaron dos sensores de manera simultánea, uno en un área despejada (medición A) y el otro por debajo del dosel (medición B) después de una intercalibración y sincronización de los sensores (LI-COR, 2013). Ambos sensores se colocaron nivelados a una altura de 2 cm, con la tapa de visión de 180° y la abertura orientada hacia el norte. El sensor de referencia (A) se programó para que las lecturas se realizaran con una frecuencia de 1/15 Hz. La toma de datos se realizó en horarios con luz difusa de 7 a 9 horas y de 17:30 a 19 horas. Los datos obtenidos se procesaron en el programa FV2200 (versión 2.1.1). Las lecturas de B se empataron con las más cercanas en tiempo a las lecturas de A. Se excluyeron los dos ángulos cenitales más horizontales para evitar capturar elementos no verdes tales como el suelo, corrales de animales, construcciones, entre otros.

Análisis de datos

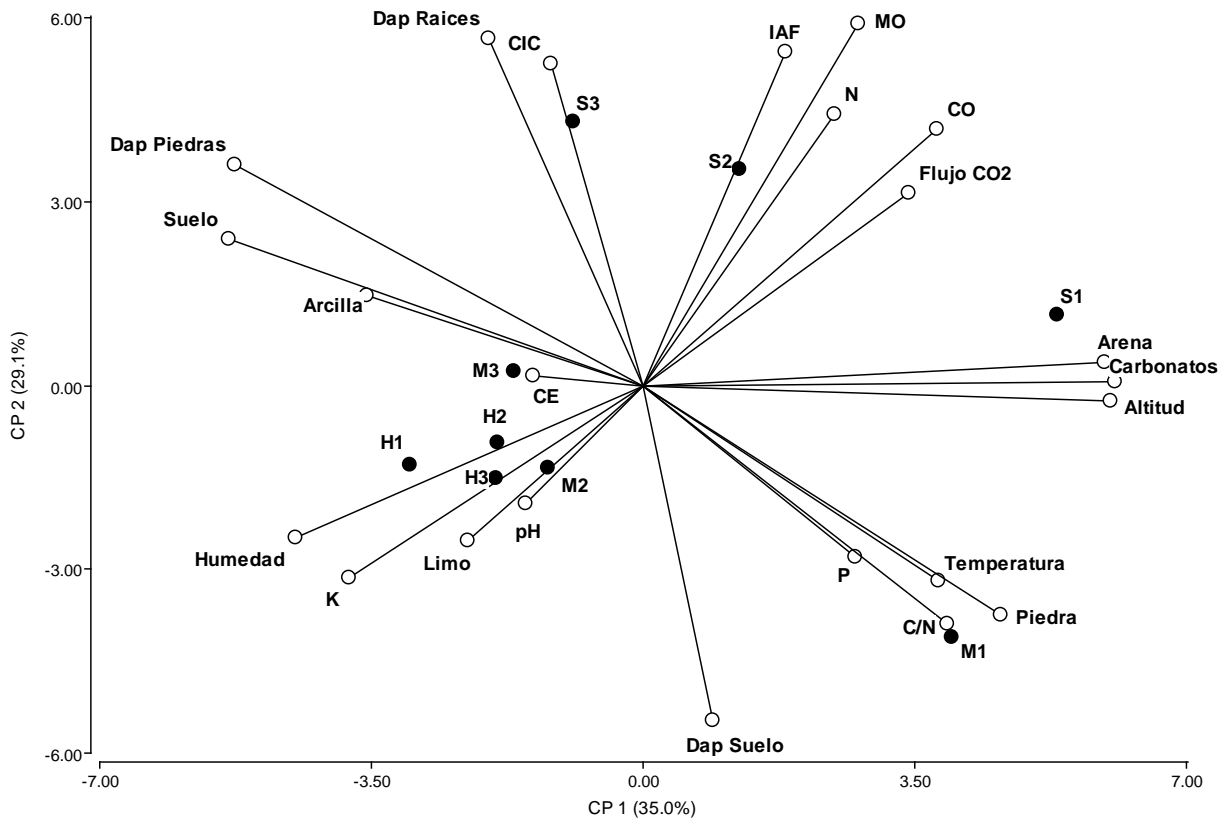
Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el fin de sintetizar la información de todas las variables obtenidas. Para analizar el efecto de los sistemas en cada una de las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Dichos análisis se realizaron en el software R mediante su interfaz gráfica Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Finalmente para establecer la relación estadística entre las distintas variables que forman parte del estudio, se realizó un análisis de correlaciones de Pearson y un análisis de regresión lineal múltiple . Todos los análisis se realizaron en el programa estadístico RStudio (RStudio Inc, Boston, Massachusetts).

RESULTADOS

El ACP (Figura 2) muestra como se relacionan los sistemas estudiados entre sí (M: milpa, H: huerto y S: selva), como se relacionan las variables físico-químicas de suelo, índice de área foliar y flujo de CO₂ entre sí, y como se relacionan sistemas y variables. Los dos primeros ejes representaron el 64.1% de la variabilidad observada. Podemos observar que las variables referentes a la acumulación de biomasa (índice de área foliar (IAF), contenido de materia orgánica (MO) y densidad aparente de raíces) se han alineado en el plano vertical con las variables referentes al carbono (contenido de carbono orgánico y flujo de CO₂), mientras que en el plano horizontal se agrupan las variables referentes a condiciones topográficas, tales como altitud, contenido de carbonatos, densidad aparente de piedras, porcentaje de suelo, arcilla y arena.

Figura 2. Análisis de componentes principales de variables de suelo (textura, variables físico-químicas, temperatura y humedad), índice de área foliar y respiración del suelo. Los diferentes sistemas son milpa (M), huerto (H) y selva (S).



Se presentaron tres agrupaciones, la primera formada por las selvas, las cuales están relacionadas positivamente con IAF, MO, nitrógeno (N), carbono orgánico (CO), flujo de CO₂, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente de las raíces (DAPr); la segunda agrupación formada por los huertos y milpas (M2 y M3); finalmente observamos que la milpa 1 (M1) está en un tercer conjunto relacionada positivamente con la temperatura del suelo (Ts), el porcentaje de piedras, el fósforo (P) y relación carbono-nitrógeno (C/N).

Variabilidad de la respiración y características del suelo

La variabilidad de la respiración y el resto de las variables estudiadas ha sido descrita a partir de los valores medios de cada sistema (Cuadro 1). Así, el IAF, porcentaje de materia orgánica y flujo de CO₂ son mayores en selvas, mientras que la humedad del suelo (Hs) es mayor en el huerto. En la milpa, la capacidad de intercambio catiónico es menor a la del huerto y la selva. En el huerto la concentración de carbono orgánico y nitrógeno es menor a la de la milpa y selva. El pH es más ácido en el huerto. En la selva, la concentración de potasio (K) es inferior a la de la milpa y del huerto. Mientras que para el resto de las variables no hubo diferencias significativas entre sistemas.

Cuadro 1. Comparación de medias y análisis de Varianza (ANOVA) de los tres sistemas (milpa, huerto y selva) en función de las variables físico-químicas de suelo, índice de área foliar y flujo de CO₂.

Variable	Milpa		Huerto		Selva		F	Pr (>F)
	Media	CV (%)	Huerto	CV (%)	Selva	CV (%)		
IAF(m ² m ⁻²)	1.48±0.41 a	143.9	2.76±0.36 b	67.3	6.26±0.25 c	20.4	44.12	1.52e-13***
MO (%)	10.58±0.35 a	17.2	8.56±0.42 b	25.6	15.16±0.68 c	23.5	41.59	5.09e-13***
FCO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	3.12±0.23 a	38.0	4.43±0.34 b	39.7	6.16±0.45 c	38.0	20.6	6.57e-8***
Hs (%)	0.33±0.02 a	25.3	0.39±0.02 b	23.5	0.25±0.01 c	26.6	19.2	1.66e-7***
CO (kg/m ²)	3.97±0.13 a	16.6	3.11±0.16 b	26.6	4.52±0.21 a	23.8	17.84	4.16e-7***
N (kg/m ²)	0.35±0.02 a	24.6	0.27±0.01b	25.8	0.39±0.02 a	23.2	16.08	1.42e-6***
CIC (Cmol/kg)	32.96±1.91 b	30.1	43.58±2.23 a	26.7	50.46±2.46 a	25.4	15.87	1.65e-6***
K (kg/m ²)	0.03±0.00 a	22.4	0.03±0.00 a	37.3	0.02±00 b	33.9	10.75	7.52e-5***
pH	7.68±0.04 ab	2.7	7.78±0.02 a	1.4	7.61±0.04 b	2.6	6.247	0.00304**
Ts (°C)	22.13±0.56 a	13.1	23.17±0.26 a	5.9	22.58±0.34 a	7.9	1.622	0.204
P (kg/m ²)	0.0003±0.0 a	45.6	0.0003±0.0 a	54.18	0.0003±0.0 a	57.7	1.174	0.314
CE (dS/m)	0.23±0.05 a	116.5	0.25±0.05 a	104.1	0.22±0.01 a	26.9	0.618	0.542
C/N	12.06±0.89 a	38.5	11.68±0.15 a	6.5	11.58±0.16 a	7.0	0.055	0.946

IAF: Índice de Área Foliar; MO: Materia Orgánica; FCO₂: Flujo de CO₂; Hs: Humedad del suelo; CO: Carbono Orgánico; N: Concentración de Nitrógeno; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; K: Concentración de Potasio; Ts: Temperatura del suelo; P: Concentración de Fósforo; CE: Conductividad Eléctrica; C/N: Relación Carbono-Nitrógeno; ***Significativo ($\alpha \leq 0.001$); **Significativo ($\alpha \leq 0.01$).

Relación de la respiración del suelo con factores ambientales

La correlación lineal entre el flujo de CO₂ (FCO₂) y otras características del suelo (Cuadro 2) fue significativa ($p \leq 0.05$) sólo para el porcentaje de raíces ($r=0.56$), mientras que el IAF está correlacionado ($p \leq 0.05$) con MO ($r= 0.53$), porcentaje de raíces ($r=0.58$) y densidad aparente de las raíces (DAPr) ($r=0.55$). MO presenta una correlación negativa ($p \leq 0.05$) con Hs ($r=-0.58$) y densidad aparente del suelo (DAPs) ($r=0.51$), y correlación positiva ($p \leq 0.05$) con CIC ($r=0.55$), CO ($r=0.67$), N ($r=0.58$) y porcentaje de raíces ($r=0.78$). La CIC se correlaciona positivamente con el porcentaje de arcilla ($r=0.71$), no así con el porcentaje de limo ($r=-0.64$).

Al realizar el modelo de regresión lineal múltiple para cada uno de los sistemas las variables explicativas que nos indican una influencia en la variable dependiente, es decir el FCO₂, son el índice de área foliar (con $p \leq 0.05$ para milpa y selva, y $p \leq 0.1$ para huerto), materia orgánica (con $p \leq 0.05$ para milpa y selva, y $p \leq 0.1$ para huerto), concentración de nitrógeno (con $p \leq 0.01$ para los tres sistemas) y contenido de arcilla (con $p \leq 0.05$ para milpa y selva y $p \leq 0.1$ para huerto).

Cuadro 2. Correlaciones de Pearson

	FCO ₂	IAF	Ts	Hs	MO	pH	CIC	CE	CO	N	P	K	C/N	CARB	Suelo	Piedra	Raíces	DAPs	DAPp	DAPr	Arena	Arcilla	Limo	
FCO ₂	-																							
IAF	0.40																							
Ts	0.18	-0.03																						
Hs	-0.42	-0.21	-0.09																					
MO	0.45	0.53	-0.17	-0.58																				
pH	-0.09	-0.19	-0.03	0.39	-0.39																			
CIC	0.30	0.32	-0.18	-0.17	0.55	-0.16																		
CE	0.04	-0.09	-0.02	0.08	-0.13	-0.14	-0.32																	
CO	0.25	0.25	-0.16	-0.49	0.67	-0.21	0.32	-0.18																
N	0.08	0.16	-0.32	-0.32	0.58	-0.14	0.35	-0.15	0.89															
P	0.25	0.18	0.46	0.03	0.07	-0.06	-0.07	0.01	0.24	0.10														
K	-0.17	-0.41	-0.18	0.12	-0.24	0.02	0.01	-0.14	0.11	0.09	0.02													
C/N	0.14	0.06	0.34	-0.32	0.04	-0.20	-0.24	-0.07	0.03	-0.36	0.12	0.09												
CARB	0.32	0.21	0.49	-0.39	0.10	0.08	-0.25	0.00	0.17	0.15	0.24	-0.37	0.01											
Suelo	-0.13	0.04	-0.46	0.36	-0.12	0.20	0.25	-0.01	-0.06	0.02	-0.11	0.15	-0.30	-0.43										
Piedra	0.00	-0.17	0.48	-0.26	-0.05	-0.15	-0.33	0.01	-0.02	-0.09	0.10	-0.06	0.31	0.38	-0.98									
Raíces	0.56	0.58	-0.14	-0.42	0.78	-0.20	0.41	0.01	0.38	0.32	0.01	-0.38	-0.03	0.19	-0.02	-0.20								
DAPs	-0.24	-0.42	0.11	0.10	-0.51	0.19	-0.40	-0.02	0.24	0.25	0.21	0.38	-0.01	0.20	-0.06	0.17	-0.50							
DAPp	-0.11	0.17	-0.62	0.34	0.06	0.09	0.41	0.09	-0.15	-0.04	-0.30	0.13	-0.25	-0.67	0.63	-0.65	0.13	-0.35						
DAPr	0.17	0.55	-0.55	0.03	0.37	0.02	0.33	0.05	0.20	0.22	-0.20	-0.19	-0.20	-0.24	0.49	-0.59	0.50	-0.37	0.69					
Arena	0.37	0.20	0.34	-0.49	0.39	-0.08	-0.22	0.06	0.41	0.23	0.28	-0.36	0.26	0.56	-0.50	0.40	0.40	0.03	-0.57	-0.11				
Arcilla	0.04	0.09	-0.10	0.18	-0.05	-0.02	0.71	-0.32	-0.12	-0.05	-0.11	0.27	-0.12	-0.41	0.28	-0.25	-0.09	-0.15	0.42	0.10	-0.59			
Limo	-0.40	-0.30	-0.21	0.25	-0.31	0.11	-0.64	0.32	-0.26	-0.15	-0.14	0.02	-0.10	-0.05	0.15	-0.09	-0.28	0.15	0.05	-0.02	-0.24	-0.64	-	

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados del ACP, la milpa 1 presenta características distintas al resto del grupo de milpas debido a que se ubica en un terreno con mayor pedregosidad y heterogeneidad en su relieve. Mientras que las milpas (M1 y M2) intercaladas con árboles frutales (MIAF) (Cortés *et al.*, 2005; Santiago-Mejía *et al.*, 2008; Ruiz *et al.*, 2012) han sido agrupadas en el ACP con los huertos, la explicación a ello puede deberse a que éstas milpas se encuentran intercaladas con frutales (MIAF) de dos años de edad, por lo tanto, es posible que presenten características similares a los huertos.

En el análisis de varianza, las selvas presentaron las medias más altas en las variables referentes a la acumulación de biomasa (IAF, N, CO, MO y CO₂) respecto a la milpa o huerto.

El valor medio de respiración del suelo muestra valores en ascenso conforme al tipo de sistema (Cuadro 1). Martínez-García *et al.* (2013) reportan para suelos desnudos ($1,44 \pm 0,04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Bicalho *et al.* (2014) en cultivos de caña de azúcar con cosecha mecanizada ($2,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y cosecha manual ($3,66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Gomes *et al.* (2016) reporta en sistemas agroforestales de café tasas desde 2.66 a $8,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con una variabilidad mayor (CV 30.6% a 39.6%) comparada con cafetales cultivados bajo pleno sol intercalado con maíz (CV 15 a 35.1%) tasas de flujo de 2.39 a $8,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Gomes *et al.* (2016) explican que el valor de los cafetales cultivados bajo pleno sol se incrementa debido a que los residuos de cosecha del maíz permanecen en la parcela hasta descomponerse. La alta variabilidad del FCO₂ en los sistemas agroforestales, es claramente explicada en los resultados de Gomes *et al.* (2016), puesto que la presencia

de distintas especies arbóreas generan condiciones ambientales particulares debido a sus características biológicas específicas. Nuestros resultados muestran altos coeficientes de variación por ser sistemas con gran diversidad de especies: milpa y selva (CV 38 %), y huerto (CV 39.7%).

Tal como lo mencionan Metcalfe *et al.* (2011), las comunidades vegetales influyen en la respiración del suelo a través de diversos mecanismos. El mecanismo más evidente y directo es el aporte de la planta a la cantidad y calidad de los insumos orgánicos al suelo (Metcalfe *et al.*, 2011).

Al incrementar la cobertura vegetal decrece la variabilidad de la capacidad de intercambio catiónico y el mismo índice de área foliar (Cuadro 1), datos similares fueron encontrados por Gomes *et al.* (2016).

Existe una correlación positiva entre el IAF tanto para el contenido de MO, como para el porcentaje de raíces, lo que se traduce en que a mayor porcentaje de raíces más respiración autotrófica y a mayor acumulación de MO, mayor respiración heterotrófica por la acción de los microorganismos (Martínez-García *et al.*, 2013).

La media en huertos en contenido de MO, CO y N es menor en comparación con milpa y selva, puesto que como parte de las labores culturales, las familias barren la hojarasca para después quemarla. Esta actividad no permite que haya una acumulación de materia orgánica y por lo tanto no hay una descomposición de los residuos, lo que interrumpe el ciclo del carbono y acelera la emisión de CO₂. Este hecho a su vez conlleva una disminución en el carbono orgánico del suelo que está en función de la cantidad y descomposición de la MO, raíces de las plantas y otros materiales orgánicos que retornan al suelo (Follett, 2001; Sandoval *et al.*, 2003).

Diversos autores concuerdan que la temperatura y humedad del suelo son los factores con mayor influencia en los cambios del flujo de CO₂ (Luo y Zhou, 2006; Pérez-Molina *et al.*, 2013). Según Reiners (1968) pueden representar hasta el 90% de la variación de la respiración del suelo. De acuerdo con lo encontrado por Xu y Qi (2001) la humedad de suelo es el principal factor de influencia, puesto que una baja humedad inhibe la actividad microbológica y la respiración de las raíces.

Sin embargo, derivado del análisis de correlación lineal de Pearson, la única variable que se correlaciona positivamente con el FOC₂ es el porcentaje de raíces. Lo anterior se explica debido a que las raíces finas son un componente clave en el flujo y acumulación de carbono en el suelo, ya que pueden acumular hasta 75% de la producción primaria neta anual (Finér *et al.*, 2011). Pérez-Molina *et al.* (2013) sugieren a la respiración del suelo como un indicador de la productividad del ecosistema, entonces sus resultados indican que la productividad subterránea es mayor en un bosque de vegetación secundaria en comparación con un sistema agroforestal, puesto que en el bosque existe una mayor biomasa de raíces finas.

La CIC, importante parámetro para caracterizar la fertilidad del suelo (Geissen y Morales, 2006), está correlacionada positivamente con el porcentaje de arcilla y negativamente con el porcentaje de limo, lo que indica que a mayor contenido de arcillas, mayor es la capacidad de intercambio catiónico, tal resultado concuerda con lo encontrado por Otero *et al.* (1998). Se encontró una deficiencia notable en el fósforo en todos los sistemas, lo que concuerda con estudios realizados por Pool *et al.* (2002) en la misma comunidad.

Los huertos presentan mayor humedad al tener mayor porcentaje de arcilla, Pool *et al.* (2002) establecen que al ser suelos arcillosos retienen mayor cantidad de agua y su tiempo de filtración es más lento, por lo tanto soportan mejor la sequía. Por ello, algunos de los agricultores han optado por sembrar algunos de sus alimentos con mayor frecuencia de consumo como el maíz, frijol, ibes, calabaza y chile dentro del huerto.

CONCLUSIONES

El flujo de CO₂ del suelo varía en función del tipo de cubierta arbórea, influenciado por la respiración autotrófica al estar correlacionado positivamente con el porcentaje de raíces presentes. A su vez, el porcentaje de raíces está correlacionado positivamente con el índice de área foliar y contenido de materia orgánica.

Conforme aumentan los niveles del índice de área foliar y porcentaje de raíces, es decir variables relacionadas a la productividad primaria, aumentan las tasas de flujo de CO₂ en el suelo. Entonces tenemos los niveles más bajos de éstos valores en la milpa, seguidos por el huerto, y finalmente la selva.

Los sistemas agroforestales tradicionales con mejoras en su manejo, como la reincorporación de la hojarasca al suelo y con un aumento en su cobertura arbórea, podrían contribuir a un mayor flujo y captura de carbono y por lo tanto a mantener procesos ecológicos vitales para la mitigación del cambio climático.

Es posible considerar a la respiración del suelo como variable proxy de los servicios de regulación y soporte, pues es la diferencia entre el flujo de carbono entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres en el ciclo del carbono.

Nuestro estudio se realizó en un período corto y en una sola estación del año, por lo que convendría realizar estudios para evaluar la respiración del suelo a lo largo del año y así mejorar la comprensión de los factores con mayor influencia y su relación.

Debido a la naturaleza compleja de la respiración del suelo y a la interrelación de los factores que la regulan, es necesario el uso de métodos de análisis más refinados para establecer mejor las correlaciones.

Resulta pertinente recomendar como parte del manejo de los huertos, permitir que la materia orgánica de la hojarasca se desintegre e incorpore al suelo.

LITERATURA CITADA

Altieri MA. 2009. Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. *Ecología Política*, 38: 25-35.

Altieri MA, Nicholls CI. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8 (1):7-20.

Aguirre-Salado C, Valdez-Lazalde J, Ángeles-Pérez G, De los Santos-Posadas H, Aguirre-Salado A. 2011. Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos SPOT 5 HRG: Regresión y K-NN. *Agrociencia* 45:105-119.

Anderson MC. 1971. Radiation and crop structure. In: Sestak Z, Catsky J, Jarvis PG, eds. *Plant photosynthetic production: manual of methods*. The Hague, The Netherlands: Junk.

Balvanera P, Cotler H. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: CONABIO, 2009. *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México, DF.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 185-245.

Barrera MA, Gómez-Pompa A, Vasquez-Yañes C. 1997. El manejo de las selvas por los mayas. *Biótica* 2(2):47-61.

Bicalho ES, Panosso AR, Teixeira D, Miranda JG, Pereira G, La Scala N. 2014. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 189: 206-215.

- Bréda NJ. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* 54 (329): 2403-2417.
- Bréda NJ. 2008. Leaf Area Index. En: Encyclopedia of Ecology, edited by Sven Erik Jorgensen and Brian D. Fath, Academic Press, Oxford, 2008, 2148-2154.
- Cassanova-Lugo F, Petit-Aldana J, Solorio-Sánchez J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17 (1):133-143.
- Cortés JF, Turrent F, Díaz V, Hernández E, Mendoza R, Aceves E. 2005. *Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas*. México: SAGARPA-Colegio de Postgraduados. 11, pp.
- Daily GC. 1997. *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C, USA.: Island Press. 393 pp.
- De Clerck FAJ, Negreros-Castillo P. 2000. Plant species of traditional Mayan homegardens of Mexico as analogs for multistrata agroforests. *Agroforestry Systems*, 48:303-317.
- Del Amo RS, Ramos PJ. 1993. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. *Agroforestry Systems*, 21:27-42.
- Finér L, Ohashi M, Noguchi K, Hirano Y. 2011. Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. *Forest Ecology and Management*, 265: 124-132.
- Follet RF. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration cropland soils. *Soil & Tillage Research* 61: 77-92.
- Ford A, Nigh R. 2015. *The Maya Forest Garden. Eight Millennia of Sustainable Cultivation of the Tropical Woodlands*. United States of America: Left Coast Press.
- Geissen V, Morales G. 2006. Fertility of tropical soils under different land use systems - a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology* 31: 169–178.

- Gomes LC, Cardoso IM, Mendonça E, Fernandes RB, Lopes VS, Oliveira TS. 2016. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 224: 30-39.
- Hart RD. 1980. A natural ecosystem analog approach to the design of a successional crop system for tropical forest environments. *Biotropica*, 12: 73-83.
- Hernández XE. 1959. La agricultura. pp.3-57. En: E. Beltrán (Ed.). Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. Tomo 3 (1). Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, D.F.
- Hernández XE. 1970. Exploración etnobotánica y su metodología. ENA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Hernández XE. 1985. *Xolocotzia. Obras de Efraím Hernández Xolocotzi*. Tomo I. Geografía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- [INECOL] Instituto Nacional de Ecología. 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Calakmul. 1era Edición. México, D.F.: Unidad de Participación Social, Enlace y Comunicación, INE. pp.273.
- LI-COR. 2013. *LAI-2200C Plant Canopy Analyzer: Instruction Manual*. Nebraska, USA: LI-COR, Inc.
- Lloyd J, Taylor JA. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8:315-323.
- Luo Y, Zhou X. 2006. *Soil Respiration and the environment*. Estados Unidos de América: Elsevier, Inc. 320 pp.
- Martínez E, Galindo C. 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: Clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 71: 7-32.
- Martínez-García E, López-Serrano FR, Rubio E, Dadi T, Andrés-Abellán M, García-Morote FA, Lucas-Borja ME, Candel D, Wic C. 2013. El flujo de CO₂ del suelo y sus variaciones espaciales y temporales en un monte mixto de *Pinus pinaster Ait.* y *Quercus ilex L.* VI Congreso Forestal. España.

- Mason EG, Diepstraten M, Pinjuv GL, Lasserre J-P. 2012. Comparison of direct and indirect leaf area index measurements of *Pinus radiata* D. Don. *Agricultural and Forest Meteorology* 166-167: 113-119.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C.
- Metcalfe DB, Fisher RA, Wardle DA. 2011. Plant communities as drivers of soil respiration: pathways, mechanisms, and significance for global change. *Biogeosciences*, 8: 2047–2061.
- Montagnini F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: Biodiversity, food security, and nutrient management. En: Kumar B.M. y Nair P.K.R. Eds. *Tropical Homegardens: A Time Tested Example of Sustainable Agroforestry*. Springer, Dordrecht.
- Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences* 91 (4): 375-398.
- Moreno-Calles AI, Galicia-Luna VJ, Casas A, Toledo VM, Vallejo-Ramos M, Santos-Fita D, Camou-Guerrero A. 2014. La Etnoagroforestería: El estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología* 12 (3):1-6.
- Municipio de Calakmul, Proyecto Prosureste GPZ-CONANP. 2015. Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Calakmul, Campeche. Un estudio enfocado a las funciones ecológicas del paisaje. [pdf] México: Gobierno del Estado de Campeche. Disponible en: <https://drive.google.com/drive/folders/0B1hvD_QqJOK6ZXhKbIZIdW1oOHc> [Último Acceso 12 Septiembre 2016].
- Nair PKR, Garrity D. 2012. *Agroforestry-The Future of Global Land Use*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Noriega-Trejo R, Arteaga M. 2010. Síntesis de los tipos de vegetación terrestre. En: GJ Villalobos-Zapata, J Mendoza (Coord.). 2010. *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. pp. 730.

- Oldeman RA. 1983. The design of ecologically sound agroforests. In: Huxley, P. A. (ed). *Plant research and agroforestry*. Nairobi: ICRAF.
- Otero L, Ortega F, Morales M. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de vertisoles de la provincia Granma. *Terra* 16 (3):189-194
- Pérez-Molina JP, Roupsard O, Van den Meersche K. 2013. Variabilidad temporal y espacial de la respiración del suelo y su partición en respiración autotrófica y heterotrófica, necromasa y tasas de liberación de nutrientes de la hojarasca, en un sistema agroforestal de café, comparado a bosque de origen. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE). [Tesis de Maestría] Turrialba, Costa Rica. 80 pp.
- Perfecto I, Vandermeer J, Wright A. 2009. *Nature's Matrix. Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. London: Earthscan.
- Pool L, Hernández XE. 1987. La intensificación de la producción maicera bajo roza-tumba-quema en Yaxcabá, Yucatán, México. *Terra* 5: 149-162.
- Pool L, Cortina S, Macario P. 2000. Presentación de avances de investigación: Aspecto físico biótico. En: Pat J y Ku V., eds. 2000. *Tendencias de cambio en el uso de suelo por los factores socioeconómicos, naturales y técnicos en la región de Calakmul, Campeche*. México: El Colegio de la Frontera Sur. 24-102.
- Pool L, Jiménez JJ, Parra MR, Bautista F. 2002. *El cambio de uso de suelo en Calakmul, Campeche*. México: El Colegio de la Frontera Sur. 36 pp.
- Raich JW, Tufekciogul A. 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry*, 48: 71.
- Raivonen M, Mäkiranta P, Lohila A, Juutinen S, Vesala T, Tuittila E. 2015. A simple CO₂ exchange model simulates the seasonal leaf area development of peatland sedges. *Ecological Modelling* 314: 32-43.
- Rapidel B, De Clerck F, Le Coq JF, Beer J. (Eds.), 2011. *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment*. Earthscan, London, UK, 430pp.

- Reiners WA. 1968. Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. *Ecology* 49: 471-483.
- Ruiz A, Jiménez L, Figueroa O, Morales M. 2012. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(8): 1605-1621.
- Sandmann M, Graefe J, Feller C. 2013. Optical methods for the non-destructive estimation of leaf area index in kohlrabi and lettuce. *Scientia Horticulturae* 156: 113-120.
- Sandoval M, Stolpe N, Zagal E, Mardones M, Junod J. 2003. El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria* 12: 65-71.
- Santiago-Mejía E, Cortés-Flores JI, Turrent-Fernández A, Hernández-Romero E, Jaen-Contreras D. 2008. Calidad del fruto del duraznero en el sistema milpa intercalada con árboles frutales en laderas. *Agricultura Técnica en México* 34(2): 159-166.
- [SEMARNAT] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Norma Oficial Mexicana 021-RECNAT-2000. especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*.
- Senanayake R. 2003. Forestería Análoga: Una alternativa a rozar y simplificar. *Revista de Agroecología LEISA* 16:14-15.
- Stephens PA, Pettorelli N, Barlow J, Whittingham MJ, Cadotte MW. 2015. Management by proxy? The use of indices in applied ecology. *Journal of Applied Ecology*, 52: 1-6.
- Taugourdeau S, Le Maire G, Avelino J, Jones J, Ramirez L, Jara M, Charbonnier F, Gómez-Delgado F, Harmand JM, Rapidel B, Vaast P, Roupsard O. 2014. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 192:19-37.
- Torquebiau E. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Life Sciences*, 323: 1009-1017.
- Villalobos-Zapata GJ, Mendoza J. 2010. *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. pp. 730.

- Watson DJ. 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11, 41-76.
- Wiersum KF. 2004. Forest gardens as an “intermediate” land-use system in the nature-culture continuum: characteristics and future potential. *Agroforestry Systems*, 61:123-134.
- Wuest S. 2009. Correction of Bulk Density and Sampling Method Biases Using Soil Mass per Unit Area. *Soil Science Society of America Journal*. 73 (1): 312-16.
- Xu M, Debiase T, Qi Y, Goldstein A, Liu Z. 2001. Ecosystem respiration in a Young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains, California. *Tree Physiology*, 21:309-318.
- Xu M. Qi Y. 2001. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology* 7:667–677.

CONCLUSIÓN

Abordar un tema de servicios de provisión y soberanía alimentaria requiere de una visión integral, pues se trata de una realidad con un nivel alto de complejidad.

En la milpa se producen los alimentos principales de la dieta, aquéllos de mayor consumo. En el solar se producen especies frutales y hortalizas que contribuyen a complementar la dieta familiar. La selva es un espacio de interacción hombre-naturaleza que provee de algunos alimentos principalmente de origen animal. Juntos forman una red de espacios reproductivos y productivos.

Para asegurar la permanencia de los SAFT es necesario generar y aplicar políticas coherentes con el contexto y la riqueza biocultural de la región, además de conservar y retomar los alimentos tradicionales que promuevan el cultivo en estos espacios.

Los sistemas agroforestales tradicionales al tener el potencial de capturar carbono contribuyen a la mitigación y adaptación de los pequeños agricultores a las consecuencias negativas del cambio climático.

Es imprescindible que la producción agrícola se mantenga enfocada hacia prácticas sustentables que permitan seguir manteniendo los procesos ecológicos naturales, la conservación de la biodiversidad y al mismo tiempo proveer de alimentos diversos, nutritivos y culturalmente apropiados para la población.

Quizás resulte pertinente considerar una escala de organización a nivel comunitario en un segundo momento para la comercialización de los productos provenientes de los SAFT, lo cual implica la creación y apoyo de mercados locales, de venta directa al consumidor o con un mínimo de intermediarios.

LITERATURA CITADA

- Aide M, Clark M, Grau R, López-Carr D, Levy M, Redo D, Bonilla-Moheno M, Riner G, Andrade-Núñez M, Muñiz M. 2013. Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010). *Biotropica*, 45(2): 262-271.
- Altieri M. 2009. Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. *Ecología Política*, 38: 25-35.
- Altieri MA, Nicholls Cl. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8 (1): 7-20.
- Balvanera P, Cotler H. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: CONABIO, 2009. *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México, DF.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 185-245.
- Barrera MA, Gómez-Pompa A, Vasquez-Yañes C. 1997. El manejo de las selvas por los mayas. *Biótica* 2(2):47-61.
- Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno-Calles A, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado-Lemus A, Parra F, Arellanes Y, Caballero J, Cortés L, Lira R, Dávila P. 2010. Plant management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 64:287-302.
- Bohn J, Stewart A, Diemont W, Gibbs J, Stehman S, Mendoza J. 2014. Implications of Mayan agroforestry for biodiversity conservation in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico. *Agroforestry Systems* 88:269-285.

- Bonan G. 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320: 1444-1449.
- Buschbacher RJ. 1990. Natural forest management in the humid tropics: ecological, social, and economic considerations. *Ambio* 19: 253-258.
- Caballero CG. 2000. Aspectos ecológicos de los huertos familiares de Quintana Roo y Campeche, México. Tesis de Licenciatura. Instituto tecnológico de Chetumal.
- Cassanova-Lugo F, Petit-Aldana J, Solorio-Sánchez J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17 (1):133-143.
- Cuéllar M, Sevilla E. 2009. Aportando a la construcción de la Soberanía Alimentaria desde la Agroecología. *Ecología política* 38: 43-51.
- Daily GC. 1997. *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C, USA.: Island Press. 393 pp.
- De Clerck FA, Negreros-Castillo P. 2000. Plant species of traditional Mayan homegardens of Mexico as analogs for multistrata agroforests. *Agroforestry Systems* 48:303-317.
- Del Amo RS, Ramos PJ. 1993. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. *Agroforestry Systems* 21:27-42.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2011. InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Ellis EA, Porter BL. 2007. Agroforestería en la selva maya: antiguas tradiciones y nuevos retos. En: González, J.A., Del Amo, R.S., Gurri, G.F. (eds.). *Los nuevos*

caminos de la agricultura: procesos de conversión y perspectivas. 1era ed.
México, D.F. : Universidad Iberoamericana.

Estrada E, Bello E, Serralta L. 1998. Dimensiones de la etnobotánica: El solar maya como espacio social. En: Cuevas, J.A., Cedillo, E., Muñoz, A., Vera, P. (eds.). *Lecturas de Etnobotánica*. México: Universidad Autónoma Chapingo.

FAO. 2014. Los bosques para la seguridad alimentaria y nutricional. [En Línea] disponible en: <<http://www.fao.org/forestry/food-security/es/>> [Acceso el 06 de Junio de 2015].

Ford A, Nigh R. 2015. *The Maya Forest Garden. Eight Millenia of Sustainable Cultivation of the Tropical Woodlands*. United States of America: Left Coast Press.

Gamboa L, Criollo MC. 2011. Forestería análoga y su rol en la recuperación de ecosistemas y el cambio climático, *Revista de Agroecología LEISA* 27:8-12.

Gomes LC, Cardoso IM, Mendonça E, Fernandes RB, Lopes VS, Oliveira TS. 2016. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 224: 30-39.

González, A. 2012. Del huerto a los jardines y vecindades: Procesos de cambio en un agroecosistema de origen antiguo. In *El huerto familiar del sureste de México*, edited by R. Mariaca, pp. 544. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur, México.

Hart RD. 1980. A natural ecosystem analog approach to the design of a successional crop system for tropical forest environments. *Biotropica* 12:73-83.

Hernández XE. 1970. *Exploración etnobotánica y su metodología*. ENA. Colegio de

Postgraduados, Chapingo, México.

Ichikawa K, Toth GG. 2012. The Satoyama Landscape of Japan: The Future of an Indigenous Agricultural System in an Industrialized Society. En: Nair, P.K.R., y Garrity, D., 2012. *Agroforestry-The Future of Global Land Use*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg.

IPCC. 2001. The Scientific Basis. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der, P.J., Dai, X., Mashell, K., y Johnshon, C.A. (eds). *Contribution of working group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Lambin EF, Turner BL, Geist HJ. 2001. The causes of land-use and land cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261-269.

Martin JF, Roy ED, Diemont S, Ferguson BG. 2010. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. *Ecological Engineering* 36: 839-849.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C.

Miranda F, Hernández XE. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 23 (8): 29-179.

Montagnini F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: Biodiversity, food security, and nutrient management. En: Kumar B.M. y Nair P.K.R. Eds. *Tropical Homegardens: A Time Tested Example of Sustainable Agroforestry*. Springer, Dordrecht.

Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales

- de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences* 91 (4): 375-398.
- Nair PKR. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Holanda: Kluwer Academic Publisher.
- Nair PKR, Garrity D. 2012. *Agroforestry-The Future of Global Land Use*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Nicholls CI, Altieri MA, Henao A, Montalba R, Talavera E. 2015. *Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático*. Lima, Perú: REDAGRES y SOCLA.
- Oldeman R. 1983. The design of ecologically sound agroforests. In: Huxley, P. A. (ed). *Plant research and agroforestry*. Nairobi: ICRAF.
- Oldeman R. 1998. Ecology and management of residual forests or how to lodge one thousand species in one cubic meter. *IPEFV*. 12 (32): 13-20.
- Ortega-Cerda M, Rivera-Ferre M. 2010. Indicadores internacionales de Soberanía Alimentaria. Nuevas herramientas para una nueva agricultura. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 14, pp. 53-77.
- Peng Y, Thomas S, Tian D., 2008. Forest management and soil respiration: Implications for carbon sequestration. *Environmental Reviews*. 16:93-111
- Perfecto I, Vandermeer J, Wright A. 2009. *Nature's Matrix. Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. London: Earthscan.
- Rosset, P., y Martínez, M.E., 2004. Soberanía Alimentaria: Reclamo Mundial del Movimiento Campesino. versión traducida de Rosset, Peter. 2003. "Food Sovereignty: Global Rallying Cry of Farmer Movements." Institute for Food and Development Policy Backgrounder 9(4), pp. 4.

- Rzedowsky J. 1978. *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Sánchez PA. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30:5-55.
- Senanayake R. 2003. Forestería Análoga: Una alternativa a rozar y simplificar. *Revista de Agroecología LEISA* 16:14-15.
- Simón JA, Alemán R. 2010. Agroecology and the Development of Indicators of Food Sovereignty in Cuban Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34: 907-922.
- Sodhi NS, Ehrlich PR. 2010. *Conservation Biology for All*. New York: Oxford University Press.
- Sosa E. 2014. Agricultura Chol en Tacotalpa, Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, México. pp. 128.
- Soto L, García L. 2015. Conservación en espacios rurales humanizados. *Ecofronteras*19(53): 2-5.
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jiménez, G., and De Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78:39-51.
- Terán S, Rasmussen C. 2009. *La milpa de los mayas*. 2da Ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Torquebiau E. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Life Sciences* 323: 1009-1017.
- Turner IM, Corlett RT. 1996. The conservation value of small, isolated fragments of lowlands tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution* 11:330-333.

- Vallejo, M., Gurri, F., and Molina, D., 2011. Agricultura comercial, tradicional y vulnerabilidad en campesinos. *Política y Cultura*, 36: 71-98.
- Velazco SJ. 1999. Etnobotánica en dos sistemas agrícolas mayas. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Vía Campesina, 1996. Declaración sobre la Soberanía Alimentaria de los Pueblos. Cumbre Mundial de la Alimentación. II Conferencia Internacional de la Vía Campesina. Tlaxcala, México. [En línea] Disponible en: <http://www.viacampesina.org> [Último acceso 11 Noviembre 2015].
- Verchot, L., Van Noordwijk, M., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K., and Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12: 901-918.
- Wiersum KF. 2004. Forest gardens as an “intermediate” land-use system in the nature-culture continuum: characteristics and future potential. *Agroforestry Systems* 61:123-134.
- Wojtkowski P. 2002. *Agroecological perspectives in agronomy, forestry and agroforestry*. New Hampshire, United States of America: Science publishers.