

MODELOS DE ESTADOS Y TRANSICIONES PARA LOS ALMACENES DE CARBONO DE LAS PRINCIPALES REGIONES DE CHIAPAS, MÉXICO

MODELS OF STATES AND TRANSITIONS FOR THE CARBON STOCKS OF THE MAIN REGIONS OF CHIAPAS, MEXICO

Sara Covaleda-Ocón ^{1‡}, Fernando Paz-Pellat ², Ben de Jong ³

¹ Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México

² GRENASER, *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México

³ Unidad Campeche, El Colegio de la Frontera Sur, Campeche, Campeche, México

[‡]Autor para correspondencia: scovaleda@gmail.com

RESUMEN

De acuerdo con los compromisos internacionales, y políticas públicas asociadas alineadas al desarrollo rural sustentable bajo en emisiones, de México, es necesario el desarrollo de herramientas para la planeación e intervención en el manejo de los territorios. Los modelos de estados y transiciones (MET) cumplen la función de ser de tipo cuantitativo y de caracterizar los usos del suelo en sitios o regiones de la geografía nacional. En este trabajo se detalla la construcción de MET y se ejemplifica su aplicación. Para el caso del estado de Chiapas, se presentan nueve MET regionales, con los factores que inciden en los cambios de los usos del suelo; además de información de los cinco almacenes de carbono necesarios para modelar dinámicas: biomasa aérea, biomasa subterránea, mantillo, material leñoso muerto y suelo.

Palabras Clave: REDD+; regionalización; dinámica del carbón; políticas públicas; ordenamiento territorial

ABSTRACT

In accordance with international commitments and associated public policies aligned with low-emission sustainable rural development in Mexico, it is necessary to develop tools for planning and intervention in the management of territories. The state and transition models (MET) fulfill the function of being quantitative and characterizing land uses in sites or regions of the national geography. In this work the construction of MET is detailed and their application is exemplified. In the case of the state of Chiapas, nine regional MET are presented, with the factors that influence changes in land use; in addition to information on the five carbon stores necessary to model dynamics: aboveground biomass, underground biomass, mulch, dead woody material and soil.

Index words: REDD+; regionalization; carbon dynamics; public policies; land use planning

INTRODUCCIÓN

México es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático o CMNUCC (UNFCCC, 2014), del Protocolo de Kioto (UNFCCC, 2015a) y el Acuerdo de París (UNFCCC, 2015b), donde ha adquirido compromisos internacionales para la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), planteados como el desarrollo de políticas públicas en una visión de desarrollo rural sostenible bajo en carbono (SEMARNAT, 2012), en función del manejo integrado de estos territorios, particularmente en el esquema de reducción de emisiones de gases efecto invernadero por deforestación y degradación evitada o REDD (UNFCCC, 2016). Posteriormente, REDD se convirtió en REDD+ al aceptarse la inclusión de tres nuevas actividades dentro del marco de REDD: (c) conservación de las reservas de carbono de los bosques; (d) manejo sustentable de los bosques; (e) aumento de las reservas de carbono de los bosques. Esta propuesta de pago por la reducción de emisiones de GEI causadas por la degradación forestal y deforestación está actualmente en entre los primeros planos de las negociaciones internacionales en relación al protocolo post-Kioto 2012 (*i.e.* COP 16: México 2010) y ha causado grandes expectativas en los países donde la degradación forestal y deforestación son importantes y difíciles de detener, como es el caso de México.

En las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de México (Gobierno de la República, 2015) ante el Acuerdo de París de la CMNUCC el país planteó la meta de tasa cero de deforestación neta para el 2030, definiendo un marco general para la implementación de políticas públicas para el sector forestal. En 2006 el sector ASOUS (Agricultura, Forestería y Otros Usos del Suelo) constituyó la segunda fuente más importante de emisiones de GEI a la atmósfera ya que contribuyeron con casi el 19% (131.6 MtCO₂e) de las emisiones totales del país (de Jong *et al.*, 2009). Por tanto, la reducción de emisiones en el sector ASOUS desempeña una función determinante para las metas a corto y largo plazo y se espera que el sector forestal continúe participando de manera importante en las acciones futuras.

La consideración de solo “bosques” en la estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático resulta en una perspectiva reduccionista. Por ello, México se ha propuesto aprovechar los planteamientos de REDD+ para estructurar una política de estado congruente para todo el sector ASOUS, con un sistema

de monitoreo, reporte y verificación (MRV) unificado, que sea armónica con los objetivos del país, ya que la coyuntura constituye una oportunidad única para el desarrollo sustentable. Este planteamiento implica la necesidad de desarrollar herramientas que ligen MRV-escenarios de referencia de REDD+-políticas públicas. En este sentido los modelos de estados y transiciones (MET) constituyen una opción a explorar. Los MET se componen de tres elementos: los estados, las transiciones y los umbrales. Un estado es un complejo reconocible, resistente y resiliente de dos componentes: el suelo y la estructura de la vegetación. La vegetación y el suelo están conectados a través de procesos ecológicos integrales que interactúan para producir un equilibrio sostenido que se expresa por un conjunto específico de comunidades vegetales (Stringham *et al.*, 2001). Cuando uno o más de los procesos ecológicos primarios responsables del mantenimiento del equilibrio de un estado se degradan (por causas naturales o antrópicas) por debajo del punto de la “auto-reparación”, se dice que se ha cruzado un umbral. En ausencia de una restauración activa, se forma un nuevo estado y también un nuevo umbral. Por otra parte, una transición es una trayectoria de cambio, precipitada por eventos naturales y/o acciones de manejo que degrada la integridad de uno o más de los procesos ecológicos primarios. Las transiciones pueden ser reversibles o irreversibles, una vez que se ha cruzado un umbral (Stringham *et al.*, 2001).

Los MET aproximan el equilibrio suelo-vegetación de los ecosistemas, de tal forma que definen trayectorias de evolución (tiempo en forma implícita) de la dinámica observada. La ventaja de los MET es que se pueden aplicar en forma operacional para el manejo de los bosques y evaluar el impacto de estrategias de perturbación (manejo o natural), como sumidero (captura) o fuente (liberación) de carbono (C). Los MET definen de forma clara trayectorias reversibles o irreversibles de manejo, de tal forma que las consideraciones de captura de carbono en el ecosistema forestal, bajo una estrategia de manejo dada, pueden ser analizadas y evaluados sus costos (Covaleda *et al.*, 2007). Si el sistema suelo-vegetación sobrepasa un umbral de degradación irreversible, la recuperación del estado inicial (bosque sin perturbar) es prácticamente imposible en términos operacionales. Por ello, si el sistema está en la condición de máxima degradación, los intentos por restaurar las funciones del ecosistema (*i.e.* captura de C) serán poco útiles en términos de los costos asociados. No obstante, si un sistema está en

un estado transicional, entonces es viable que pueda restaurarse.

Por tanto, los MET son capaces de incorporar actividades y prácticas de manejo que entrarían en los mecanismos de REDD+, proponer prácticas de manejo que eviten la degradación de los ecosistemas forestales y mantengan o incrementen los almacenes de carbono en otras actividades productivas (agricultura, ganadería, etc.). Además, estos modelos pueden proporcionar retroalimentación adecuada y oportuna a los diseñadores de políticas sobre la efectividad de las estrategias REDD+ para controlar los factores que promueven la deforestación y degradación de los bosques.

El objetivo de este trabajo es desarrollar MET regionales para el estado de Chiapas, considerando los cinco almacenes de carbono (biomasa aérea, biomasa subterránea, materia muerta, mantillo y suelo) definidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006). La selección del estado de Chiapas para este fin obedece a que se trata de un estado piloto del Programa Mexicano del Carbono (PMC) para probar diferentes metodologías para la elaboración de escenarios de referencia a nivel detallado (local) y estrategias de MRV.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estado de Chiapas (Figura 1) se ubica en el sureste de México, entre las coordenadas: 17°59' - 14°32' N; 90°22' - 94°14' O. Colinda al norte con el estado de Tabasco, al este con Guatemala; al sur con Guatemala y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico y los estados de Oaxaca y Veracruz. El estado representa el 3.8% de la superficie del país, abarcando un área de 7 289 600 ha, de acuerdo al marco geoestadístico municipal de INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) del año 2005 versión 1 (quedando excluidas las áreas en conflicto o áreas pendientes por asignar, como las denomina INEGI). Junto con Oaxaca representa una de las regiones de mayor diversidad biológica del país. Su posición geográfica, su variada topografía y diversidad de grupos climáticos son algunas de las razones que explican este hecho.

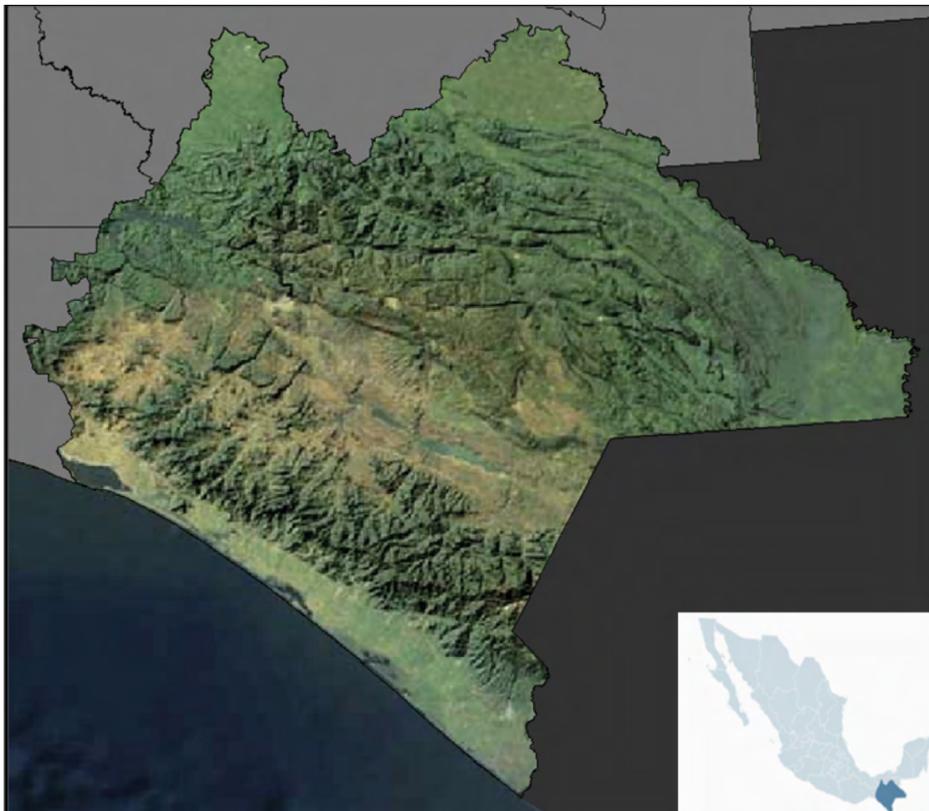


Figura 1. Localización del estado de Chiapas en la República Mexicana.

Revisión de literatura

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda y revisión de literatura sobre los usos del suelo, dinámica de cambio de uso del suelo y almacenes de carbono en ecosistemas naturales y manejados del estado de Chiapas. Se utilizaron dos trabajos cuyo ámbito era el estado de Chiapas: de Jong *et al.* (2010) y Paz *et al.* (2010), el primero en relación al establecimiento de una línea base de las emisiones actuales y futuras de gases de efecto invernadero provenientes de agricultura, silvicultura y otros usos del suelo y el segundo en relación a la estimación del carbono orgánico edáfico en los suelos de Chiapas.

Los trabajos consultados, llevados a cabo en distintas zonas de Chiapas, se citan a continuación: Aguilar (2007), Aguilar-Cruz (2008), Aguirre (2006), Alvarado (2000), Alvarado (2007), Bolom Ton (2000), Caamal (2008), Castillo *et al.* (2009), Celedon-Muñiz (2006), CONANP (2001), Cortina (2007), De la Piedra (1997), de Jong (2000), de Jong *et al.* (2000), Delgadillo y Quechulpa (2007), Duarte (2010), Esquivel (2005), Flamenco *et al.* (2007), Galindo (2002), González (2008), Hernández (2010), INE-SEMARNAP (1998), INE-SEMARNAP (1999), INE-SEMARNAP (1999b), INE-SEMARNAP (2000), Jiménez *et al.* (2010), Kötzt (2003), López (2001), Marinidou (2009), Mendoza *et al.* (2003), Monroy-Sosa (2009), Morales (2010), Ochoa (2000), Orihuela (2010), Peeters *et al.* (2003), Ramos (2006), Rendón (2007 y 2009), Reynoso (2005), Rico (2008), Rojas (2009), Romero (2006), Roncal *et al.* (2008), Salgado *et al.* (2007), Soto *et al.* (2010), Taylor (2010).

Se consultaron trabajos realizados en otras regiones, como los de Covalada (2008) y Ordóñez *et al.* (2008), en Michoacán, para obtener información sobre algunos almacenes de carbono asociados a los bosques de pino-encino y usos del suelo de la meseta purépecha, donde las condiciones no son muy diferentes a las de Los Altos de Chiapas. Se incluye, también, información de otros países, con el fin de obtener información sobre cacaotales, plantaciones de palma africana y plantaciones forestales tropicales (Concha *et al.*, 2007; Gottingen, 2005; Redondo y Montagnini, 2006).

Diferenciación de regiones para la construcción de los MET

Tras una revisión de la información disponible en cuanto a la regionalización de los procesos de cambio de

uso del suelo en Chiapas se analizaron dos divisiones, una basada en condiciones ambientales y dinámicas ecológicas (mapa de ecorregiones nivel 1; INEGI-CONABIO-INE, 2008) y la otra en características geográficas (regiones fisiográficas), adicionalmente se tuvieron en cuenta otro tipo de consideraciones, como administrativo-económicas (regiones económicas) y culturales.

Como punto de partida, se tomó la división de Chiapas en ecorregiones de nivel 1 (INEGI-CONABIO-INE, 2008). En el estado es posible encontrar tres de las siete ecorregiones en las que se divide México: Selvas cálido-húmedas, Selvas cálido-secas y Sierras templadas. Esta primera división permite distinguir tres unidades geográficas, cada una caracterizada por unos ecosistemas, con procesos ecológicos propios y tipos climáticos diferentes. Las posibilidades de uso de la tierra, tipos de cultivo y rendimientos agrarios, por tanto, también varían. El segundo paso fue identificar subregiones, dentro de cada una de las tres ecorregiones, que fueran diferenciables en cuanto a la dinámica de uso del suelo:

Ecorregión Selvas cálido-húmedas

En esta ecorregión, de acuerdo a consideraciones culturales, es posible distinguir entre la región de la Selva Maya, habitada por diferentes grupos indígenas mayas (choles, tzeltales, kanjobales, además de los lacandones) y la región de la Selva Zoque. En la zona costera, la región fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo presenta características propias, ya que, en ella, la mayor parte de la vegetación selvática original ha sido eliminada y el uso del suelo actual se reparte entre la ganadería extensiva (región económica Istmo-Costa) y los cultivos agrícolas intensivos de la región del Soconusco (región económica Soconusco). Por otra parte, la franja de terreno colindante con la costa está cubierta por una densa vegetación de manglar que hace de esta estrecha zona un lugar de características únicas en todo el estado. Con base en lo anterior, las regiones consideradas dentro de las selvas cálido-húmedas, fueron: Selva, Selva Zoque, Llanura Costera, Soconusco y Franja Costera.

Ecorregión Selvas cálido-secas.

Esta ecorregión coincide con la región fisiográfica de la Depresión central de Chiapas y las características culturales y económicas se considera que son lo suficientemente similares como para no diferenciar subregiones en este caso.

Ecorregión Sierras templadas

Esta ecorregión incluye tres regiones fisiográficas de Chiapas: Región Montañas del Norte, Región Altiplanicie central (Los Altos) y Región Sierra Madre de Chiapas. Cada una de ellas presenta características propias bien diferenciadas, por lo que fueron consideradas separadamente.

En la Figura 2 se muestra la división regional propuesta para la elaboración de MET en el estado de Chiapas, esta regionalización constituye una primera aproximación que podrá ser ajustada en el futuro (agrupando regiones o haciendo nuevas subdivisiones) en función de la nueva información que se genere con los inventarios forestales estatales y trabajos científicos.

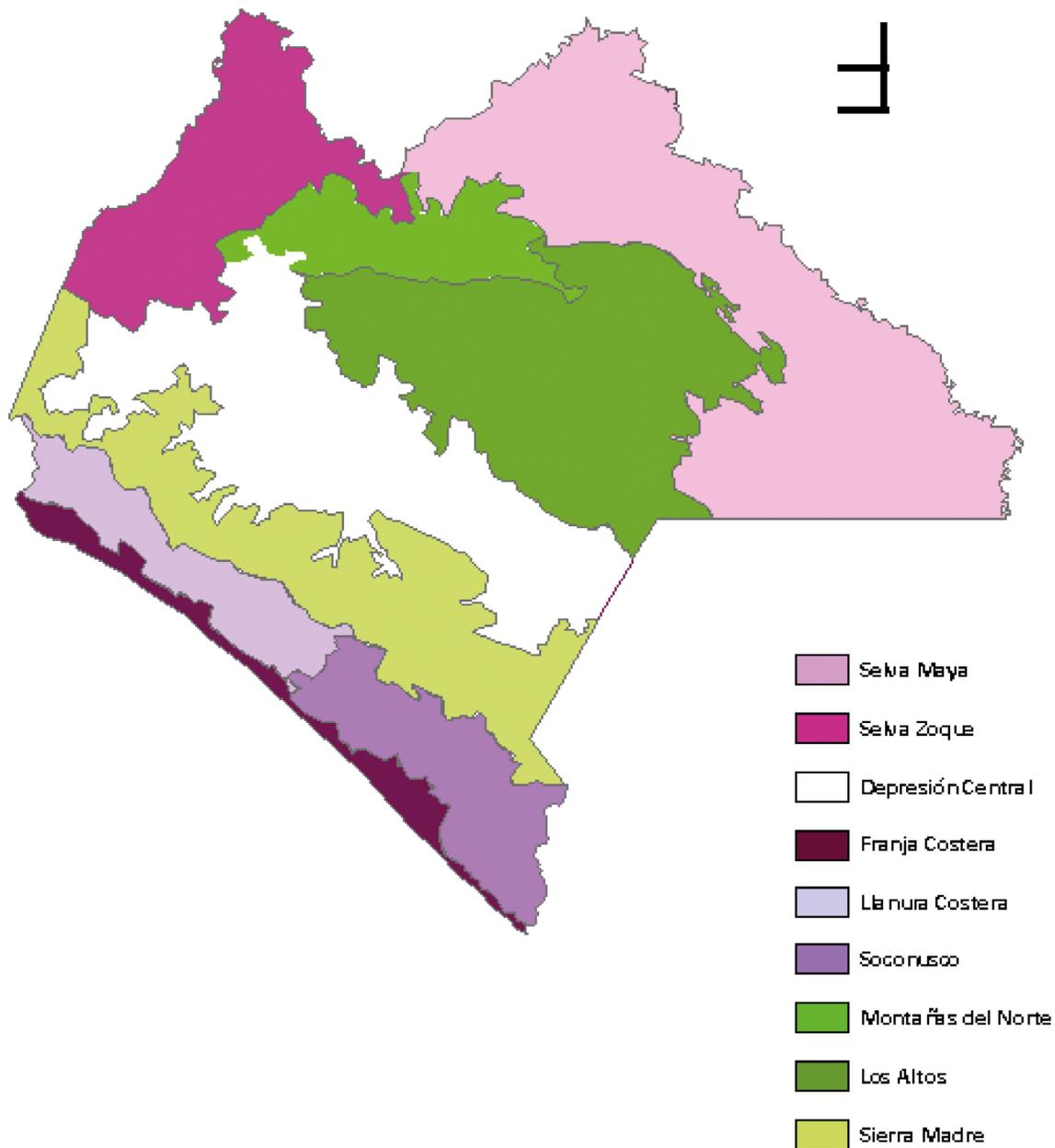
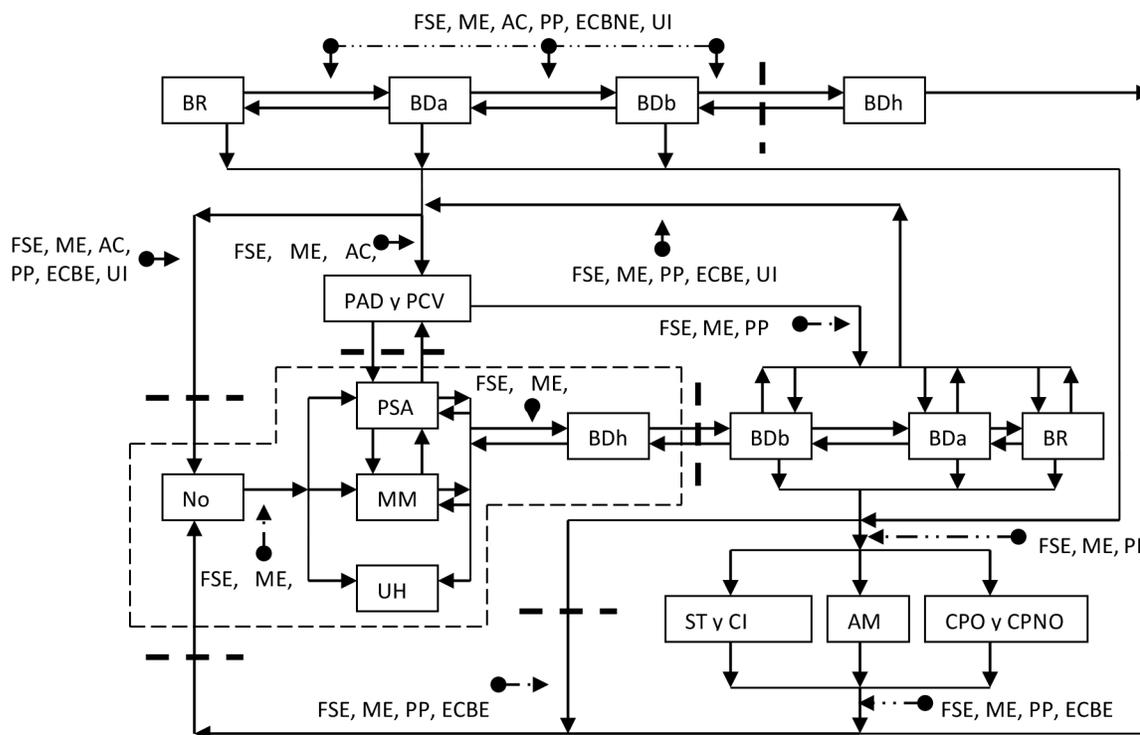


Figura 2. Regiones consideradas para la construcción de los MET en el estado de Chiapas.

Construcción de los modelos

En cada una de las regiones diferenciadas se identificaron los elementos del modelo: estados (tipos de vegetación/ usos del suelo), transiciones (cambios de uso del suelo/procesos de degradación) y umbrales. Posteriormente se elaboró la representación esquemática de cada MET.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de MET que parte de un bosque de referencia sin perturbar, el cual, en función de diferentes factores puede sufrir transiciones (representados por flechas) hacia estados de bosque más degradados o hacia otros usos del suelo (cuando se sobrepasa un umbral, los cuales vienen indicados por líneas punteadas).



ESTADOS: BR: Bosque en condición sin degradación o de referencia; BDa: Bosque degradado en relación a BR con dominancia arbórea; BDb: Bosque degradado en relación a BR con dominancia arbustiva; BDh: Bosque degradado en relación a BR con dominancia herbácea; CPNO: Cafetal con sombra de policultivo - no orgánico (tradicional); CI: Cafetal con sombra de Inga sp.; ST: Sistema Taungya; AM: Acahual mejorado; CPO: Cafetal con sombra de policultivo – orgánico; AT: Acahual tradicional; PAD: Pastizal con árboles dispersos; PCV: Pastizal con árboles como cercos vivos; MM: Milpa de maíz; PSA: Pastizal sin árboles; UHP: Usos humanos permanentes.

FACTORES: AC: factores de acceso (camino, predios agrícolas, pendiente del terreno, etc.); FSE: factores socioeconómicos (pobreza, marginalidad, densidad poblacional, usos y costumbres, etc.); ECBNE: eventos extremos climáticos/biológicos no extremos; ECBE: eventos climáticos/biológicos extremos (huracanes, incendios, etc.); PP: políticas públicas; ME: mercados; UI: Uso ilegal.

Figura 3. Ejemplo de Modelo de Estados y Transiciones para un bosque genérico en Chiapas (Paz, 2009).

Identificación de los factores asociados a las transiciones

Los factores se refieren a los procesos que inciden en las transiciones entre estados (usos del suelo) y son dependientes del uso actual del suelo y su transición. En términos generales se pueden clasificar los factores en locales y difusos. Los factores locales, a su vez, se pueden subdividir en físicos, ambientales y

socioeconómicos (Paz, 2009). Los factores físicos están relacionados con el acceso y se refieren a la cercanía a caminos, predios agrícolas, pendiente del terreno, etc. que facilitan o dificultan que los agentes de cambio ocasionen una transformación del uso actual del suelo. Los factores ambientales, por su parte, hacen referencia a la incidencia de eventos climáticos (huracanes, incendios, sequías o inundaciones) y biológicos (plagas y enfermedades) extremos y no extremos, así como a

las características de los suelos (someros/profundos, fértiles/no fértiles, pedregosos, etc.). En cuanto a los factores socioeconómicos, el nivel de pobreza, marginación, densidad poblacional y ocupación de la población económicamente activa pueden suponer una mayor presión sobre los recursos naturales por la necesidad de tierras de cultivo o pastoreo. Por otra parte, los usos y costumbres de las comunidades rurales juegan un papel importante en cuanto a la conciencia de conservación que tengan.

Los factores difusos incluyen las políticas públicas sobre el sector rural (que se concretan a través de los programas de gobierno), el comportamiento de los mercados, que se manifiestan en la demanda de productos o servicios y el establecimiento de precios, también el uso ilegal, la existencia de organizaciones trabajando en una zona, procesos de certificación, etc. Considerando esta clasificación, y mediante el uso de la información disponible y la consulta a personas

clave, se identificaron los factores que afectan a las transiciones entre estados en los MET elaborados.

Construcción de las matrices asociadas a cambios en los almacenes de carbono

A cada estado identificado en cada modelo se le asignó un valor de carbono (con base en la información disponible) para cada uno de los cinco almacenes considerados (con su incertidumbre asociada). Seguidamente se elaboró una matriz donde se calcularon las pérdidas o ganancias que implica el paso de un estado a otro a consecuencia de las actividades de manejo o fenómenos naturales. En el Cuadro 1 se muestra la matriz de estados y transiciones para los cambios de los almacenes de carbono de biomasa aérea y suelo, considerados conjuntamente, para el MET de la Figura 3.

Cuadro 1. Matriz de estados y transiciones asociados a cambios de los almacenes de C (Mg C ha⁻¹). Fuente: Paz (2009).

Estado Inicial	Estado Final															
	BR	Bda	Bdb	Bdh	ST	AM	AT	CI	CPO	CPNO	MM	PAD	PCV	PSA	UHP	
BR	0	-154	-250	-309	-187	-201	-211	-202	-215	-199	-309	-277	-280	-310	-315	
Bda	154	0	-96	-155	-33	-47	-57	-48	-61	-45	-155	-123	-126	-156	-161	
Bdb	250	96	0	-59	63	49	39	48	35	51	-59	-27	-30	-60	-65	
Bdh	309	155	5	0	122	108	98	107	94	110	0	32	29	-1	-6	
ST	187	33	-63	-122	0	-14	-24	-15	-28	-12	-122	-90	-93	-123	-128	
AM	201	47	-49	-108	14	0	-10	-1	-14	2	-108	-76	-79	-109	-114	
AT	211	57	-39	-98	24	10	0	9	-4	12	-98	-66	-69	-99	-104	
CI	202	48	-48	-107	15	1	-9	0	-13	3	-107	-75	-78	-108	-113	
CPO	215	61	-35	-94	28	14	4	13	0	16	-94	-62	-65	-95	-100	
CPNO	199	45	-51	-110	12	-2	-12	-3	-16	0	-110	-78	-81	-111	-116	
MM	309	155	59	0	122	108	98	107	94	110	0	32	29	-1	-6	
PAD	277	123	27	-32	90	76	66	75	62	78	-32	0	-3	-33	-38	
PCV	280	126	30	-29	93	79	69	78	65	81	-29	3	0	-30	-35	
PSA	310	156	60	1	123	109	99	108	95	111	1	33	30	0	-5	
UHP	315	161	65	6	128	114	104	113	100	116	6	38	35	5	0	

En este trabajo se elaboraron matrices diferenciadas para cada uno de los almacenes de carbono. En el caso del suelo, la profundidad considerada fueron 30 cm. Los datos de carbono empleados proceden de las referencias bibliográficas revisadas y de estimaciones efectuadas. Dada la diversidad de estados identificados en las distintas regiones de Chiapas y la escasez de estudios sobre almacenes de carbono, no fue posible encontrar datos para los cinco almacenes en todos los casos. La biomasa aérea fue el almacén de carbono del que se encontraron más datos, seguido del suelo, los datos de carbono del mantillo fueron mucho más escasos y todavía más los de materia orgánica muerta (material leñoso sobre la superficie). Por ello fue necesario realizar estimaciones de los datos faltantes, los cuales fueron estimados analizando la relación del carbono de la biomasa aérea con datos pareados de otros almacenes (obtenidos en el mismo estudio). El carbono asociado a la biomasa subterránea no fue estimado de esta manera, en este caso se utilizaron las ecuaciones propuestas por Cairns *et al.* (1997). La incertidumbre asociada a las estimaciones de carbono en los cinco almacenes se analizó relacionando los datos promedio de carbono en cada almacén con la desviación estándar.

Las matrices de estados y transiciones asociadas a los almacenes de carbono muestran todas las opciones de cambio entre estados; sin embargo, no todas las transiciones son posibles en la realidad; por ejemplo, un terreno agrícola, tras ser abandonado, no puede convertirse directamente en un bosque conservado, primero se transformará en un acahual herbáceo, luego arbustivo y posteriormente arbóreo que, si no sufre perturbaciones, por sucesión vegetal llegará a convertirse en un bosque de referencia. Por esta razón se identificaron las transiciones prohibidas entre estados y se consideraron únicamente los cambios en los almacenes de carbono asociados a las transiciones que son posibles entre estados.

Tal como se presenta la matriz del Cuadro 1, los valores de cambio en los almacenes de carbono no están asociados a un tiempo de transición concreto; es decir, no conocemos en cuanto tiempo se va a producir la pérdida o ganancia de carbono. Para poder conocer las tasas de cambio anuales en los almacenes de carbono se asignaron tiempos de paso entre estados. La información disponible para llevar a cabo esta tarea es extremadamente escasa, únicamente se encuentran referencias locales o indirectas, por lo que fue necesario recurrir a la consulta de expertos con el fin de tener una primera aproximación. Únicamente los almacenes de

carbono de la biomasa aérea y el carbono orgánico edáfico fueron considerados en este proceso.

Finalmente, mediante una operación entre la matriz de estados y transiciones asociada a cambios de carbono de cada almacén y la matriz de tiempos de paso, se obtuvo la matriz de tasas de cambio anuales.

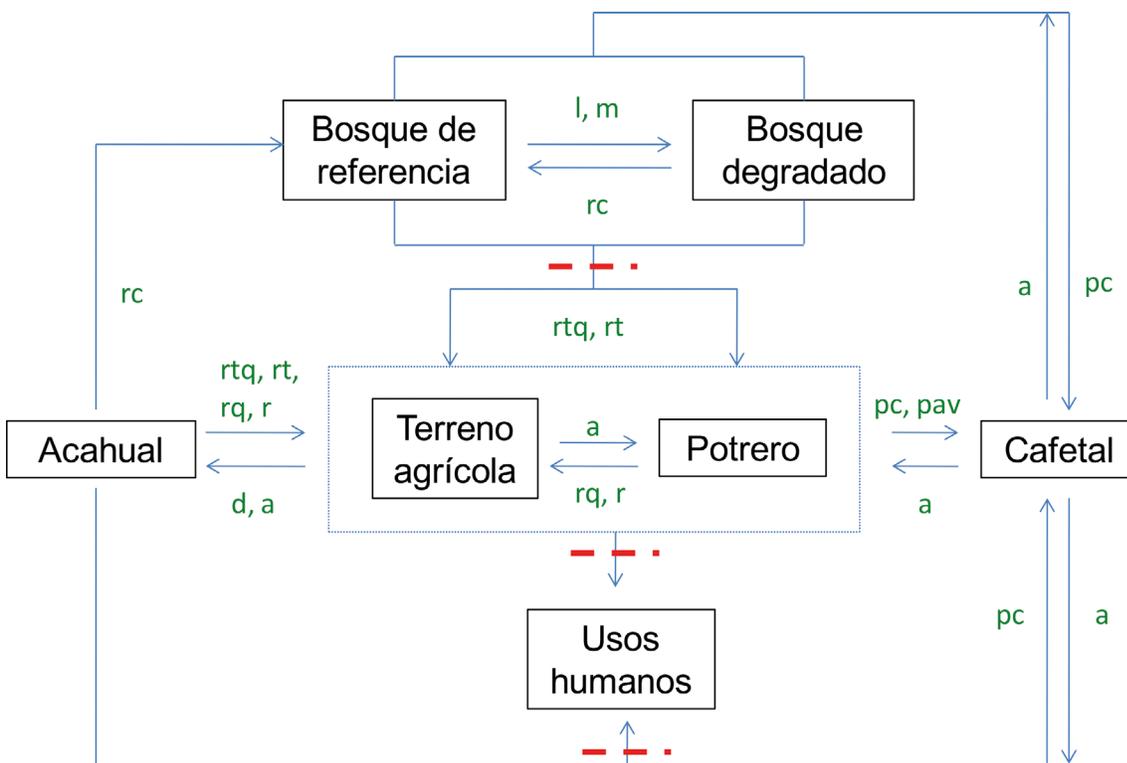
Caso ejemplo

Para clarificar la metodología empleada y la utilidad de los MET, a continuación, se presenta un ejemplo con un MET (Figura 4) que constituye una simplificación de los elaborados para las regiones de Chiapas, que se presentan más adelante.

El MET de la Figura 4 parte de un bosque de referencia o bosque sin perturbar que, a consecuencia de varios procesos de transición (expresados por las flechas, que indican la dirección del cambio y las letras verdes), puede transformarse en otros estados:

- Tras un proceso continuado de extracción de madera y leña el bosque conservado puede convertirse en un bosque degradado.
- La plantación de café y el manejo de la sombra del bosque lo convierten en un cafetal.
- En ocasiones, el bosque completo es talado (con o sin quema) para convertirlo en terrenos agrícolas o potreros. Esta transición supone el cruce de un umbral (línea roja discontinua), que indica un cambio drástico del ecosistema original, el cual, para recuperarse va a necesitar de un largo periodo de tiempo o de acciones de restauración.
- Estos usos del suelo, generados a partir del bosque de referencia, pueden a su vez, ser objeto de nuevas transiciones:
- El bosque degradado puede recuperarse si cesan los disturbios o ser convertido a cafetal, terreno agrícola o potrero, al igual que el bosque conservado.
- El terreno agrícola puede transformarse en potrero si se abandona el cultivo y, al revés, el potrero puede ser usado como terreno agrícola si se decide rozar la zona (con o sin quema) y cultivar.

- El abandono del uso agrícola o ganadero, regeneraría la cobertura vegetal mediante la aparición de acahuales (herbáceo, arbustivo y arbóreo), que, en ausencia de disturbio llegarían a convertirse en bosques maduros, o podrían entrar en el ciclo de la agricultura de roza-tumba-quema, constituyendo estados transitorios para la regeneración de la fertilidad edáfica.
 - Los terrenos sin cobertura arbórea (terreno de cultivo y potrero), también podrían convertirse en cafetales, tras la plantación de árboles de sombra y plantas de café.
 - El acahual también podría transformarse en cafetal manejando la sombra y plantando café.
 - Por último, también es posible que distintos usos del suelo acaben siendo utilizados como lugar de asentamientos humanos, lo cual también supone el cruce de un umbral.
- En cada uno de los estados se diferenciaron cinco almacenes de carbono (biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta, mantillo y suelo), como ya se comentó previamente. Considerando la información disponible en cuanto a los contenidos de carbono en los ecosistemas identificados, se asignaron valores promedio de carbono a cada almacén de cada estado (Mg C ha^{-1}).
- Para simplificar el ejemplo, resulta conveniente centrarse únicamente en el reservorio de biomasa aérea. En el Cuadro 2 se presentan los valores de carbono en biomasa aérea para cada uno de los estados del modelo.



Transiciones (letras verdes): *l*: extracción de leña; *m*: extracción de madera; *rc*: recuperación; *rtq*: roza-tumba-quema; *rt*: roza-tumba; *rq*: roza-quema; *r*: roza; *a*: abandono; *d*: descanso; *pc*: plantación de café; *pav*: plantación de árboles de valor.

Figura 4. MET simplificado para Chiapas.

Cuadro 2. Carbono en la biomasa aérea.

Estado	Carbono (Mg C ha ⁻¹)	Desviación estándar
BR	137.2	51.0
Bd	87.34	33.1
A	51.7	12.5
AT	4.7	3.3
P	3.22	2.8
C	37.9	15.3
UH	0.0	0.0

BR: Bosque de referencia; Bd: Bosque degradado; A: Acahual; AT: Agricultura temporal; P: Potrero; C: Cafetal; UH: Usos humanos.

Seguidamente, utilizando una matriz, se calcularon los cambios en el almacén de biomasa aérea que se producirían a consecuencia de la transición de un estado a otro (Cuadro 3). Puesto que no todas las transiciones entre estados son posibles, se señalan sombreadas en rojo las transiciones prohibidas. Se observa, por ejemplo, que si se corta el bosque de referencia para transformarlo en un terreno agrícola se perderían 132.5 Mg C ha⁻¹ en la biomasa aérea. Para los almacenes de carbono de biomasa aérea y suelo, por su importancia se calculan, además, las tasas de cambio anuales entre almacenes. Para ello, primero se determinaron los tiempos de paso de un estado a otro (en años) y

después, operando las matrices de los cuadros 3 y 4 se obtiene la tasa de cambio anual.

Continuando con el ejemplo, los tiempos de paso para la biomasa aérea se presentan en el Cuadro 4 y el Cuadro 5 permite saber cuál va a ser la pérdida o ganancia de carbono media anual durante la transición de un estado a otro. El Cuadro 4 indica, por ejemplo, que un potrero tras ser abandonado, tardará 10 años en convertirse en un acahual.

Por último, de acuerdo con el Cuadro 5, en el caso de un bosque degradado que se transforma en cafetal se produciría una pérdida de 9.9 Mg C ha⁻¹ anuales, durante 5 años.

Cuadro 3. Matriz de estados y transiciones asociados a cambios en el almacén de biomasa aérea (Mg C ha⁻¹) para el MET de la Figura 4.



Estado inicial	Estado final						
	BR	Bd	A	AT	P	C	UH
BR	0.0	-49.9		-132.5	-134.0	-99.3	-137.2
Bd	49.9	0.0		-82.6	-84.1	-49.4	-87.3
A	85.5		0.0	-47.0	-48.5	-13.8	-51.7
AT			47.0	0.0	-1.5	33.2	-4.7
P			48.5	1.5	0.0	34.7	-3.2
C	99.3	49.4	13.8	-33.2	-34.7	0.0	-37.9
UH			51.7	4.7	3.2		0.0

Cuadro 4. Matriz de tiempos de paso para la biomasa aérea entre los estados del MET de la Figura 4.




Estado inicial	Estado final						
	BR	Bd	A	AT	P	C	UH
BR	0.0	5.0		1.0	1.0	5.0	1.0
Bd	10.0	0.0		1.0	1.0	5.0	1.0
A	20.0		0.0	1.0	1.0	5.0	1.0
AT			10.0	0.0	1.0	10.0	1.0
P			10.0	1.0	0.0	10.0	1.0
C	20.0	10.0	5.0	1.0	1.0	0.0	1.0
UH			10.0	1.0	1.0		0.0

Cuadro 5. Matriz de cambios anuales para la biomasa aérea entre los estados del MET de la Figura 4.




Estado inicial	Estado final						
	BR	Bd	A	AT	P	C	UH
BR	0.0	-10.0		-132.5	-134.0	-19.9	-137.2
Bd	5.0	0.0		-82.6	-84.1	-9.9	-87.3
A	4.3		0.0	-47.0	-48.5	-2.8	-51.7
AT			4.7	0.0	-1.5	3.3	-4.7
P			4.8	1.5	0.0	3.5	-3.2
C	5.0	4.9	2.8	-33.2	-34.7	0.0	-37.9
UH			5.2	4.7	3.2		0.0

De esta manera, con los modelos de estados y transiciones, se pueden hacer estimaciones de los cambios en los almacenes de carbono a consecuencia de cambios de uso del suelo. Esta herramienta permite, por tanto, una planificación territorial tendente a evitar la degradación y favorecer la obtención de beneficios asociados a la conservación y el manejo sustentable, como la emisión de bonos de carbono.

Factores que inciden en las transiciones

Físicos (acceso)

Castillo *et al.* (2007) analizaron el papel de los factores físicos de acceso sobre la deforestación

en un área de 2.7 millones de hectáreas en Chiapas, incluyendo la selva Lacandona y los Altos. Estos autores encontraron que la accesibilidad a un bosque expresada como su distancia a caminos o predios agrícolas estaba relacionada linealmente con la deforestación, siendo ésta mayor con la proximidad a predios agrícolas o caminos. Por otra parte, estos mismos autores no encontraron una relación muy clara entre la pendiente y la deforestación, lo cual atribuyen a que la combinación de pobreza con alta densidad poblacional crea condiciones en las cuales la necesidad de tierras de cultivo empuja a la gente a cultivar en zonas de mayores pendientes, menos propicias para fines agrícolas.

En el modelo de deforestación para el estado de Chiapas elaborado por Castillo *et al.* (2010) se encontró también que los porcentajes de deforestación tienden a disminuir en las áreas más alejadas de los caminos (más allá de 3.5 km los niveles de deforestación se mantienen al mínimo). La distancia a poblados mostró cierto efecto hasta los 2 km y la distancia a zonas previamente transformadas fue clara hasta los 2 km. En relación a la pendiente del terreno se encontró una relación lineal con la deforestación únicamente hasta los 15 grados.

En la zona de Los Altos, Cortina (2007) observó que a mayor altitud hay un menor incentivo para cultivar las tierras puesto que los rendimientos son menores. También, a menor distancia de los núcleos agrarios a núcleos urbanos (como la ciudad de San Cristóbal de las Casas) hay mayor incentivo para buscar trabajo asalariado en la ciudad, ya que el costo y el tiempo de transporte disminuyen. Asimismo, Bolom Ton (2000) señala en su estudio sobre comunidades de bosque mesófilo en las montañas del Norte que el impacto del disturbio humano disminuye conforme la topografía se hace más abrupta e inaccesible y se incrementa la altitud.

De acuerdo con lo anterior, los factores físicos que pueden incidir en las transiciones entre estados en Chiapas son: (a) Apertura de caminos o canales (en el caso de la zona de manglares); (b) Cercanía a núcleos de población; (c) Pendiente del terreno; (d) Altitud (este factor afectaría principalmente a la región de Los Altos, la Sierra Madre y Montañas del Norte)

Ambientales

Los fenómenos meteorológicos extremos, como los huracanes, han afectado en los últimos años al estado de Chiapas, ocasionando deslaves en áreas montañosas, sobre todo de la Sierra Madre, y provocando inundaciones y derribos de árboles. Por su parte, los incendios forestales son una amenaza constante para los bosques; la quema anual de terrenos en la temporada de sequía es muy común, el problema es que no se toman las precauciones necesarias y las quemadas suelen convertirse en incendios descontrolados, que arrasan con la vegetación adyacente. Además, fenómenos climáticos como sequías o retrasos prolongados en la llegada de las lluvias, como ocurrió en el año 1998, han dejado amplias áreas devastadas.

El tipo de clima también tiene influencia sobre el uso del suelo, ya que se relaciona con la productividad agrícola. Según Castillo *et al.* (2010), en el periodo

1993-2002 fue en el clima cálido-subhúmedo donde se produjo la mayor pérdida de cobertura arbórea, mientras que la zona templado-húmeda sólo registró un 5% de pérdida.

La fertilidad de los suelos es otra de las variables que inciden sobre el uso que se le da a un terreno y sus futuros cambios. En varias regiones del estado (sobre todo áreas montañosas y zonas tropicales de suelos someros) los suelos son poco aptos para la agricultura, por lo que, una vez eliminada la cubierta vegetal pierden rápidamente su fertilidad al ser cultivados, por ello, la práctica de la agricultura de roza-tumba-quema (que deja descansar el terreno para que recupere su fertilidad) está tan extendida en el estado. En zonas donde predominan suelos de baja fertilidad la ganadería y actividades forestales suelen ser más redituables. En la zona de los Altos, por ejemplo, donde los suelos son poco aptos para la agricultura (González-Espinosa *et al.*, 2007), los bosques son recursos muy importantes para las poblaciones locales, como fuente de leña, materiales de construcción y otros productos. La venta de madera es también una fuente de ingresos (Cortina, 2006) en las comunidades que cuentan con un plan de manejo forestal. En las Montañas del Norte, el sobrepastoreo de potreros y áreas agrícolas, localizadas en laderas de elevada pendiente ha producido paisajes en los cuales se observa un marcado afloramiento rocoso y elevada erosión (López, 2001).

El ataque de plagas y enfermedades tanto a masas boscosas como a cultivos agrícolas afecta directamente a los beneficios que pueden obtenerse del bosque o en la venta de productos agrícolas. En este sentido Jiménez *et al.* (2010) señalan que la desatención de los cafetales ha tenido como consecuencia un incremento en la presencia de plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en la región Norte. En el área de agricultura intensiva del Soconusco también se registran plagas asociadas a las plantaciones de frutales monoespecíficas y áreas cultivadas de gran extensión.

Los principales factores ambientales que pueden incidir en las transiciones entre estados son: (a) Huracanes, tormentas tropicales; (b) Incendios forestales (relacionado con periodos de sequía); (c) Tipo de clima; (d) Tipo de suelo (fertilidad, profundidad); (e) Plagas y enfermedades forestales y agrícolas.

Socioeconómicos

La densidad de población y la pobreza son dos factores que han sido extensamente relacionados con la deforestación de las áreas rurales en diferentes partes

del mundo. En Chiapas, Cortina (2007) en su análisis regional sobre las áreas deforestadas en Los Altos de Chiapas, encontró una relación entre un mayor índice de marginación y una menor superficie de bosques y López (2001) detectó en la región Montañas del Norte una estrecha relación entre el estrato de productores de muy bajos recursos y el pastoreo del bosque, a consecuencia de la falta de recursos de éstos para comprar tierras de pasto.

En cuanto a la densidad poblacional, Castillo *et al.* (2010) encontraron para Chiapas una relación débil entre esta variable para el año 1990 y las tasas de deforestación del periodo 1993-2002. Estos autores explican que este hecho se debe al tipo de actividad productiva que compite con los bosques; es decir, la ganadería extensiva, que requiere de grandes superficies en áreas poco pobladas para producir un reducido número de cabezas de ganado, por lo que se dan tasas altas de deforestación aún en zonas con baja densidad poblacional. Cortina (2007), tampoco encontró relación entre la densidad poblacional y la deforestación, ni a escala municipal ni a escala de ejidos y comunidades en Los Altos de Chiapas, en cambio, sí encontró una relación entre la proporción de la población que trabaja en los sectores secundario y terciario (trabajo asalariado) de la economía con el porcentaje de superficie con bosque; es decir, a mayor porcentaje de la población económicamente activa ocupada en la agricultura mayor fue el porcentaje de la superficie deforestada por ejidos. El mismo autor señala que en ocasiones el aumento en la densidad poblacional sí está relacionada con una mayor deforestación, esto ocurre cuando las normas de acceso a la tierra de los ejidos permiten que aumente el número de usuarios de la tierra; por ejemplo, si se permite el acceso a la tierra de todos los hijos de ejidatarios, la población ejidal aumenta y se produce una expansión de la superficie agrícola. Además, el porcentaje de tierras de uso común (normalmente ocupadas por bosques) y las normas internas de acceso y uso de los recursos naturales (sanciones por corta de árboles, normas de acceso del ganado al bosque -sobre todo en la región Norte, donde es común la práctica de la ganadería de montaña) tienen gran influencia sobre el nivel de conservación de éstos.

Los fenómenos migratorios en el medio rural chiapaneco son parte de su historia. Además de la migración a Estados Unidos y a grandes ciudades, como la Ciudad de México y Cancún, muy habituales en tiempos recientes, también se han dado migraciones de población rural entre regiones de Chiapas, en busca de

mejores tierras, de trabajo asalariado en la construcción de grandes infraestructuras (presas, caminos, etc.) o por políticas de gobierno encaminadas a poblar áreas con baja densidad poblacional o estratégicas para la nación (por ejemplo, la zona de Marqués de Comillas, que hace frontera con Guatemala). Estos movimientos poblacionales han ocasionado que personas procedentes de otros lugares se asienten en medios diferentes a sus lugares de origen, donde sus conocimientos para el aprovechamiento del medio pueden ser inadecuados.

Un proceso actual en el medio rural mexicano, es el regreso de migrantes a las comunidades a consecuencia de la crisis económica internacional; al no encontrar trabajo en Estados Unidos, los migrantes regresan a sus lugares de origen, lo que está ocasionando un aumento de la población que presumiblemente se traducirá en una mayor presión sobre los recursos. En los lugares donde todos los hijos de ejidatarios tienen derecho a tierra, con este incremento poblacional se corre el grave riesgo de una acelerada fragmentación de la propiedad y de que se den procesos de “acaparamiento de tierras” por parte de algunas familias, al poder ir comprando poco a poco terrenos de pequeña superficie vendidos por familias que atraviesan malos momentos (una enfermedad de algún miembro, muerte, etc.), de empezar a producirse estas dinámicas se crearía una mayor desigualdad dentro de las comunidades (Dahringer, 2011, comunicación personal). Finalmente, de acuerdo con Merino (1997), la existencia de condiciones claramente definidas respecto a la propiedad de la tierra es un requisito básico para la estabilidad de las áreas forestales. Un ejemplo de la importancia de este factor es la existencia de terrenos ejidales en las zonas núcleo de las reservas.

Con relación a los factores socioeconómicos se encontraron: (a) Índice de marginación; (b) Porcentaje de población económicamente activa ocupada en agricultura; (c) Porcentaje de población rural con trabajo asalariado; (d) Normas internas de uso de los recursos naturales en los ejidos y comunidades; (e) Normas de acceso a nuevos usuarios de la tierra; (f) Porcentaje de tierra de uso común en ejidos y comunidades; (g) Fenómenos migratorios; (h) Problemas de tenencia de la tierra.

Difusos

La creación de zonas de reserva natural contribuye a la conservación de ecosistemas clave dentro de un estado o nación. En México, además, con la particularidad de que existen asentamientos y ejidos dentro de áreas protegidas, la declaración de las mismas ha restringido

y controlado los procesos de cambio de uso del suelo en comparación con las zonas no protegidas.

Las secretarías federales (SEMARNAT, SAGARPA hoy SADER) y estatales (en Chiapas: Secretaría del Campo, Secretaría de Medio Ambiente -con sus diferentes nombres) con competencia en el medio rural, tradicionalmente han lanzado programas enfocados al desarrollo de las áreas rurales, incentivando la producción agrícola (con programas tipo ProCampo), ganadera (tipo ProGan) o la recuperación de la cubierta forestal (tipo ProÁrbol), el problema es que no existe una coordinación institucional y no se suelen considerar las condiciones particulares de las distintas regiones (tanto naturales como culturales), lo cual ha propiciado cambios de uso del suelo en tierras poco aptas para los fines de estos programas. En ese sentido, Guillén *et al.* (2000), por ejemplo, apuntan que las políticas ganaderas inadecuadas han afectado a los recursos naturales e impedido generar tecnologías adecuadas tanto para rehabilitar y conservar los recursos forestales como para ofrecer alternativas a las grandes áreas de agricultura y ganadería en zonas de bosque tropical.

Con relación a los cultivos perennes también han existido políticas públicas tendentes a extender su producción. El impulso a la producción de café para el mercado internacional desde los años 70, a través del INMECAFE (Instituto Mexicano del Café, hoy desaparecido), favoreció el establecimiento de cafetales en varias regiones de Chiapas e impulsó el uso de las especies de *Inga sp.* para sombra y de los agroquímicos. Posteriormente la crisis internacional de los precios de café (1989) y la interrupción de las ayudas gubernamentales provocó el abandono de cafetales en extensas áreas. En el Soconusco, por ejemplo, Ramos (2006) reporta que la crisis de los precios del café provocó la tumba de cafetales para la producción de maíz y frijol o para ganadería, generándose procesos graves de erosión, al tratarse de una zona de suelos volcánicos. Una de las estrategias para atenuar esta problemática ha sido la producción de café orgánico o con alguna certificación ecológica, ya que los precios en este mercado son más atractivos para los productores; además, al certificar el café se firma un convenio en la cual se establece la no apertura de áreas de bosque para otros usos.

La existencia de asociaciones de productores tiene un efecto importante sobre el mantenimiento en el tiempo de un determinado uso del suelo, normalmente agrícola, pero, en ocasiones, este efecto es también positivo sobre la conservación del bosque. Martínez

(2009), por ejemplo, asocia el incremento de superficie forestal en Jitotol (región Montañas del Norte), con el incremento de la superficie dedicada a café y la creación de Ureafa (asociación de productores de café orgánico). Además, según Rico (2008), el hecho de pertenecer a una organización es un factor clave para conseguir la certificación y a la hora de determinar el precio del café. De igual forma, en la Sierra Madre, la plantación de palma camedor en los bosques para su posterior venta al mercado ornamental favorece la conservación de la cubierta forestal.

A nivel estatal también existen institutos que impulsan la reconversión productiva, en el caso de Chiapas, el IRBIO (Instituto para la reconversión productiva y bioenergéticos) trata de incrementar las áreas de producción de frutales templados y tropicales, cacao y palma de aceite y piñón. En relación a la adopción de nuevos cultivos y tecnologías por los campesinos, Valero (2010) señala que muchas veces esto no es posible debido a la escasa información, carencia de subsidios, redes de asistencia local e, incluso, necesidad de mano de obra. Otros obstáculos, tal como menciona Barkin (1991), son los inadecuados programas privados y públicos de créditos y equivocadas políticas de precios que vuelven inaccesibles los insumos agrícolas y maquinaria. Centrándose en el tema de los biocombustibles, Valero (2010) reporta que tras entrevistar a 118 productores con plantaciones de piñón (*Jatropha curcas*) en el estado de Chiapas, casi el 90% estaba utilizando tierras de uso agrícola con rendimientos de maíz entre 2 a 6 t ha⁻¹, debido a que el maíz comercial estaba siendo sustituido debido a los altos costos de los insumos agrícolas y al bajo precio en el mercado. Aun así, los productores siempre reservan una parte de su terreno para la siembra de maíz de autoconsumo, asegurando con ello la seguridad alimentaria familiar.

Otro factor que tiene relación con el uso del bosque y su conservación son los planes de manejo forestal. Cortina (2007) encontró que, en Los Altos, los núcleos agrarios que tenían bajas o medias superficies deforestadas tenían planes de manejo forestal, ya que, el plan compromete a los ejidatarios y comuneros a no cambiar el uso del suelo en las áreas bajo manejo; además, les permite vender la madera legalmente, lo cual genera ingresos económicos y empleos en la extracción forestal. El problema de los planes de manejo, según Duarte (2010), son los complicados y costosos trámites para obtener una autorización de aprovechamiento forestal por parte de la SEMARNAT. Esto desalienta

a los dueños de los bosques que buscan otras vías de aprovechamiento como el cambio de uso del suelo y la tala ilegal. Por otra parte, también han existido programas de apoyo a la forestería comunitaria como el Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales en México (PROCYMAF) y algunos subsidios.

Los pagos por servicios ambientales se implantaron en México con los objetivos de evitar la deforestación y la escasez de agua. Éstos conllevaban algunas obligaciones, entre las que se encuentran limitar el pastoreo, formar brigadas que se dediquen a actividades de vigilancia y la realización de al menos un taller de capacitación (CONAFOR, 2008). Además, existían actuaciones opcionales como la construcción de barreras naturales contra la erosión y restricciones, entre las que se encuentran el cambio de uso del suelo de forestal a cualquier otro y el derribo de arbolado.

Las OSC (organizaciones de la sociedad civil) están jugando un papel importante en el desarrollo rural sustentable, aunque su influencia es local o regional. Su labor se ha enfocado en proponer e implementar estrategias económicas viables para la gente del campo, buscando conservar los recursos naturales y suplir las carencias de los programas de gobierno, dando asistencia técnica y capacitación sobre buenas prácticas de manejo, apoyando a las comunidades a conseguir planes de manejo forestal, pagos por servicios ambientales, venta de carbono en mercados voluntarios, utilizando mecanismos legales de conservación de bosques o áreas de importancia natural, etc.

Por último, conviene destacar, como caso particular, los manglares de la costa que están amenazados por la contaminación de las aguas, principalmente por el uso de agroquímicos y por la acumulación de sedimentos. La deforestación de las cuencas altas, aunado a los fenómenos hidrometeorológicos, ha ocasionado el arrastre de sedimentos hacia las lagunas costeras provocando su azolvamiento. Las obras de dragado destinadas a corregir el azolvamiento, han constituido un fuerte impacto, al expandirse los sedimentos sobre áreas de manglar (Romero, 2006).

Los factores difusos reconocidos en el estado de Chiapas se enumeran a continuación: (a) Declaración de áreas de reserva natural (restringen ciertos usos como el roza-tumba-quema); (b) Programas de gobierno que incentivan la expansión de la agricultura, su intensificación y el establecimiento de cultivos más rentables (tipo ProCampo, Programas de reconversión

productiva del IRBIO en Chiapas); (c) Políticas de gobierno que incentivan la ganadería (tipo ProGan, programas estatales, programas municipales); (d) Políticas de gobierno que incentivan la reforestación (tipo ProÁrbol); (e) Programas de apoyo a la forestería comunitaria (tipo PROCYMAF); (f) Existencia de un plan de manejo forestal; (g) Políticas de gobierno que incentivan el establecimiento de cafetales; (h) Interrupción súbita de ayudas de los programas de gobierno; (i) Falta de asistencia técnica y capacitación; (j) Pago por servicios ambientales (PSA); (k) Existencia de organizaciones de productores; (l) Certificaciones ecológicas/orgánicas; (m) Precios de las materias primas en los mercados locales e internacionales; (n) Restricciones para acceder a créditos y recursos financieros para mejorar sus sistemas de producción; (o) Apoyo de organizaciones de la sociedad civil; (p) Contaminación de las aguas (Franja costera); (q) Obras hidráulicas (Franja costera).

RESULTADOS

A continuación, se muestra la representación gráfica de los MET elaborados para cada región, con los estados y transiciones identificados en cada caso. Los estados, como en las figuras mostradas previamente, se representan como rectángulos y las transiciones por flechas azules. El texto en verde hace referencia a las transiciones asociadas al paso entre dos estados y las líneas rojas discontinuas son los umbrales.

De manera general, los modelos siguen el esquema expuesto en el ejemplo discutido previamente; es decir, se parte de uno o varios tipos de bosque de referencia que pueden sufrir transiciones a otros estados por procesos de degradación (transformándose en bosques degradados), introducción de cultivos perennes (café, cacao, palma) o corta de la vegetación arbórea para la utilización del suelo con fines agrícolas o pecuarios. Además, en algunas regiones se ha observado la utilización de sistemas agroforestales (aunque no de manera extensiva), que constituyen alternativas de producción más sustentable y con mejores opciones de captura de carbono.

El sistema de agricultura temporal de roza-tumba-quema (y sus variantes), ampliamente utilizado en el estado, consiste en la tala de vegetación arbórea y/o roza de vegetación arbustiva y herbácea, que luego es quemada con el fin de limpiar terrenos para la producción agrícola o ganadera y para favorecer la incorporación de cenizas al suelo, mejorando la

disponibilidad de nutrientes. También hay zonas donde únicamente se roza y tumba sin quemar. En estos sistemas el terreno es cultivado durante una serie de años, dejando después la zona en descanso por un tiempo para que el suelo recupere su fertilidad, durante este tiempo la cobertura vegetal se va restableciendo en forma de acahual (herbáceo, arbustivo y arbóreo). Posteriormente el terreno puede volver a ser cultivado o utilizado como potrero o, si cesan los disturbios, por sucesión vegetal se recuperaría el bosque originario.

En los modelos regionales se describen las particularidades en cuanto a usos y dinámicas de cambio de uso del suelo encontradas en cada zona.

Región Selva Maya

Desde finales de los años 60 y hasta principios de los 90, los programas de gobierno encaminados a la creación de nuevos asentamientos en esta región tuvieron un gran efecto sobre el paisaje y el desarrollo

de infraestructuras (de Jong *et al.*, 2000). Los nuevos asentamientos se ubicaron a lo largo de caminos y ríos, avanzando desde la parte noroeste hasta el sureste. Como resultado, el paisaje a lo largo de estos ejes de colonización y entorno a los asentamientos humanos se encuentra muy perturbado. En estas áreas de disturbio es posible distinguir terrenos de cultivo, potreros y zonas cubiertas de vegetación secundaria. Estos hechos, aunados a la explotación maderera y petrolera, ha llevado a una drástica disminución del área arbolada (INE-SEMARNAP, 2000). Actualmente, las zonas de selva mejor conservada se ubican en el entorno de las áreas naturales protegidas, siendo la principal la Reserva de la Biósfera Montes Azules, decretada en 1978, con una superficie de 331 200 ha.

En la Figura 5 se muestra la representación del MET elaborado para la región Selva Maya y, en el Cuadro 6, los estados y transiciones (usos del suelo y vegetación) asociados a la Figura 5.

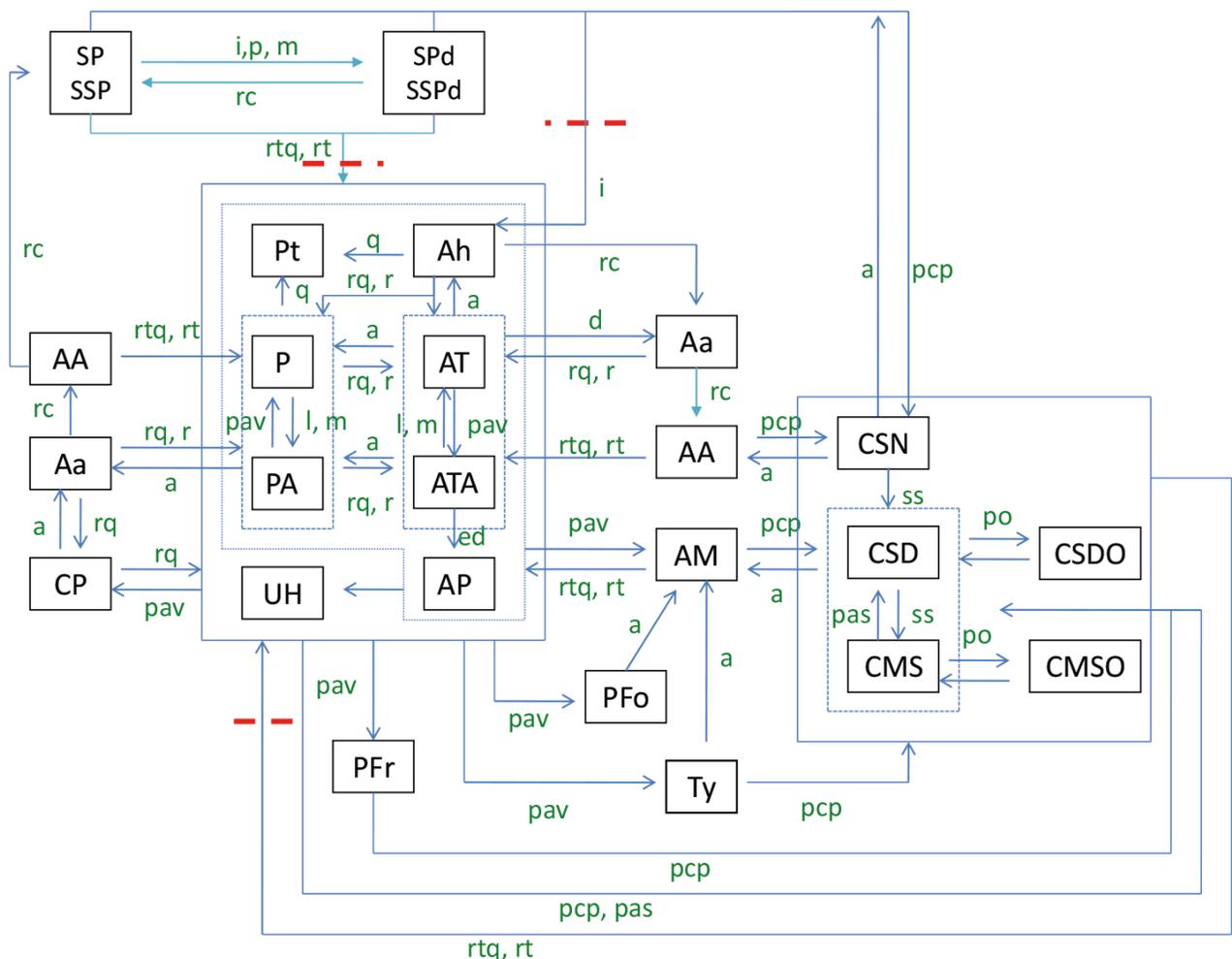


Figura 5. Modelo de estados y transiciones para la región selva Maya.

Cuadro 6. Usos del suelo y transiciones para la región Selva Maya.

Usos del suelo	Transiciones
Selva perennifolia (SP)	Incendio forestal (i)
Selva perennifolia degradada (SPd)	Extracción leña (l)
Selva subperennifolia (SSP)	Extracción madera (m)
Selva subperennifolia degradada (SSPd)	Pastoreo (p)
Acahual arbóreo (AA)	Recuperación (rc)
Acahual arbustivo (Aa)	Roza-tumba-quema (rtq)
Acahual herbáceo (Ah)	Roza-tumba (rt)
Petatilla (Pt)	Roza-quema (rq)
Acahual mejorado (AM)	Roza (r)
Agricultura temporal (AT)	Descanso (d)
Agricultura temporal con árboles (ATA)	Abandono (a)
Agricultura permanente (AP)	Eliminación del periodo de descanso (ed)
Potrero (P)	Plantación árboles con valor (pav)
Potrero con árboles (PA)	Plantación cultivos perennes (pcp)
Taungya (Ty)	Plantación árboles de sombra (pas)
Plantación forestal (PFo)	Selección árboles de sombra (ss)
Plantaciones frutales (PFr)	Producción orgánica (po)
Cultivo de palma (CP)	
Café/cacao bajo sombra natural (CSN)	
Café/cacao bajo sombra diversificada (CSD)	
Café/cacao bajo sombra diversificada orgánico (CSDO)	
Café/cacao monosombra (CMS)	
Café/cacao monosombra orgánico (CMSO)	
Usos humanos (UH)	

La agricultura temporal (AT) se practica en la milpa, que es un sistema productivo tradicional de granos básicos (maíz, frijol y calabaza, básicamente). En esta zona se cultiva dos veces al año: la milpa de temporal de mayo a noviembre y la de tornamil de diciembre a abril (Monroy, 2009). La superficie promedio que se cultiva es de 0.5-1 ha por campesino, con ciclos de cultivo que van de 3 a 7 años con periodos de descanso de hasta 15 años, en los que se desarrolla el acahual, dependiendo de la superficie de terreno con la que cuente el agricultor. En algunas parcelas los productores conservan especies arbóreas, lo cual facilita la regeneración de la vegetación, reduciendo los periodos de barbecho (Levy *et al.*, 2002). La presión por el uso de la tierra, derivada de la necesidad de producir alimentos, ha hecho que se reduzcan los periodos de descanso, no permitiendo una recuperación adecuada de la fertilidad edáfica para el nuevo ciclo de cultivo.

Además de milpas, en la región es posible encontrar áreas de cultivo de frutales tropicales y plantaciones de palma africana (*Elaeis guineensis*). La palma africana es una especie nativa de África occidental utilizada para la producción de aceite, cuya producción se ha incrementado de manera exponencial en los últimos 50 años. En México, la palma de aceite se cultiva en la parte sur del país y en Chiapas concretamente su cultivo está siendo incentivado por el instituto encargado de la reconversión productiva (antes IRPAT, ahora IRBIO). La demanda creciente de biocombustibles está promoviendo una rápida expansión de las plantaciones de esta palma que, según Danielsen *et al.* (2009) podrían provocar un reemplazo de bosques y selvas de elevada biodiversidad, actuando como importantes sumideros de carbono por monocultivos de palma que finalmente contribuirían al cambio climático y a la pérdida de biodiversidad.

La ganadería extensiva es una actividad productiva importante en toda la región, ocupando amplias áreas. Por ello, la incorporación de árboles a este sistema tiene un gran potencial para la conservación de la biodiversidad. Estos árboles dispersos, que pueden haber sido seleccionados del bosque original, haberse regenerado o haber sido plantados, sirven como fuente importante de forraje, frutas, madera, leña y sombra para el ganado proveyendo, además, importantes hábitats y recursos para la biodiversidad dentro del paisaje agrícola (Guevara *et al.*, 1998).

Cuando el uso del fuego es recurrente, los terrenos pueden ser invadidos por el helecho *Pteridium aquilinum* que, a pesar de no ser nativo de regiones neotropicales, es favorecido por el fuego en suelos con pH ácido y bajos contenidos de fósforo asimilable. Este sistema se conoce con el nombre de petatilla y una vez que se establece es capaz de arrestar la sucesión secundaria y no permitir el desarrollo de la selva (Celedon, 2006).

Algunas alternativas que se han planteado en la región para mejorar la economía familiar de una manera sustentable e incrementar la captura de carbono en los sistemas productivos son (además de las modalidades de agricultura y árboles en potrero), las plantaciones forestales con especies maderables de alto valor (como cedro y caoba) y sistemas agroforestales como la taungya y el acahual han mejorado. El sistema de taungya consiste en sembrar cultivos agrícolas anuales junto con especies forestales durante los primeros años de establecimiento de la plantación forestal (Nair, 1997). El tiempo de permanencia de los cultivos suele ser de 3-5 años, hasta que la sombra de la especie forestal comienza a limitar el crecimiento de los cultivos. Los acahuals mejorados, por su parte, son sistemas en los que se han introducido especies maderables (cedro, caoba, etc.) con valor comercial u otras especies de interés para el productor (Soto *et al.*, 2010). El enriquecimiento de los acahuals se hace con la finalidad de incrementar la proporción de las especies comercialmente valiosas y no como sustitutas de la regeneración natural, sino más bien como un complemento de ésta (Gullison y Hubbell, 1992).

En cuanto a los sistemas de café y cacao, en la región existen cafetales y cacaotales cultivados bajo la sombra de la selva (con gran diversidad de especies de sombra y mínimo manejo), otros sistemas en los que la sombra es diversa y en los que se inducen especies maderables, frutales o medicinales (sombra diversificada) y otros, más comerciales en donde se manejan pocas especies de sombra con un alto valor económico (o especies que tradicionalmente se usan para la sombra en el caso de los cafetales como *Inga sp.*).

Región Selva Zoque

En la Figura 6 presenta el MET propuesto para la región Zoque y, en el Cuadro 7, los estados y las transiciones identificadas en la región Selva Zoque.

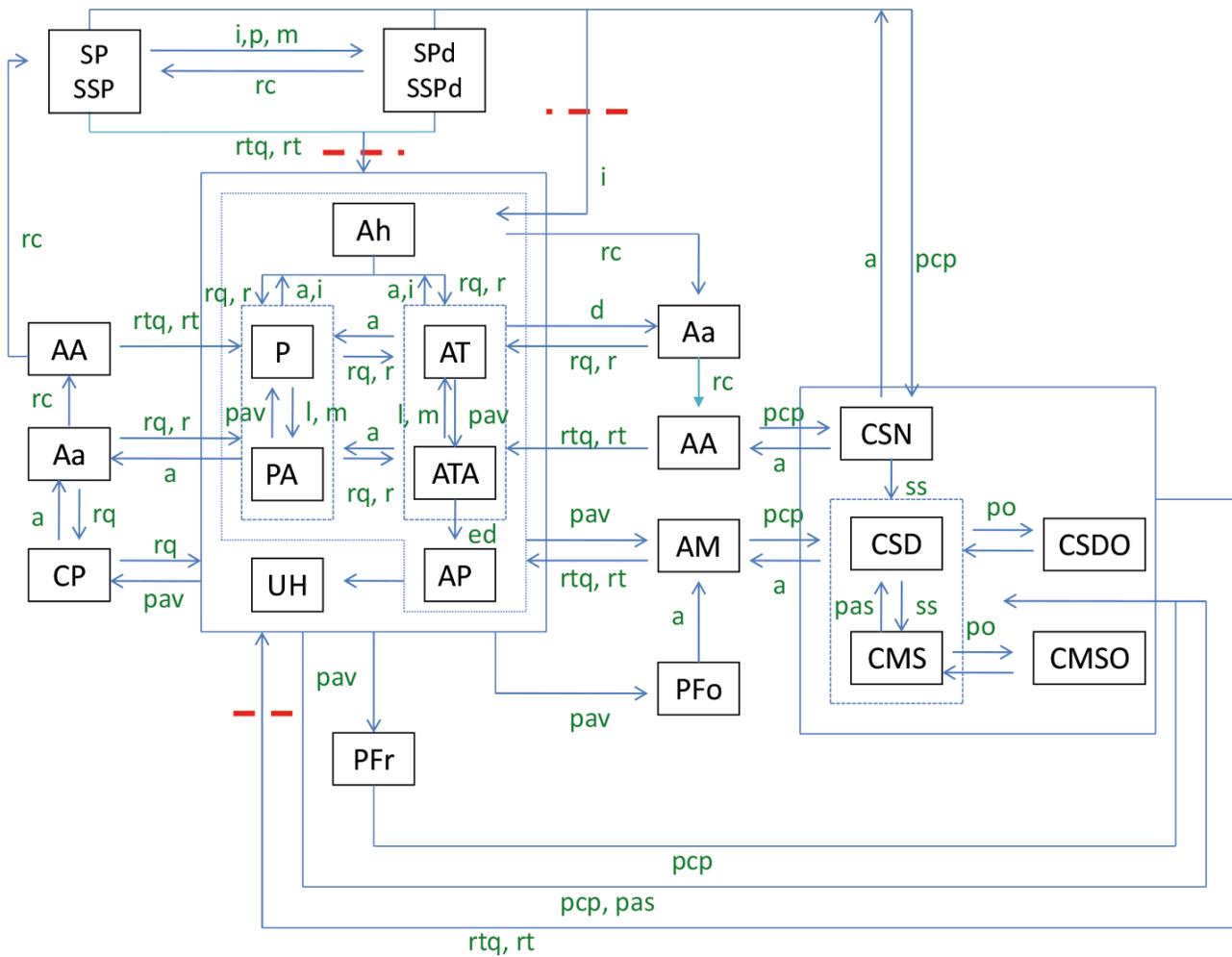


Figura 6. MET de la región selva Zoque.

Cuadro 7. Usos del suelo y transiciones para la región Selva Zoque.

Usos del suelo	Transiciones
Selva perennifolia (SP)	Incendio forestal (i)
Selva perennifolia degradada (SPd)	Extracción leña (l)
Selva subperennifolia (SSP)	Extracción madera (m)
Selva subperennifolia degradada (SSPd)	Pastoreo (p)
Acahual arbóreo (AA)	Recuperación (rc)
Acahual arbustivo (Aa)	Roza-tumba-quema (rtq)
Acahual herbáceo (Ah)	Roza-tumba (rt)
Acahual mejorado (AM)	Roza-quema (rq)

Cuadro 7. Usos del suelo y transiciones para la región Selva Zoque (Continuación).

Usos del suelo	Transiciones
Agricultura temporal (AT)	Roza (r)
Agricultura temporal con árboles dispersos (ATA)	Descanso (d)
Agricultura permanente (AP)	Abandono (a)
Potrero (P)	Eliminación del periodo de descanso (ed)
Potrero con árboles (PA)	Plantación árboles con valor (pav)
Plantación forestal (PFo)	Plantación cultivos perennes (pcp)
Plantaciones frutales (PFr)	Plantación árboles de sombra (pas)
Cultivo de palma (CP)	Selección árboles de sombra (ss)
Café/cacao bajo sombra natural (CSN)	Producción orgánica (po)
Café/cacao bajo sombra diversificada (CSD)	
Café/cacao bajo sombra diversificada orgánico (CSDO)	
Café/cacao monosombra (CMS)	
Café/cacao monosombra orgánico (CMSO)	
Usos humanos (UH)	

La cobertura de selva en esta región se ha perdido en gran parte y se encuentra mucho más fragmentada que en el caso de la región Maya. En las zonas más planas se han establecido pastizales para el ganado principalmente, aunque también existen muchos terrenos dedicados a la agricultura donde se utilizan los sistemas tradicionales asociados a la roza-tumba-quema (con sus variaciones), aunque la actividad agrícola ha sido relegada a zonas más abruptas. La producción de cacao (*Theobroma cacao*) es otra actividad practicada desde la época prehispánica en la zona y que en la actualidad aún tiene importancia en lugares que no exceden de los 400 msnm, aunque la ganadería ha llegado a sustituir el cultivo del cacao, y también al café, en épocas de bajos precios (Tinoco, 2010). En la actualidad el IRBIO considera que una extensa superficie de esta región tiene potencial para la palma africana y se está impulsando su cultivo en la zona.

La única parte donde se conserva una cobertura de selva más continua es en el entorno de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote, la cual se ubica en un paisaje kárstico sobre un relieve muy accidentado, albergando una gran biodiversidad. Aunque en esta zona la cobertura vegetal también se ve amenazada por las actividades agrícolas y ganaderas de la población que habita en la zona junto con la frecuencia de incendios (CONANP, 2006), los cuales en 1998 y 2003 devastaron la mitad de la superficie de la reserva.

Región Franja Costera

La Figura 7 muestra el MET de la franja costera, en donde dominan los manglares. Los estados y las transiciones asociados a este modelo se presentan en el Cuadro 8.

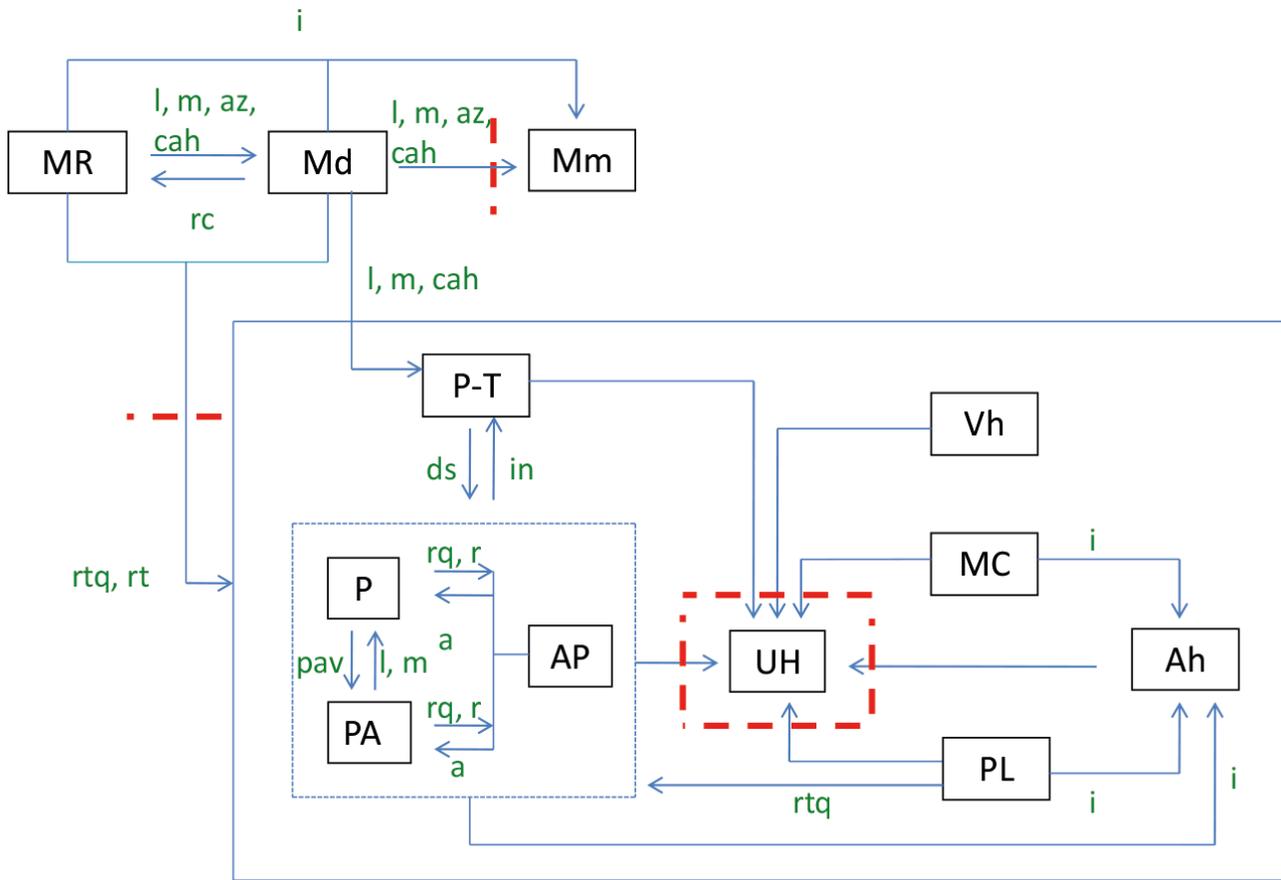


Figura 7. MET de la Franja Costera de Chiapas.

Cuadro 8. Usos del suelo y transiciones para la Franja Costera de Chiapas.

Usos del suelo	Transiciones
Manglar de referencia (MR)	Incendio forestal (i)
Manglar degradado (Md)	Extracción leña (l)
Manglar muerto (Mm)	Extracción ilegal madera (m)
Popal-tular (P-T)	Recuperación (rc)
Acahual herbáceo (Ah)	Roza-tumba-quema (rtq)
Palmar (PL)	Roza-tumba (rt)
Matorral costero (MC)	Roza-quema (rq)
Vegetación halófila (Vh)	Roza (r)
Agricultura permanente (AP)	Azolvamiento de cauces (az)
Potrero (P)	Caída de árboles por huracanes y tormentas (cah)
Potrero con árboles (PA)	Abandono (a)
Usos humanos (UH)	Desecación (ds)
	Inundación (in)

Cuadro 9. Usos del suelo y transiciones para la Llanura Costera de Chiapas.

Usos del suelo	Transiciones
Selva subperennifolia (SSP)	Incendio (i)
Selva subperennifolia degradada (SPd)	Roza-tumba-quema (rtq)
Selva subcaducifolia (SSC)	Roza-tumba (rt)
Selva subcaducifolia degradada (SSCd)	Roza-quema (rq)
Acahual arbóreo (AA)	Roza (r)
Acahual arbustivo Aa)	Abandono (a)
Acahual herbáceo (Ah)	Riego (rg)
Palmar (PL)	Plantación árboles con valor (pav)
Agricultura permanente (AP)	Plantación árboles de sombra (pas)
Agricultura permanente con árboles dispersos (APA)	Selección árboles de sombra (ss)
Agricultura de riego (Ar)	Producción orgánica (po)
Cultivo de <i>Jatropha</i> (Ja)	
Cultivo de palma de aceite (CP)	
Potrero (P)	
Potrero con árboles (PA)	
Plantaciones frutales (PFr)	
Usos humanos (UH)	

La región de la Llanura Costera se caracteriza porque la vegetación selvática ha sido sustituida, principalmente con fines de producción ganadera extensiva, que se ha visto favorecida frente a la agricultura por las condiciones naturales de inundación de la zona, aun así, también es posible encontrar áreas cultivadas, incluso con riego y frutales. Sin embargo, pese a la gran importancia que la actividad ganadera posee, el grado de desarrollo potencial no ha sido alcanzado. La productividad es muy baja, se generan pocos empleos, los productores no están organizados, hay mucho intermediarismo y el sistema comercial es deficiente (INE-SEMARNAP, 1999b).

Otro tipo de vegetación presente son los palmares, asociados a terrenos inundables y también a potreros abandonados sometidos a incendios periódicos. Además, en los últimos tiempos el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) y palma africana (*Elaeis guineensis*), incentivados por el IRPAT (ahora IRBIO) se han extendido en la región.

Región Soconusco

El MET desarrollado para la región Soconusco se presenta en la Figura 9 y los estados y transiciones asociados en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Usos del suelo y transiciones para la zona del Soconusco (Continuación).

Usos del suelo	Transiciones
Agricultura de riego (Ar)	
Cultivo de <i>Jatropha</i> (Ja)	
Potrero (P)	
Potrero con árboles (PA)	
Cultivo de palma de aceite (CP)	
Cultivo de cacao bajo sombra natural (CCSN)	
Cultivo de cacao con sombra de frutales y/o maderables (CCAV)	
Cultivo de cacao bajo producción orgánica (CCO)	
Usos humanos (UH)	

El Soconusco es la principal región agrícola de Chiapas. La producción agrícola se lleva a cabo desde la costa hasta la región montañosa. El maíz, principalmente para autoconsumo, se cultiva en las partes altas, alrededor de los 1200 m o más y el café se encuentra distribuido en el área entre los 400 y los 1800 msnm. El cultivo de cacao se encuentra en los alrededores de los 400 msnm de altitud. Las gramíneas y los árboles frutales se cultivan a menos de 400 msnm y los granos, la caña de azúcar y la palma aceitera se encuentran cultivados en el área entre los 20 y los 200 msnm. El ajonjolí, la sandía y el melón se cultivan en pequeña escala en las dunas del área costera (Sánchez y Jarquín, 2004).

En la región del Soconusco se han establecido grandes áreas de monocultivos fuertemente demandantes de agua, tales como las plantaciones de banano, papaya, mango, sorgo, maíz y soya, a lo largo de la ribera de varios ríos que consumen más del 85% del agua disponible (Sánchez y Jarquín, 2004). El manejo deficiente y abusivo en la cantidad, uso y horario de riego, están desecando los ríos, siendo crítica la temporada de enero a mayo.

El cacao en la región del Soconusco se cultiva bajo la sombra natural de la selva o, más frecuentemente, bajo una sombra mixta donde el productor introduce especies que le reportan beneficios adicionales como frutales (*Pouteria sapota* y *Mangifera indica*, principalmente), maderables (sobre todo *Cordia alliodora* y *Tabebuia*

donnell-smithii) y leguminosas mejoradoras del suelo (como *Inga micheliana* y *Gliricidia sepium*). Aunque la mayor parte de las especies usadas como sombra son frutales ya que los bajos precios de éste ejercen una fuerte presión para asociarlo con sombra económicamente rentable (Salgado *et al.*, 2007).

El café se cultiva bajo sombra de Inga principalmente, aunque también se usan otros árboles de sombra como el canaco (*Alchornea latifolia*; Ramos, 2006). Los cafetales cultivados bajo la sombra natural de la selva se destacan por el elevado contenido de carbono almacenado, sobre todo en la biomasa aérea. En esta región, además, se encuentran varias fincas cafetaleras, donde, a diferencia de lo que ocurre en otras partes se cultivan de una manera más intensiva amplias extensiones de café, pertenecientes a un solo propietario o familia.

Región Depresión Central

En la Depresión Central es posible encontrar varios tipos de ecosistemas forestales que sufren dinámicas similares de cambio de uso del suelo. En la Figura 10, se presentan dentro del modelo las selvas caducifolias y subcaducifolias y debajo los bosques de pino-encino y encino, los cuales, ocuparían el mismo lugar que las selvas en el MET y, a continuación, en el Cuadro 11, los estados y las transiciones incluidos en este modelo.

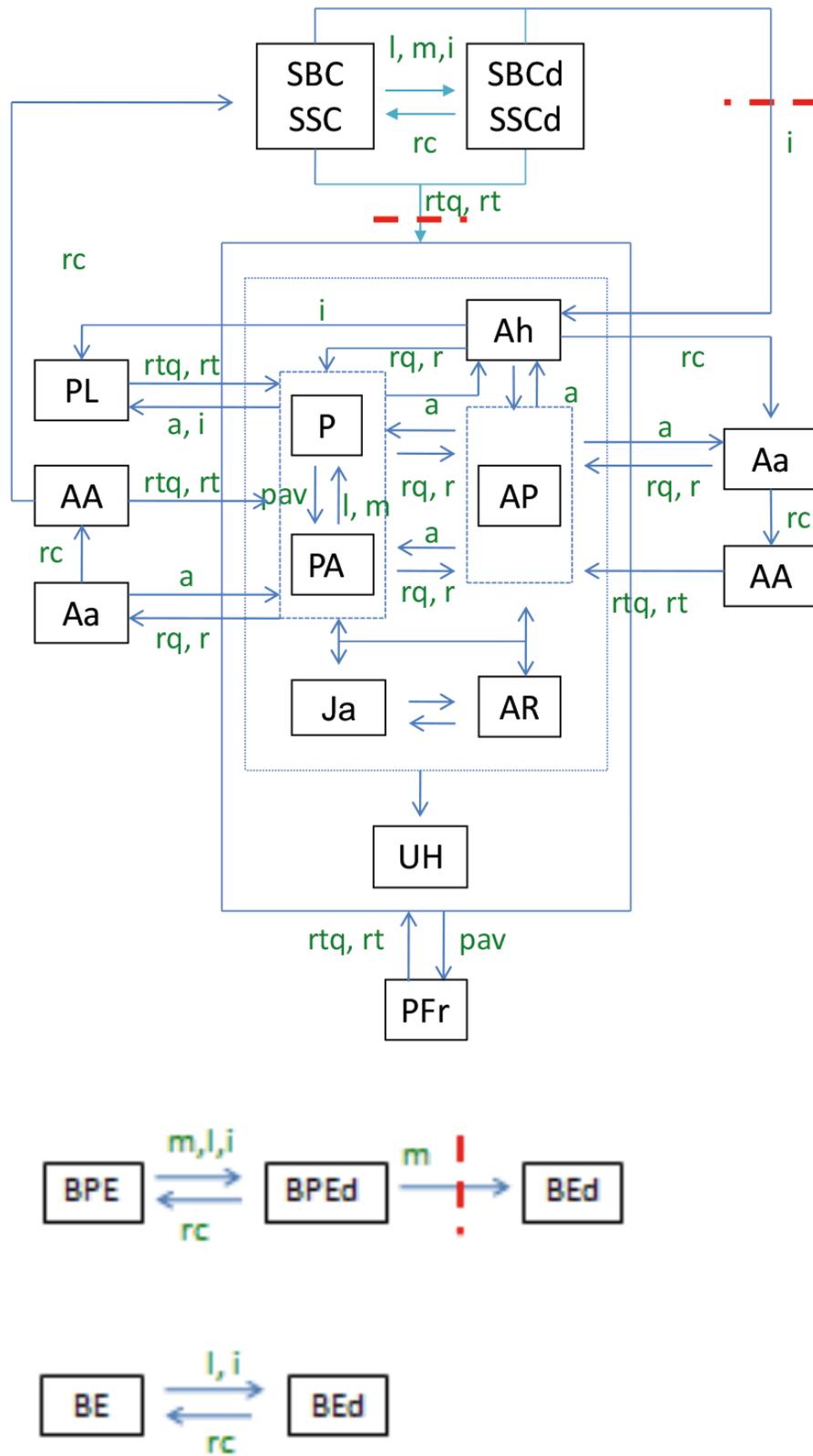


Figura 10. MET de la Depresión Central de Chiapas.

Cuadro 11. Usos del suelo y transiciones para la Depresión Central de Chiapas.

Usos del suelo	Transiciones
Selva baja caducifolia (SBC)	Incendio forestal (i)
Selva baja caducifolia degradada (SBCd)	Extracción leña (l)
Selva baja subcaducifolia (SSC)	Extracción ilegal madera (m)
Selva baja subcaducifolia degradada (SSCd)	Recuperación (rc)
Bosque de pino-encino (BPE)	Roza-tumba-quema (rtq)
Bosque de pino-encino degradado (BPED)	Roza-tumba (rt)
Bosque de encino (BE)	Roza-quema (rq)
Bosque de encino degradado (BED)	Roza (r)
Acahual arbóreo (AA)	Abandono (a)
Acahual arbustivo (Aa)	Riego (rg)
Acahual herbáceo (Ah)	Plantación árboles con valor (pav)
Agricultura permanente (AP)	
Agricultura de riego (AR)	
Cultivo de <i>Jatropha</i> (Ja)	
Potrero (P)	
Potrero con árboles (PA)	
Plantaciones frutales (PFR)	
Palmar (PL)	
Usos humanos (UH)	

La Depresión Central está completamente rodeada por áreas montañosas húmedas y boscosas que les proporcionan un completo aislamiento respecto a otras regiones (Breedlove 1981). En esta zona, el pastoreo, el manejo del fuego y la desmedida apertura de la tierra al cultivo han inducido a la aparición de grandes extensiones de selva baja caducifolia y sabanas (Breedlove, 1981), los bosques subcaducifolios se encuentran en áreas protegidas como cañadas y los palmares son comunes en la parte sureste de la Depresión. En las partes más altas, ya en los límites con las Sierras (Sierra Madre de Chiapas y Altiplanicie Central) se pueden encontrar bosques de encino y de pino-encino con visible evidencia de disturbios humanos.

En la actualidad la mayoría de las tierras de esta región son de propiedad privada donde se practica

la ganadería extensiva o agricultura intensiva, con utilización de riego. También hay tierras ejidales en las cuales los campesinos se dedican a la agricultura de subsistencia, utilizando la técnica de la roza-tumba-quema. Como alternativa productiva en la región se ha impulsado la producción de piñón (*Jatropha curcas*) para biocombustibles.

Región Montañas del Norte

En las regiones templadas de Chiapas existe una variedad de tipos de bosque y usos del suelo que pueblan un paisaje complejo. En la Figura 11 se muestra el MET para la región Montañas del Norte y en el Cuadro 12 aparecen los estados y las transiciones identificados.

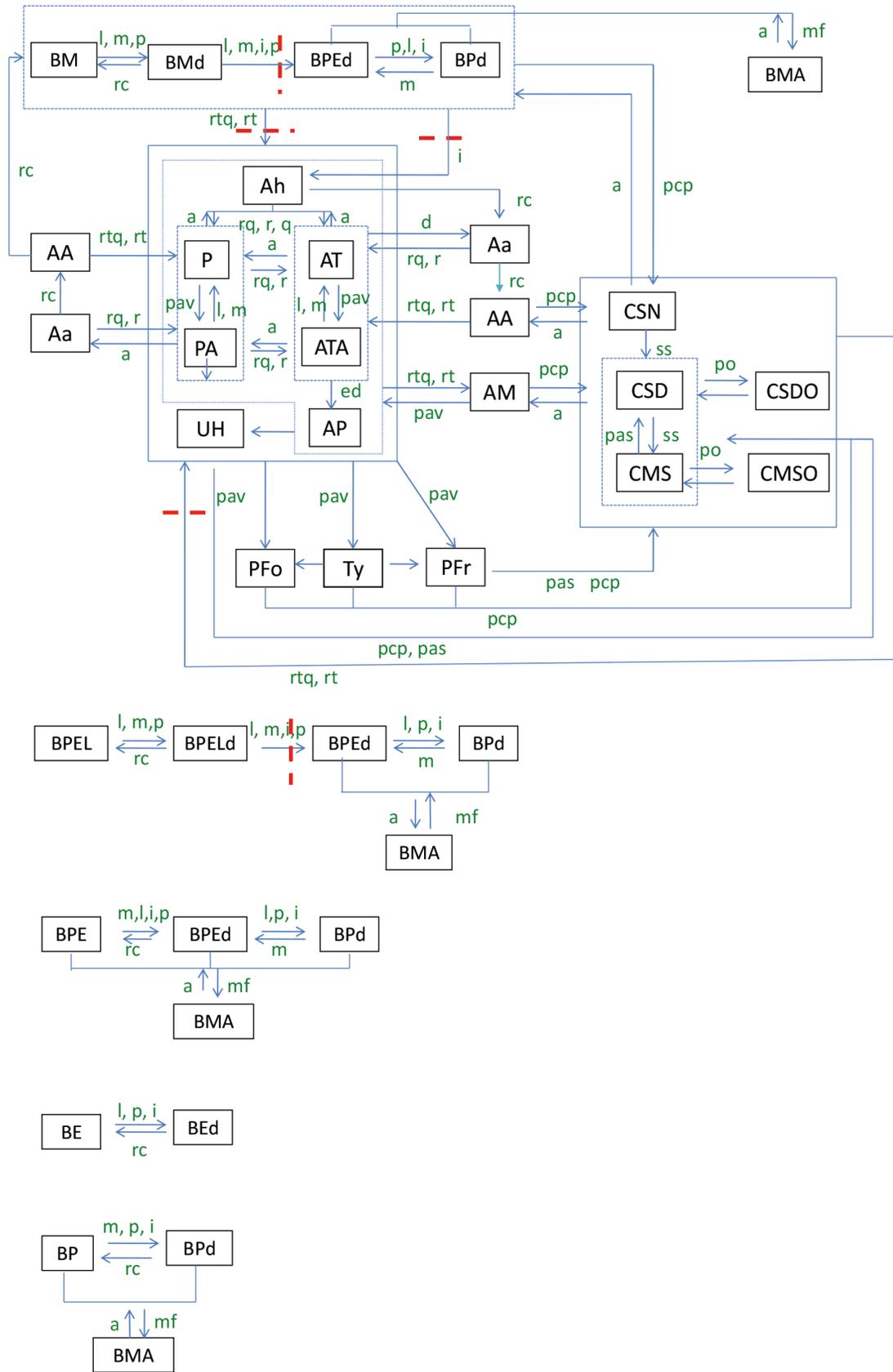


Figura 11. MET de la región Montañas del Norte.

Cuadro 12. Usos del suelo y transiciones para la región Montañas de Oriente.

Usos del suelo	Transiciones
Bosque mesófilo (BM)	Incendio forestal (i)
Bosque mesófilo degradado (BMd)	Extracción leña (l)
Bosque de pino-encino-liquidambar (BPEL)	Extracción madera (m)
Bosque de pino-encino-liquidambar degradado (BPELd)	Pastoreo (p)
Bosque de pino-encino (BPE)	Recuperación (rc)
Bosque de pino-encino degradado (BPEd)	Roza-tumba-quema (rtq)
Bosque de pino (BP)	Roza-tumba (rt)
Bosque de pino degradado (BPd)	Roza-quema (rq)
Bosque de encino (BE)	Roza (r)
Bosque de encino degradado (BEd)	Descanso (d)
Bosque manejado (BMA)	Abandono (a)
Acahual arbóreo (AA)	Eliminación del periodo de descanso (ed)
Acahual arbustivo (Aa)	Manejo forestal (mf)
Acahual herbáceo (Ah)	Plantación árboles con valor (pav)
Acahual mejorado (AM)	Plantación cultivos perennes (pcp)
Agricultura temporal (AT)	Plantación árboles de sombra (pas)
Agricultura temporal con árboles dispersos (ATA)	Selección árboles de sombra (ss)
Agricultura permanente (AP)	Producción orgánica (po)
Potrero (P)	
Potrero con árboles (PA)	
Taungya (Ty)	
Plantaciones forestales (PFo)	
Plantaciones frutales (PFR)	
Café bajo sombra natural (CSN)	
Café bajo sombra diversificada (CSD)	
Café bajo sombra diversificada orgánico (CSDO)	
Café monosombra (CMS)	
Café monosombra orgánico (CMSO)	
Usos humanos (UH)	

Los sistemas productivos que predominan en la región según Jiménez *et al.* (2010), son: a) la milpa que se realiza bajo el sistema tradicional de roza-tumba-quema y que se caracteriza por mantener una amplia diversidad de especies nativas asociadas con el maíz cuya producción se destina para el autoconsumo; b) la cafecultura, que es la principal fuente de recursos para muchas familias de la región, se realiza bajo el sistema tradicional, con sombra natural, y en menor grado en forma semi-intensiva, con sombra mixta o monosombra, cuya producción se destina al mercado y representa la principal fuente de ingresos monetarios; c) la ganadería bovina que se realiza bajo un sistema extensivo en potreros o bajo el sistema bosque-ganado para la producción de carne, cuya función es el ahorro familiar; d) la horticultura que se encuentra menos desarrollada y que representa una alternativa de producción para el mercado en áreas donde se dispone de agua y cuya tierra es de mejor calidad y e) la fruticultura que ocupa un lugar marginal.

El manejo ganadero de bosque-ganado o de montaña es característico de esta región y se trata de un sistema trashumante entre el bosque y las áreas de acahual y rastrojales de maíz (Jiménez *et al.*, 2010). En la época seca, después de la cosecha de maíz (noviembre), el ganado aprovecha los residuos de la cosecha (rastreo) y cuando dan inicio las actividades agrícolas (mayo-junio), los animales son trasladados al bosque para el aprovechamiento de los pastos naturales y el sotobosque, permaneciendo hasta noviembre o diciembre.

También en esta región pueden encontrarse algunos ejemplos de sistemas agroforestales, como la taungya y el acahual mejorado. En esta zona en el sistema de taungya el cultivo se mantiene entre 2 y 7 años junto con los árboles comerciales, que permanecen como plantación hasta el primer turno de corta. En los sistemas de acahual mejorado de la región las especies introducidas son principalmente pino y ciprés (Roncal *et al.*, 2008).

Los bosques de la región Norte, principalmente los de pino y pino-encino, además del disturbio por extracción de leña, están sujetos al impacto del ganado, que consume las plántulas y juveniles, aunque el empleo recurrente del fuego termina afectando a todos los estratos de la vegetación produciendo cambios drásticos en la estructura del bosque. Estas perturbaciones han favorecido la expansión de especies del género *Pinus* en bosques de montaña, produciéndose el fenómeno conocido como pinarización.

Los bosques de pino y pino-encino, además de las transiciones ya descritas pueden convertirse en bosques manejados, tras la aprobación de un plan de manejo forestal, en el que se describe el método de ordenamiento forestal a emplear para extraer madera de los bosques de manera legal.

Región Altos

En la Figura 12 se presenta el MET elaborado para la región Altos y en el Cuadro 13, los estados y las transiciones identificados.

Cuadro 13. Usos del suelo y transiciones para la región Altos.

Usos del suelo	Transiciones
Bosque de pino-encino (BPE)	Incendio forestal (i)
Bosque de pino-encino degradado (BEPd)	Extracción leña (l)
Bosque mesófilo (BM)	Extracción madera (m)
Bosque mesófilo degradado (BMd)	Recuperación (rc)
Bosque de pino-encino-liquidámbar (BPEL)	Roza-tumba-quema (rtq)
Bosque de pino-encino-liquidámbar degradado (BPELd)	Roza-tumba (rt)
Bosque de pino (BP)	Roza-quema (rq)
Bosque de pino degradado (BPd)	Roza (r)
Bosque de encino (BE)	Descanso (d)
Bosque de encino degradado (BEd)	Abandono (a)
Bosque manejado (BMA)	Eliminación del periodo de descanso (ed)
Acahual arbóreo (AA)	Manejo forestal (mf)
Acahual arbustivo (Aa)	Plantación de árboles de valor (pav)
Acahual herbáceo (Ah)	Plantación cultivos perennes (pcp)
Agricultura temporal (AT)	Plantación árboles de sombra (pas)
Agricultura temporal con árboles (ATA)	Selección de la sombra (ss)
Potrero (P)	Producción orgánica (po)
Potrero con árboles (PA)	
Agricultura permanente (AP)	
Taungya (Ty)	
Plantaciones forestales (PFo)	
Plantaciones de frutales (PFr)	
Café bajo sombra natural (CSN)	
Café bajo sombra diversificada (CSD)	
Café bajo sombra diversificada orgánico (CSDO)	
Café monosombra (CMS)	
Café monosombra orgánico (CMSO)	
Usos humanos (UH)	

La vocación de los suelos en Los Altos de Chiapas es principalmente forestal; sin embargo, el paisaje de esta región muestra una elevada fragmentación de los bosques que han sido sustituidos por áreas de cultivo y comunidades vegetales secundarias asociadas a la agricultura itinerante. A pesar de la poca aptitud de los suelos para la agricultura y de las elevadas pendientes, los campesinos mayas cultivan sus milpas utilizando el sistema de roza-tumba-quema y sus variantes, obteniendo rendimientos relativamente bajos, pero aceptables para el autoconsumo (Cortina, 2006). Además, la escasez de tierras ha provocado una tendencia hacia la intensificación de la agricultura en la zona, llevando al acortamiento de los periodos de descanso y, en ocasiones, al uso continuo del suelo con fines agrícolas (Ochoa *et al.*, 2000).

En la región es habitual mantener árboles en las tierras de cultivo y zonas empleadas como potrero. En las milpas abandonadas el pastoreo de ovejas y ganado bovino es común, lo cual puede impedir el crecimiento de árboles y arbustos y conducir al establecimiento de pastizales permanentes. Los bosques juegan un papel fundamental en la economía local, ya que de ellos se extraen diferentes productos (leña, madera para

construcción, juncia para iglesias y fiestas, abono para jardinería, etc.). También el aprovechamiento de la madera mediante un plan de manejo forestal supone una fuente de recursos importante en algunos ejidos. Además, la producción de café es significativa en la región, aunque la altitud limita su producción por encima de los 1800 m.

Otros usos del suelo presentes en Los Altos son las plantaciones forestales, ya que muchas áreas degradadas o actualmente sin cobertura vegetal están siendo reforestadas con especies de pino, con fines comerciales; además también existen plantaciones de frutales de clima templado.

Región Sierra Madre de Chiapas

En la región de la Sierra Madre la diversidad de usos del suelo se ve incrementada por el aprovechamiento de la palma camedor, que es sembrada en el bosque o en cafetales y posteriormente recolectada para la venta a empresas floristas y ornamentales. El MET desarrollado para esta región se presenta en la Figura 13 y, en el Cuadro 14, los usos del suelo y las transiciones asociadas al modelo.

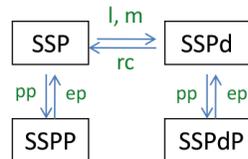
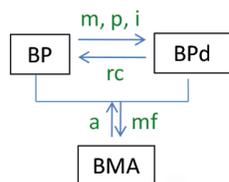
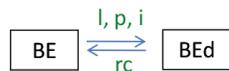
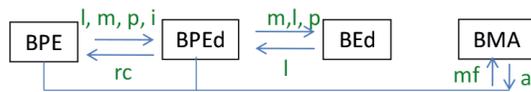
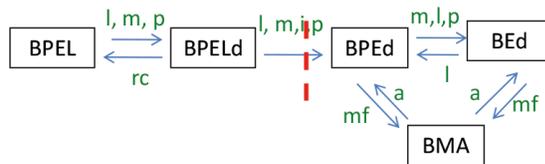
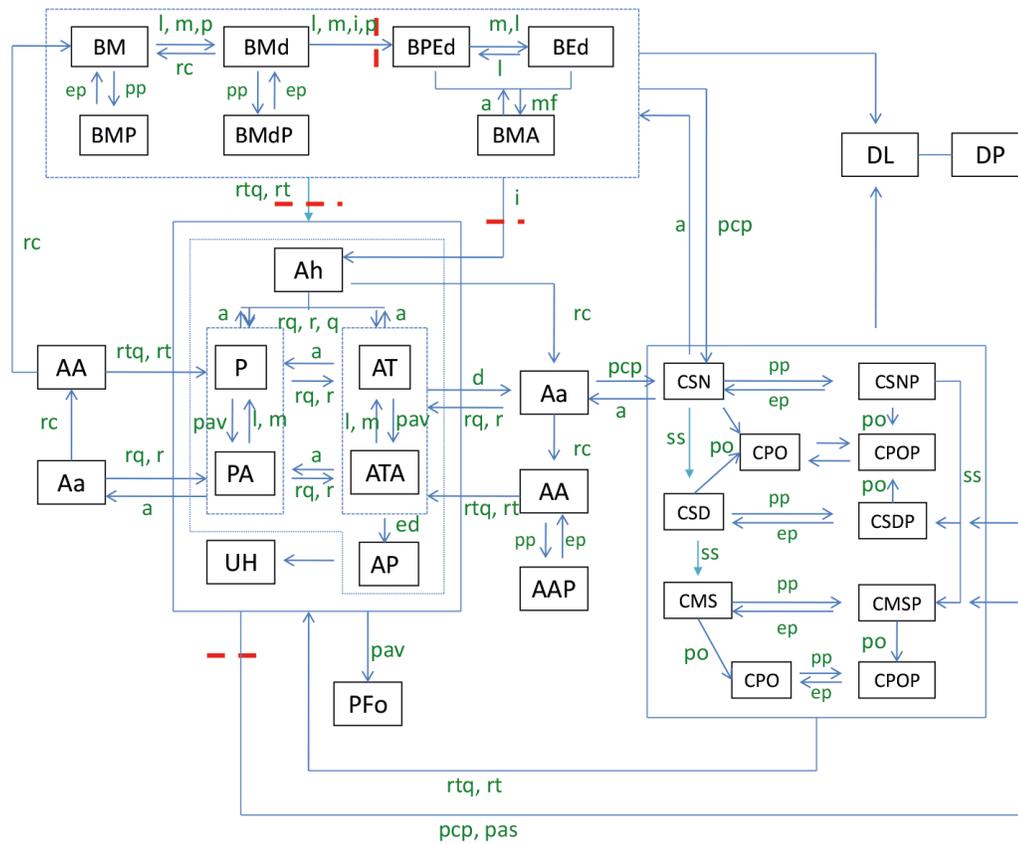


Figura 13. MET de la región Sierra Madre de Chiapas.

Cuadro 14. Usos del suelo y transiciones para la región Sierra Madre de Chiapas.

Usos del suelo	Transiciones
Bosque mesófilo (BM)	Incendio forestal (i)
Bosque mesófilo + palma (BMP)	Extracción leña (l)
Bosque mesófilo degradado (BMd)	Extracción madera (m)
Bosque mesófilo degradado + palma (BMdP)	Pastoreo (p)
Bosque de pino-encino-liquidambar (BPEL)	Recuperación (rc)
Bosque de pino-encino –liquidambar degradado (BPELd)	Roza-tumba-quema (rtq)
Bosque de pino-encino (BPE)	Roza-tumba (rt)
Bosque de pino-encino degradado (BPEd)	Roza-quema (rq)
Bosque de pino (BP)	Roza (r)
Bosque de pino degradado (BPd)	Descanso (d)
Bosque de encino (BE)	Abandono (a)
Bosque de encino degradado (BED)	Eliminación del periodo de descanso (ed)
Selva mediana subperennifolia (SP)	Manejo forestal (mf)
Selva mediana subperennifolia + palma (SSPP)	Plantación árboles con valor (pav)
Selva mediana subperennifolia degradada (SSPd)	Plantación de cultivos perennes (pcp)
Selva mediana subperennifolia degradada + palma (SSPdP)	Plantación árboles de sombra (pas)
Bosque manejado (BMA)	Selección árboles de sombra (ss)
Acahual arbóreo (AA)	Producción orgánica (po)
Acahual arbóreo+palma (AAP)	Plantación palma (pp)
Acahual arbustivo (Aa)	Extracción palma (ep)
Acahual herbáceo (Ah)	
Agricultura temporal (AT)	
Agricultura temporal con árboles dispersos (ATA)	
Agricultura permanente (AP)	
Potrero (P)	
Potrero con árboles (PA)	
Plantaciones forestales (PFo)	
Café bajo sombra natural (CSN)	
Café bajo sombra natural + palma (CSNP)	
Café bajo sombra diversificada (CSD)	
Café bajo sombra diversificada +palma (CSDP)	
Cafetal monosombra (CMS)	
Cafetal monosombra + palma (CMSP)	
Cultivo de café bajo producción orgánica (CPO)	
Cultivo de café bajo producción orgánica + palma (CPOP)	
Terreno deslavado (DL)	
Zona de deposición de deslave (DP)	
Usos humanos (UH)	

Esta región, poblada de bosques templados, con amplias zonas de bosque mesófilo presenta algunas peculiaridades, como la plantación de palma camedor bajo el dosel arbóreo o en asociación con los cafetales, por parte de algunas comunidades. También son frecuentes los deslaves provocados por los huracanes que llegan a la costa de Chiapas, dejando áreas sin cobertura vegetal o con árboles tirados y otras donde se depositan los materiales arrastrados, normalmente procedentes de áreas de elevada pendiente. La declaración de áreas de reserva natural (las principales: Reserva de la Biósfera La Sepultura y Reserva de la Biósfera El Triunfo) ha restringido las posibilidades de uso del suelo en sus zonas de amortiguamiento, como el uso de la roza-tumba-quema, lo que ha permitido frenar el cambio de uso del suelo, sobre todo de bosque a no bosque. Aun así, se da el pastoreo de ganado en el bosque, que al comerse los brinzales compromete la regeneración natural y provoca alteraciones en la estructura del bosque, además de compactación y erosión en áreas de ladera.

Por otra parte, la elevada extracción de madera de pino en la zona está provocando su desaparición en determinadas áreas (Dahringer, 2011, comunicación personal). En las zonas de reserva, la restricción al uso del fuego, no favorece la regeneración del

pino, quedando bosques de encino degradados a consecuencia de la extracción de leña. La producción de café también constituye una actividad económica muy importante en la región, conformando un cinturón alrededor de los bosques mesófilos. Estos cafetales tienen un doble papel, ya que a la vez que contienen la expansión de otros usos del suelo sobre los bosques, avanzan lentamente sobre ellos.

Matrices de transición de almacenes de carbono

Los valores de carbono asignados a cada almacén de cada uno de los estados incluidos en los MET se muestran en el Anexo 1, en donde se encuentran cinco cuadros, uno por almacén de carbono. Los resultados obtenidos en cuanto a la estimación de los datos de carbono faltantes (a través de la relación de los almacenes de mantillo, materia muerta y suelo con la biomasa aérea correspondiente) se muestran en las Figuras 14, 15 y 16. En los tres casos la relación entre los almacenes de carbono fue lineal con coeficientes de determinación superiores a 0.8.

En el caso de la Sierra Madre de Chiapas se encontró que la aportación de la palma al carbono total de los ecosistemas no era significativa, por tanto, no se hizo diferencia entre estados con y sin palma.

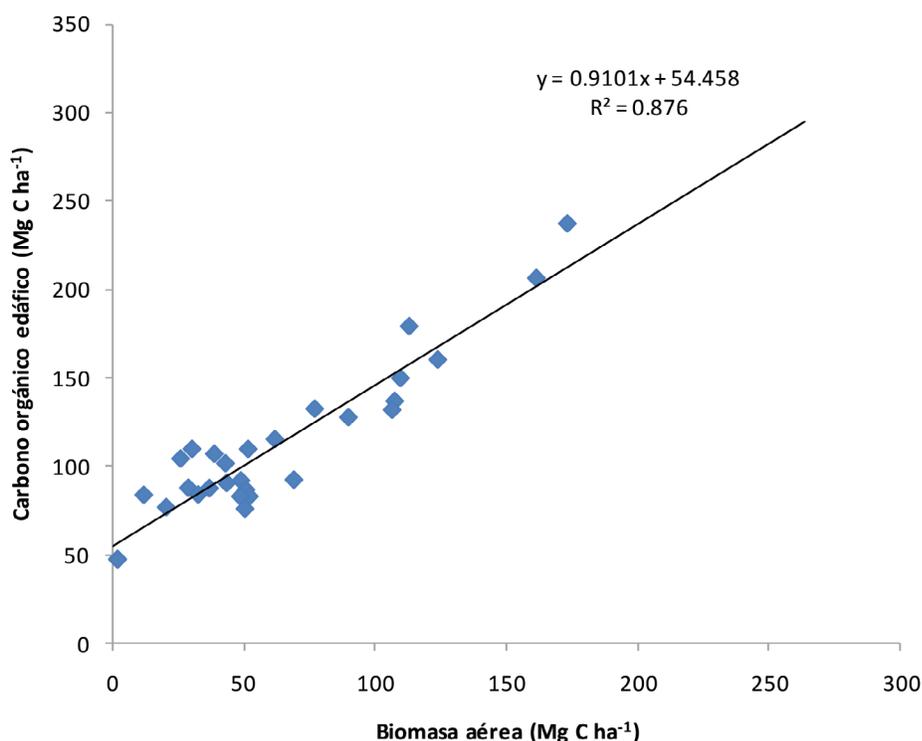


Figura 14. Relación entre el carbono de la biomasa aérea y el carbono orgánico edáfico.

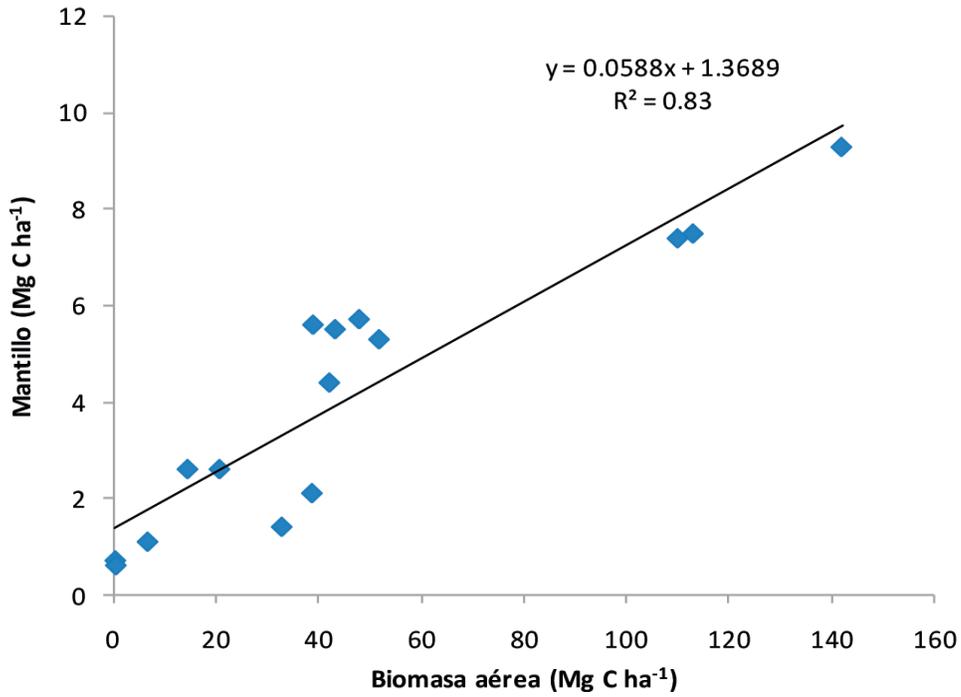


Figura 15. Relación entre el carbono de la biomasa aérea y el carbono del mantillo.

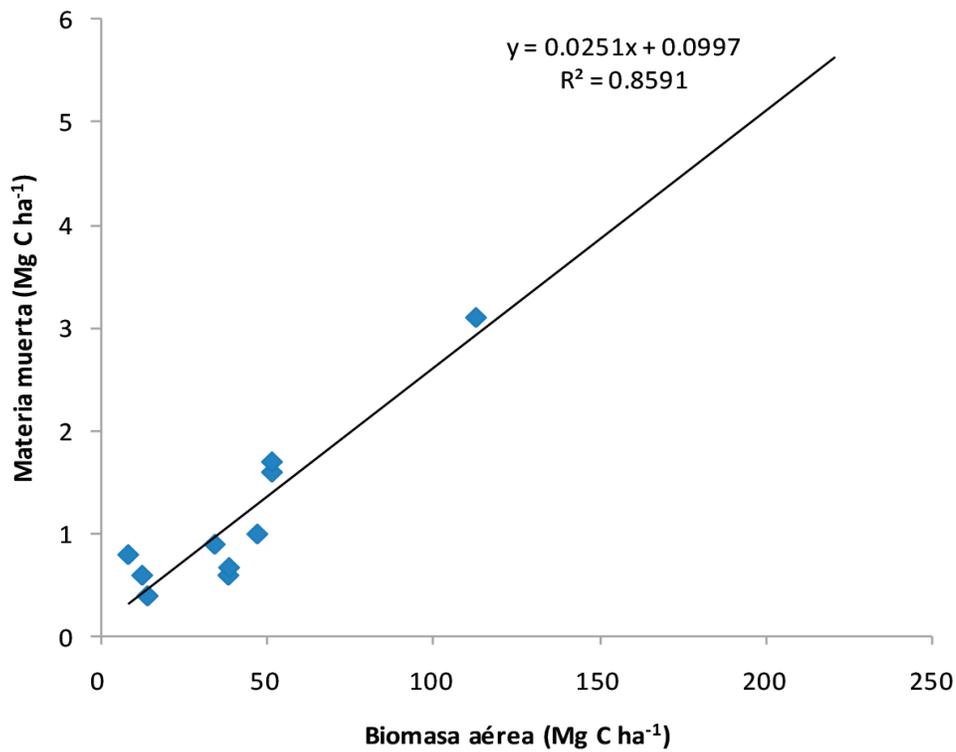


Figura 16. Relación entre el carbono de la biomasa aérea y el carbono de la materia muerta.



Estimación de la incertidumbre

Para analizar la incertidumbre asociada a las estimaciones de los valores de carbono, se analizó la relación entre el promedio y la desviación estándar. Las figuras 17 a 21 muestran los resultados

obtenidos de este análisis para los cinco almacenes de carbono considerados. Se observa una condición de heterodasticidad (la desviación estándar está linealmente relacionada con el promedio), implicando que, mayor contenido de carbono, la varianza será mayor, y viceversa.

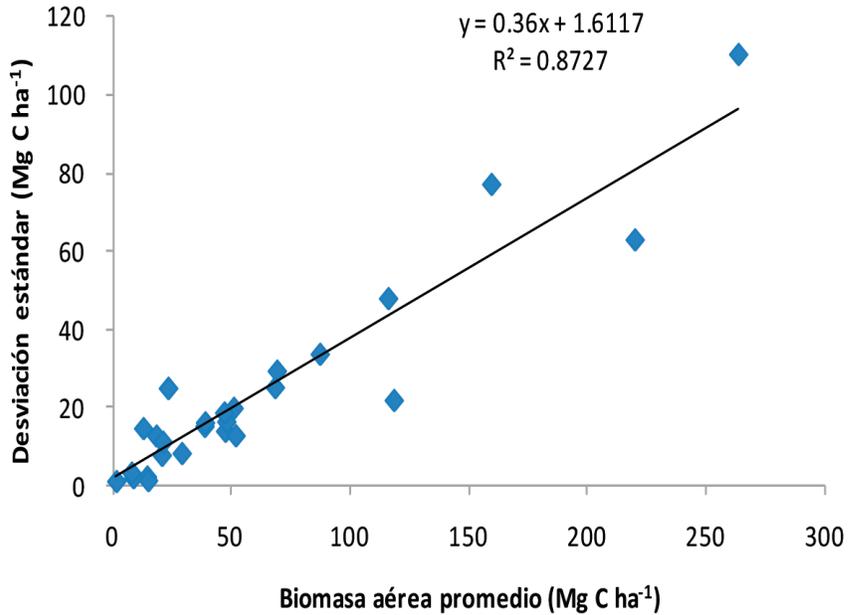


Figura 17. Relación entre el promedio de carbono de la biomasa aérea y su desviación estándar.

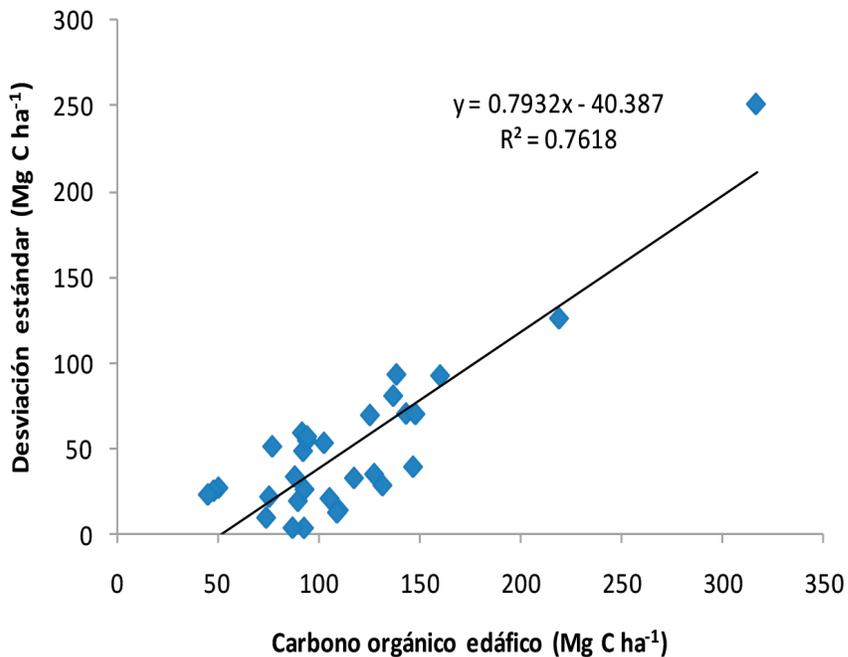


Figura 18. Relación entre el carbono orgánico edáfico promedio y su desviación estándar.

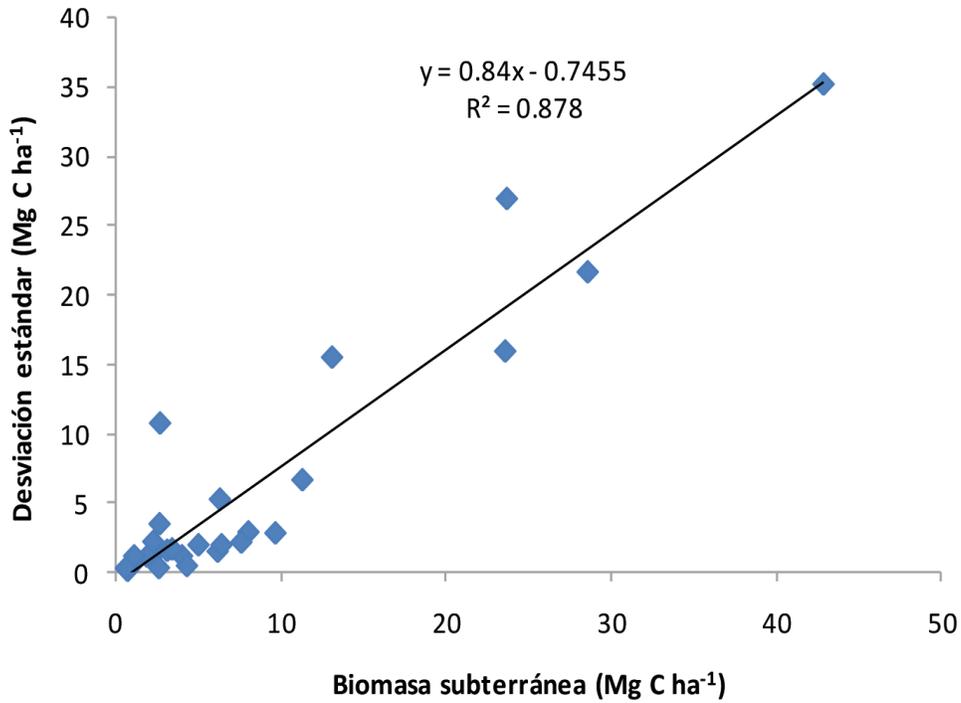


Figura 19. Relación entre el carbono de la biomasa subterránea y su desviación estándar.

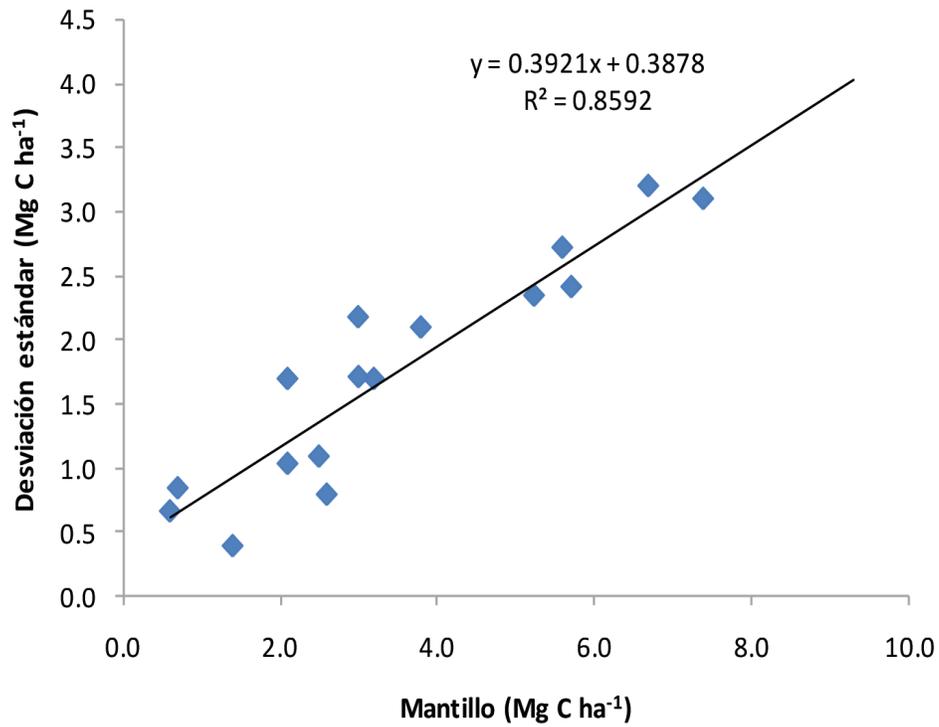


Figura 20. Relación entre el carbono del mantillo y su desviación estándar.

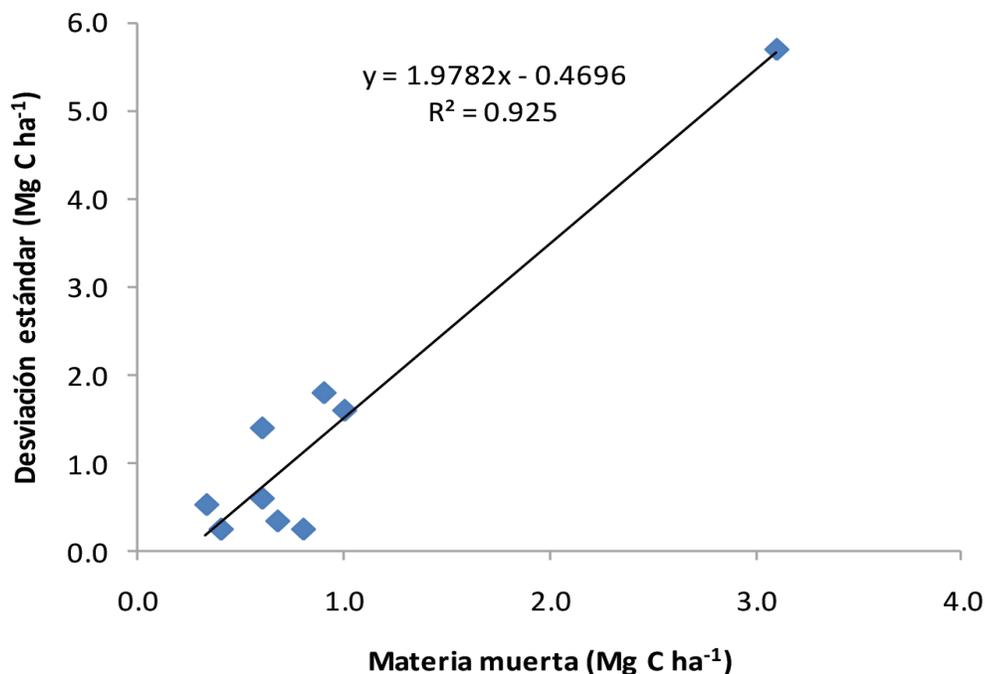


Figura 21. Relación entre el carbono de la materia orgánica muerta y su desviación estándar.

Las matrices de estados y transiciones asociadas a los almacenes de carbono se muestran en los Anexos 2 a 10 (Anexo 2: Selva Maya; Anexo 3: Selva Zoque; Anexo 4: Franja Costera; Anexo 5: Llanura Costera; Anexo 6: Soconusco; Anexo 7: Depresión Central; Anexo 8: Montañas del Norte; Anexo 9: Los Altos; Anexo 10: Sierra Madre). En cada anexo se muestran cinco matrices, una por almacén de carbono. Las matrices de tiempos de paso y tasas de cambio anual se presentan en los anexos 11 a 19.

CONSIDERACIONES FINALES

Tanto los modelos propuestos, como las matrices de carbono y tiempos de paso, constituyen primeras aproximaciones que deberán ajustarse de acuerdo con la disponibilidad de información más precisa, generada en inventarios como los estatales, así como en monitoreos forestales comunitarios. Además, la investigación que se genere sobre nuevas prácticas de manejo y usos del suelo que favorezcan un aprovechamiento sostenible de los recursos, podrá incorporarse a estos modelos.

Uno de los grandes retos que existen es el uso de información de clases de uso del suelo y vegetación sensu INEGI, que no permiten el mapeo de actividades a escala local, por lo que la aplicación de los MET tiene incertidumbre asociada a las estimaciones de carbono.

ANEXOS

En seguimiento a la política del Programa Mexicano del Carbono de libre acceso a las bases de datos asociadas al ciclo del carbono y sus interacciones, así como en soporte de las síntesis nacionales del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres y acuáticos, los anexos de este trabajo están disponibles en http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. A. 2008. Crecimiento de árboles maderables y evaluación del ataque de *Hypsipyla grandella* en sistemas agroforestales en Chiapas, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- Aguilar, V. H. 2007. Captura de carbono y evaluación de pasturas en sistemas de monocultivo y silvopastoriles en Selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- Aguirre, C. M. 2008. SERVICIOS AMBIENTALES: Captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.

- Alvarado, J. C. 2007. Sistemas de producción de café y su impacto en la calidad del suelo en la Sierra Madre de Chiapas, México. Tesis de Maestría. UNACH. Villaflores, Chiapas.
- Barkin, D. 1991. Un desarrollo distorsionado: la integración de México a la economía mundial. Siglo Veintiuno Editores. México D.F.
- Bolom Ton, F. 2000. Estructura de la vegetación arbórea en un gradiente de disturbio de comunidades del bosque mesófilo de las montañas del norte de Chiapas. Tesis de licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Breedlove, D. E. 1981. Flora of Chiapas. Part I. Introduction to the flora of Chiapas. California Academy of Sciences. San Francisco, California.
- Caamal, J. M. 2008. Cuantificación del carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales del estado de Chiapas. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Chiná. Campeche, Campeche.
- Cairns, M. A., S. Brown, E. H. Helmer and G. A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
- Castillo, M. A., A. Hellier, R. Tipper and B. H. J. de Jong. 2007. Carbon emissions from land-use change: an analysis of causal factors in Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies* 12:1213-1235.
- Castillo, M. A., B. H. J. de Jong, V. Maldonado, F. Rojas, M. Olguín, V. de la Cruz, F. Paz y G. Jiménez. 2010. Modelo de deforestación para el estado de Chiapas. Informe final de consultoría para Conservation International. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Castillo, M. A., S. Quechulpa, M. A. Hernández y E. Esquivel. 2009. Estudio de factibilidad para implementar proyectos forestales de captura de carbono en la comunidad zona Lacandona. Informe final de consultoría para Conservation International. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Celedon, H. 2006. Impacto del sistema agrícola de roza, tumba y quema sobre las características de tres unidades de suelo en la Selva Lacandona de Chiapas. Tesis de Maestría. UNAM. México D.F.
- CONAFOR. 2008. Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos. HU [http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos_Tecnicos/PSA/TDR5.1_Hidrologicos.pdf?=%20\\$root%20?%3E/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos_Tecnicos/PSA/TDR5.1_Hidrologicos.pdf](http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos_Tecnicos/PSA/TDR5.1_Hidrologicos.pdf?=%20$root%20?%3E/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos_Tecnicos/PSA/TDR5.1_Hidrologicos.pdf) (Consultado: Octubre 21, 2009).
- CONANP. 2001. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote. CONANP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.
- Concha, J. Y., J. C. Alegre y V. Pocomucha. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*:75-82.
- Cortina, H. C. 2007. Usos del suelo y deforestación en Los Altos de Chiapas. Tesis doctoral. UNAM. México D.F.
- Cortina, S. 2006. Survival of the forests and the common property in the highlands of Chiapas, Mexico. The 11th Biennial Conference of the International Association for the Study of Common Property, Bali, Indonesia. http://dlc.dlib.indiana.edu/archive/00001867/00/Cortina_Sergio.pdf (Consultado: Octubre 28, 2019).
- Covalada, S. 2008. Influencia de diferentes impactos antrópicos en la dinámica del carbono y la fertilidad de suelos volcánicos mexicanos, implicaciones sobre el secuestro de carbono. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Palencia, España.
- Covalada, S., F. Paz, J. Gallardo, C. Prat, J. Etchevers y C. Hidalgo. 2007. Teoría de estados y transiciones aplicada a suelos volcánicos sometidos a diferentes manejos I: relación molar (Sio-Sid) /(Alo-Ald). Simposio Carbono Orgánico del Suelo y Calentamiento Global: Perspectivas y Oportunidades de Investigación en Latinoamérica. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Guanajuato, México.
- Danielsen, F., H. Beukema, N.D. Burgess, F. Parish, C. Bruhl, P.F. Donandl, D. Murdiyarsa, B. Phalan, L. Reijnders, M. Struebig and E.B. Fitzherbert. 2009. Biofuel plantations on forested lands: Double jeopardy for biodiversity and climate. *Conservation Biology* 23:348-358.
- de Jong, B. H. J. 2000. Forestry for mitigating the greenhouse effect: An Ecological and Economic Assessment of the Potential of Land Use to Mitigate CO₂ Emissions in the Highlands of Chiapas, Mexico. Tesis doctoral. Wageningen Universiteit. Wageningen, Holanda.
- de Jong, B., F. Rojas, M. Olguín, V. de la Cruz, F. Paz, G. Jiménez y M. A. Castillo. 2010. Establecimiento de una línea base de las emisiones actuales y futuras de Gases de Efecto Invernadero provenientes de Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo. http://www.pmc carbono.org/pmc/biblioteca/doc_socios.php
- de Jong, B., M. Olguín, F. Rojas, V. Maldonado, F. Paz, J. Etchevers, C. O. Cruz y J. A. Argumedo. 2009. Inventario nacional de emisiones de gases invernadero 1990-2006. Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura. Reporte preparado para el Instituto Nacional de Ecología. D.F., México 119 p. http://www.pmc carbono.org/pmc/biblioteca/doc_socios.php
- de Jong, B. H. J., S. Ochoa, M. Castillo, N. Ramírez and M.A. Cairns. 2000. Carbon flux and patterns of land use land cover change in the Selva Lacandona. *Ambio*, 29: 504-511.
- De la Piedra, R. 1997. Evaluación de sistemas de producción orientados al manejo sostenible de las tierras de ladera en La Fraylesca, Chiapas. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- Delgadillo, M. y S. Quechulpa. 2007. Inventario de carbono y caracterización de tres sistemas agroforestales en localidades de los municipios salto de agua, Chilón y Comitán del estado de Chiapas, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- Duarte, A. F. 2010. Manejo forestal comunitario y biodiversidad en Los Altos de Chiapas. Tesis de Maestría. ECOSUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Esquivel, E. 2005. Uso de suelo y almacenamiento de carbono en dos comunidades del municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- Flamenco, A., M. Martínez and O. Masera. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation* 138:131-145.
- Galindo, L., M. González, P. F. Quintana and L. E. García. 2002. Tree composition and structure in disturbed stands with varying dominance by *Pinus* spp. in the highlands of Chiapas, Mexico. *Plant Ecology* 162:259-272.
- Gobierno de la República. 2015. Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México. México
- González-Espinosa, M., N. Ramírez-Marcial, A. Camacho-Cruz, S. C. Holz, J. M. Rey-Benayas y M. R. Parra-Vásquez. 2007. Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: Modelos ecológicos y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80:11-23.
- González, M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Gottingen, C. V. 2005. The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. *Ecology and Development Series* 28.
- Guevara, S., J. Laborde y G. Sánchez. 1998. Are isolated remnant trees in pastures a fragmented canopy?** *Selbyana* 19:34-43
- Guillén, V. J. G., G. Jiménez, J. Nahed y M.L. Soto. 2000. Ganadería indígena en el norte de Chiapas. pp. 210-223. En: L. Hernández (ed). *Historial Ambiental de la Ganadería en México*. Instituto de Ecología, A.C.
- Gullison, R. E. y S. P. Hubell. 1992. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) en el bosque Chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 19:43-56.
- Hernández, J. 2010. Secuestro de carbono en acahuals en fase de regeneración y en pastizales cultivados en la zona de influencia del Parque Nacional Palenque. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- INE-SEMARNAP. 1998. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera El Triunfo. INE. México D.F.
- INE-SEMARNAP. 1999a. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera La Sepultura. INE. México D.F.
- INE-SEMARNAP. 1999b. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada. INE. México D.F.
- INE-SEMARNAP. 2000. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Montes Azules, México. INE. México D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)-CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad)-INE (Instituto Nacional de Ecología). 2008. Ecorregiones Terrestres de México. 1:1,000,000. México.
- IPCC. 2006. Agriculture, forestry and other land use IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.
- Jiménez, G., L. Soto y B. H. J. de Jong. 2010. Sistemas agroforestales y captura de carbono (CO₂) en la región norte de Chiapas, México. ECOSUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Documento no publicado.
- Levy S. I., J. R. Aguirre, M. M. Martínez y A. Durán. 2002. Caracterización del uso tradicional de la flora espontánea en la comunidad lacandona de Lacanhá, Chiapas, México. *Interciencia* 27:512-520.
- López, M., G. Jiménez, B. de Jong, S. Ochoa y J. Nahed. 2001. El sistema ganadero de montaña en la región Norte-tzotzil, Chiapas México. *Veterinaria México* 32:93-102.
- Martínez, G. C. 2009. Análisis de cambio de uso de suelo en zonas cafetaleras de Jitotol y Cacahoatán, Chiapas. Tesis de licenciatura. UNAM. México D.F.
- Marinidou, E. 2009. Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Mendoza, J., E. Karlum and M. Olsson. 2003. Estimations of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management* 177:191-206.
- Merino, L. 1997. El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad. CRIM-UNAM, SEMARNAP y el Consejo Mexicano para la Silvicultura Sostenible. World Resources Institute, Washington, DC. 186 p.
- Monroy, A. 2009. Impacto de sistemas agroforestales sobre el suelo y potencial de regeneración de la vegetación en Chiapas, México. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.

- Morales, T. A. 2010. Carbono en sistemas ganaderos en un paisaje de conservación REBIMA Chiapas, México. Tesis de maestría. ECOSUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Ochoa, S. 2000. El proceso de fragmentación de los bosques en los altos de Chiapas y su efecto sobre la diversidad florística. Tesis doctoral. UNAM. México D.F.
- Ordoñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez y O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover. *Forest Ecology and Management* 225:2074-2084.
- Orihuela, E. 2010. Dinámica de carbono en la selva de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote en el estado de Chiapas. Tesis doctoral en proceso. ECOSUE. Villahermosa, Tabasco.
- Paz, F. 2009. Proyecto Piloto “Una REDD para Chiapas” (Bases Metodológicas y Estrategias de Implementación). Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. http://pmcarbono.org/pmc/biblioteca/doc_socios.php
- Paz, F., C. O. Cruz, J. A. Argumedo, M. I. Marín y J. Etchevers. 2010. Documento de referencia del carbono orgánico en el suelo (COS), en el Estado de Chiapas. Anexo 2 del Informe final consultoría para Conservación Internacional México A.C. 37 p. http://www.pmccarbono.org/pmc/biblioteca/doc_socios.php
- Peeters, L. Y. K., L. Soto, H. Perales, G. Montoya and M. Ishiki. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 95:481-493.
- Ramos, S. G. 2006. Dinámica de la fijación de fósforo y la inhibición de ésta por mejoradores biofísicoquímicos en suelos cafetaleros del Soconusco, Estado de Chiapas.
- Redondo, A. and F. Montagnini. 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232:168-178.
- Rendón, N. 2007. Resultados de monitoreo rápido en las fincas Santa Cruz y Las Nubes. Documento inédito elaborado para La Productora de Cafés Orgánicos de Santa Cruz y Las Nubes.
- Rendón, N. 2009. Informe técnico de línea base en carbono de bosques de transición del ejido Capitán Luis A. Vidal (municipio de Siltepec, Chiapas, México). Informe final de consultoría para el FONCET.
- Reynoso, R. 2005. Estructura, composición florística y diversidad del bosque y cafetales de la reserva de la biósfera el Triunfo, Chiapas, México. Tesis de licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Rico, L. 2008. Análisis de un proyecto de integración de conservación y desarrollo en la reserva de la biósfera de La Sepultura (Chiapas, México). Memoria de diploma de estudios avanzados. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Rojas, J. 2009. Manifestación de impacto ambiental para el establecimiento de: Unidad de manejo para conservación y rehabilitación de los manglares y del ejido Conquista Campesina, Tapachula de Córdoba Ordoñez, Chiapas. PRONATURA-SUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Romero, E. I. 2006. Estructura y composición de los bosques de manglar en el sistema lagunar Carretas-Pereyra, Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas, México. Tesis de licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Romero, Y. 2000. Efecto del tipo de sombra sobre el rendimiento de café, nutrientes del suelo y temperatura ambiental en Chiapas, México. Tesis de Maestría. Ecosur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Roncal, S., L. Soto, J. Castellanos, N. Ramírez y B. H. J. de Jong. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33:202-206.
- Salgado, M. G., G. Ibarra, J. E. Macías y O. López. 2007. Diversidad arbórea en cacaoatales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32:763-768.
- Sánchez, V. J. y G. R. Jarquín (Eds.) 2004. La Frontera Sur. Reflexiones sobre el Soconusco, Chiapas, y sus Problemas Ambientales, Poblacionales y Productivos. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México
- SEMARNAP. 2012. Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones. INECC-SEMARNAT. D. F., México.
- Soto, L., M. Anzueto, J. Mendoza, G. Jiménez and B. H. J de Jong. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78:39-51.
- Stringham, T. K., W. C. Krueger and P. L. Shaver, 2001. States, transitions and thresholds: Further refinement for rangeland applications. Special Report 1024. Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis OR, USA.
- Taylor, N. E. 2010. Diversidad de la vegetación arbórea en la Depresión Central de Chiapas. Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla.
- Tinoco, J. A. 2010. Ordenamiento agroforestal y evaluación de servicios ambientales: estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático en el sureste mexicano. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco.
- UNFCCC. 2014. La convención del cambio climático. Recuperado de http://unfccc.int/porta1_espanol/informacion_basica/la_convencion/items/6196.php. (Consultado: Diciembre 13, 2014).
- UNFCCC. 2015a. The Kyoto Protocol. 10th Anniversary, Timely Reminder Climate Agreements Work. Recuperado de <http://>

newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/kyoto-protocol-10th-anniversary-timely-reminder-climate-agreements-work/#downloads. (Consultado: Diciembre 23, 2015).

UNFCCC. 2015b. The Paris Agreement. Recuperado de http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. (Consultado: Diciembre 23, 2015).

UNFCCC. 2016. Key decisions relevant for reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries (REDD+). Decision Booklet REDD+. Recuperado de http://unfccc.int/land_use_and_climate_change/lulucf/items/6917.php. (Consultado: Noviembre 21, 2016)

Valero, J. 2010. *Jatropha curcas* para la producción de biodiesel en Chiapas: agricultores participantes, tierras empleadas y sustitución de cultivos. Tesis de maestría. ECOSUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.