

# **MODELOS DE ESTADOS Y TRANSICIONES PARA LOS ALMACENES DE CARBONO DE LAS PRINCIPALES REGIONES DE CHIAPAS**

**Reporte de Postdoctorado en COLPOS-ECOSUR**

**Versión 0.8**

**Sara Covaleda**

**Junio 2010**

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2009, México adoptó su Programa Especial de Cambio Climático (PECC), que incluye un conjunto de acciones de adaptación y mitigación del cambio climático a nivel nacional. El programa establece una meta ideal de reducir las emisiones de México en un 20% para 2020 con respecto al escenario de referencia.

En enero de 2010, México aumentó su nivel de compromiso para 2020, de acuerdo con el Apéndice 1 del Acuerdo de Copenhague y ahora aspira a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta el 30% para 2020, siempre y cuando se reciba el suficiente financiamiento y apoyo tecnológico de los países desarrollados. Este compromiso más ambicioso con la reducción de las emisiones a nivel nacional está movilizando en México esfuerzos importantes para identificar oportunidades adicionales de acciones de mitigación costo-efectivas.

En 2006 el sector AFOLU (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 MtCO<sub>2e</sub>) de las emisiones totales del país (De Jong et al., 2009). Por tanto, la reducción de emisiones en el sector AFOLU desempeña una función determinante en el PECC para las metas a corto plazo (hasta 2012) y se espera que el sector forestal continúe participando de manera importante en las acciones subsiguientes hasta 2020.

Una de las metas del PECC en relación a la mitigación de emisiones relacionadas con el avance de la frontera forestal-agropecuaria (sector AFOLU) implica: "Diseñar e implementar un esquema de incentivos para reducir emisiones derivadas de la deforestación y degradación forestal (REDD), durante el periodo 2008-2012". En este sentido México ha adquirido compromisos internacionales desde la presentación de su propuesta al Banco Mundial en 2008 y la aprobación de su R-PP (*Readiness Preparation Proposal*) en 2010.

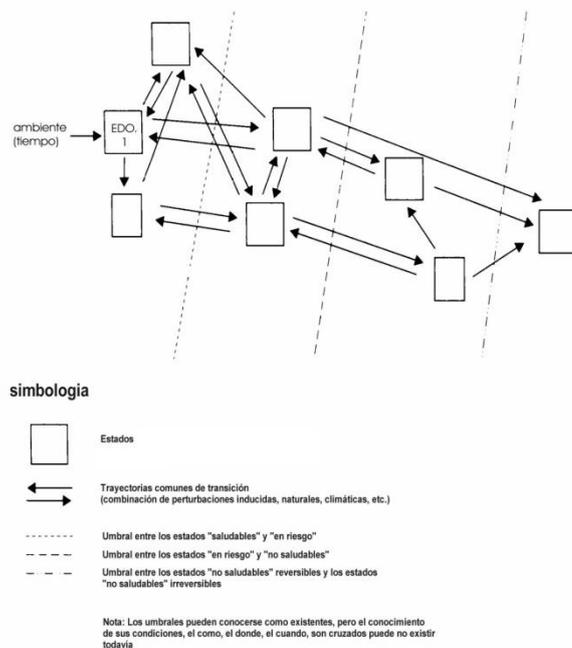
Posteriormente, REDD se convirtió en REDD+ al aceptarse la inclusión de 3 nuevas actividades dentro del marco de REDD: (c) conservación de las reservas de carbono de los bosques; (d) manejo sustentable de los bosques; (e) aumento de las reservas de carbono de los bosques. Esta propuesta de pago por la reducción de emisiones de GEI causadas por la degradación y deforestación está actualmente en el primer plano de las negociaciones internacionales en relación al protocolo post-Kyoto 2012 (*i.e.* COP 16: México 2010) y ha causado grandes expectativas en los países donde la degradación y deforestación de los bosques es importante y difícil de detener, como es el caso de México.

La consideración de solo "bosques" en la estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático sería quedarse con 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 AFOLU, con un sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV) unificado, que sea armónica con los objetivos del PECC, ya que la coyuntura actual 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 METs se componen de 3 elementos: los estados, las transiciones y los umbrales (Fig. 1). Un estado es un complejo reconocible, resistente y resiliente de 2 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).



**Figura 1.** Representación de un modelo de estados y transiciones

Los METs 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 METs 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 C. Los METs 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 METs 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.

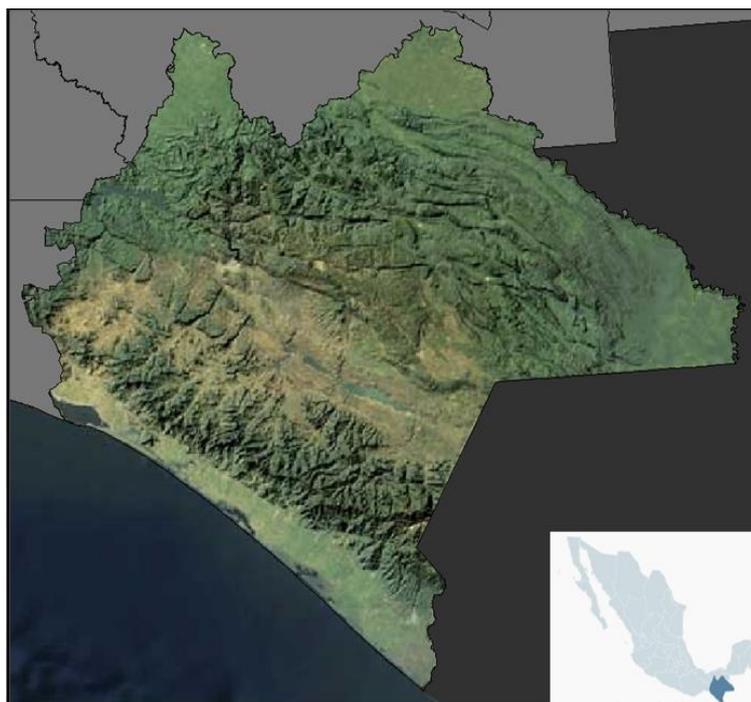
El objetivo de este trabajo es desarrollar METs regionales para el estado de Chiapas, considerando los 5 almacenes de carbono definidos por el IPCC (biomasa aérea, biomasa subterránea, materia muerta, mantillo y suelo). La selección del estado de Chiapas para este fin obedece a que se trata de un estado reconocido por el PMC (Programa Mexicano del Carbono) y el CTC-REDD nacional (Comité técnico consultivo de REDD de México) como piloto para probar diferentes metodologías para la elaboración de escenarios de referencia a nivel detallado (local) y estrategias de MRV.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDIO**

El estado de Chiapas (Fig. 2) 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 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 2.** Localización del estado de Chiapas en la República Mexicana

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1. 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),

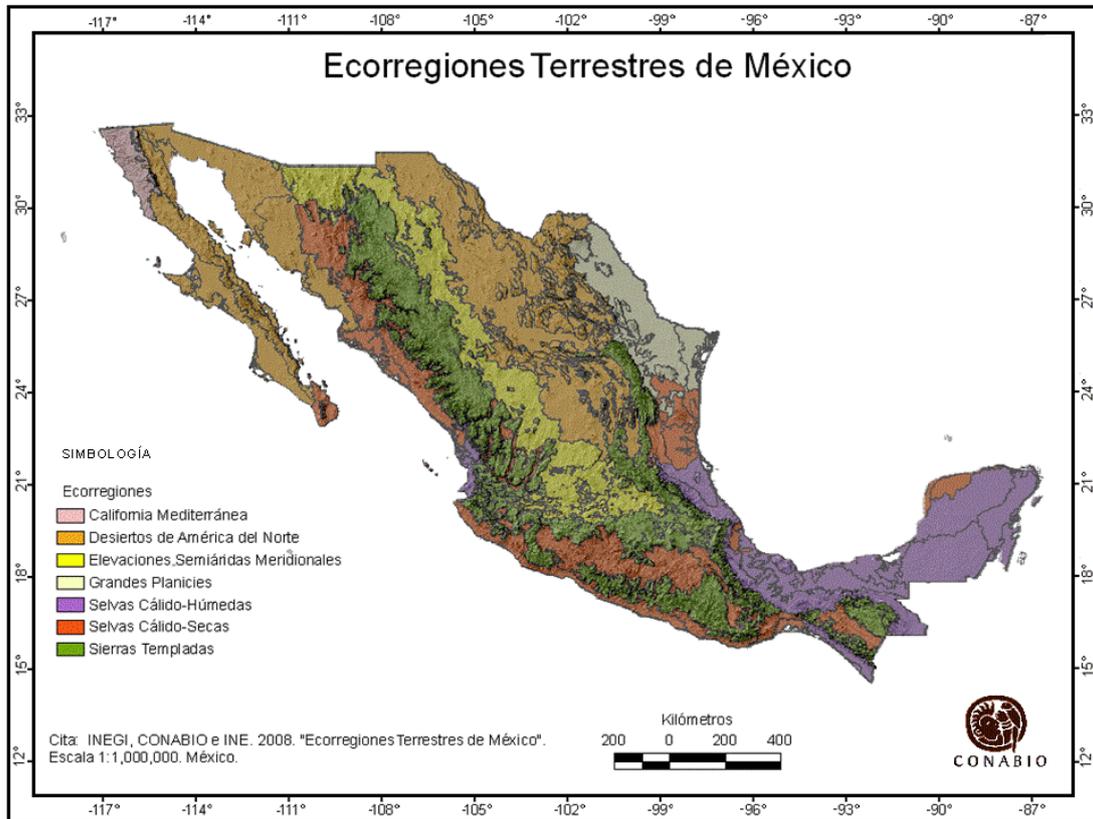
Celedon-Muñiz (2006), CONANP (2001), Cortina (2007), De la Piedra (1997), De Jong (2000), De Jong et al. (2000), Delgadillo y Quechulpa (2007), Duarte (2010), Esquivel (2005), Flamenco et al. (2007), Galindo (2002), González (2008), Hernández (2010), INE-SEMARNAP (1998), INE-SEMARNAP (1999), INE-SEMARNAP (1999b), INE-SEMARNAP (2000), Jimenez et al. (sin publicar), Kötz (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).

Además, se consultaron trabajos realizados en otras regiones como los trabajos 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.

Finalmente, también se consultaron algunos trabajos elaborados en otros países, como los de Concha et al. (2007), Gottingen (2005) y Redondo y Montagnini (2006) con el fin de obtener información sobre cacaotales, plantaciones de palma africana y plantaciones forestales tropicales.

### **2.2.2. Diferenciación de regiones para la construcción de los METs**

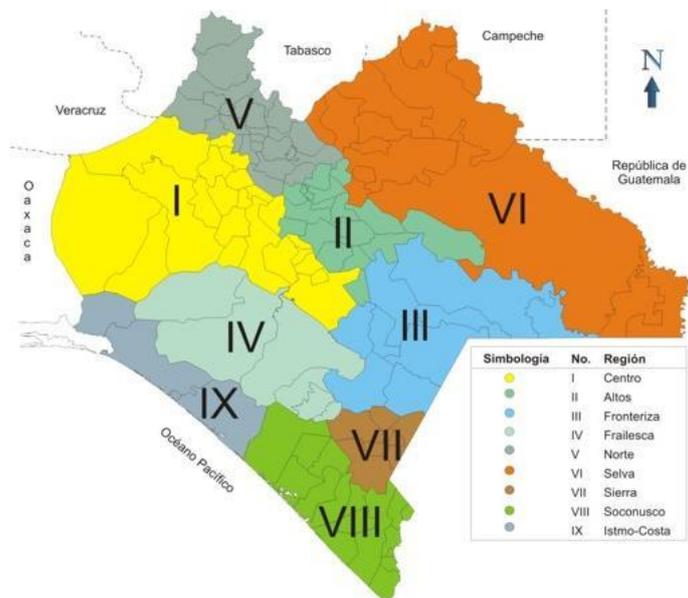
Tras una revisión de la información disponible en cuanto a la regionalización de los procesos de cambio de uso del suelo en Chiapas se analizaron 2 divisiones, una basada en condiciones ambientales y dinámicas ecológicas (Figura 3: mapa de ecorregiones nivel 1; INEGI-CONABIO-INE, 2008) y la otra en características geográficas (Figura 4: regiones fisiográficas), adicionalmente se tuvieron en cuenta otro tipo de consideraciones, como administrativo-económicas (Figura 5; regiones económicas) y culturales.



**Figura 3.** Mapa de las ecorregiones terrestres de México



**Figura 4.** Mapa de las regiones fisiográficas de Chiapas



**Figura 5.** Regiones económicas de Chiapas

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 3 de las 7 ecorregiones en las que se divide México:

- Selvas cálido-húmedas
- Selvas cálido-secas
- Sierras templadas

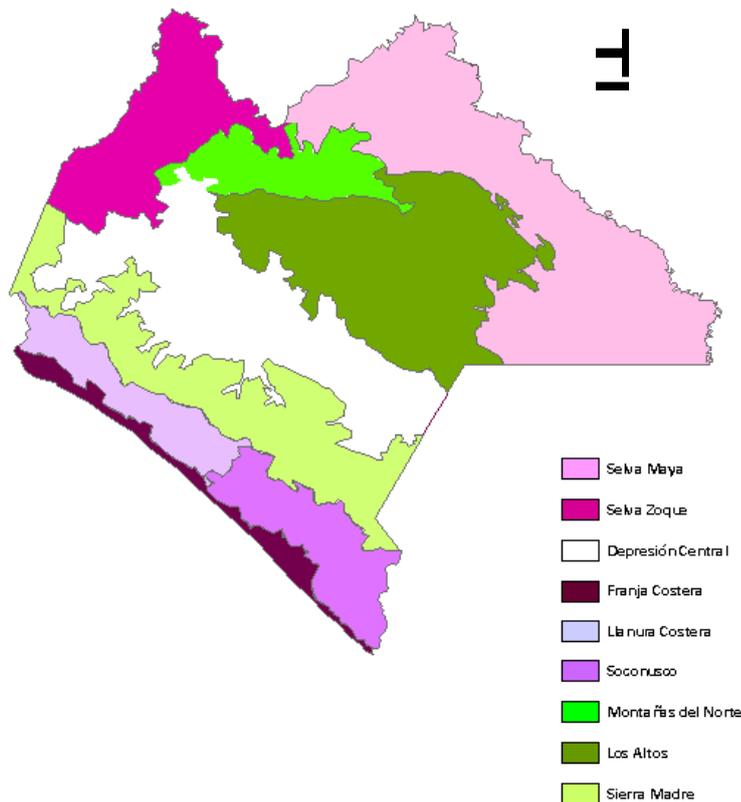
Esta primera división nos permite distinguir 3 unidades geográficas, cada una caracterizada por unos ecosistemas, con procesos ecológicos propios y tipos climáticos diferentes. Las posibilidades de uso de la tierra, tipos de cultivo y rendimientos agrarios, por tanto, también varían.

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. Además, 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 Itsmo-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. En base a lo anterior las regiones consideradas dentro de las selvas cálido-húmedas, fueron:
  - Región Selva Maya
  - Región Selva Zoque
  - Región Llanura Costera
  - Región Soconusco
  - Región 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 3 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 6 se muestra la división regional propuesta para la elaboración de METs 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 vaya generando con los inventarios forestales estatales y trabajos científicos.

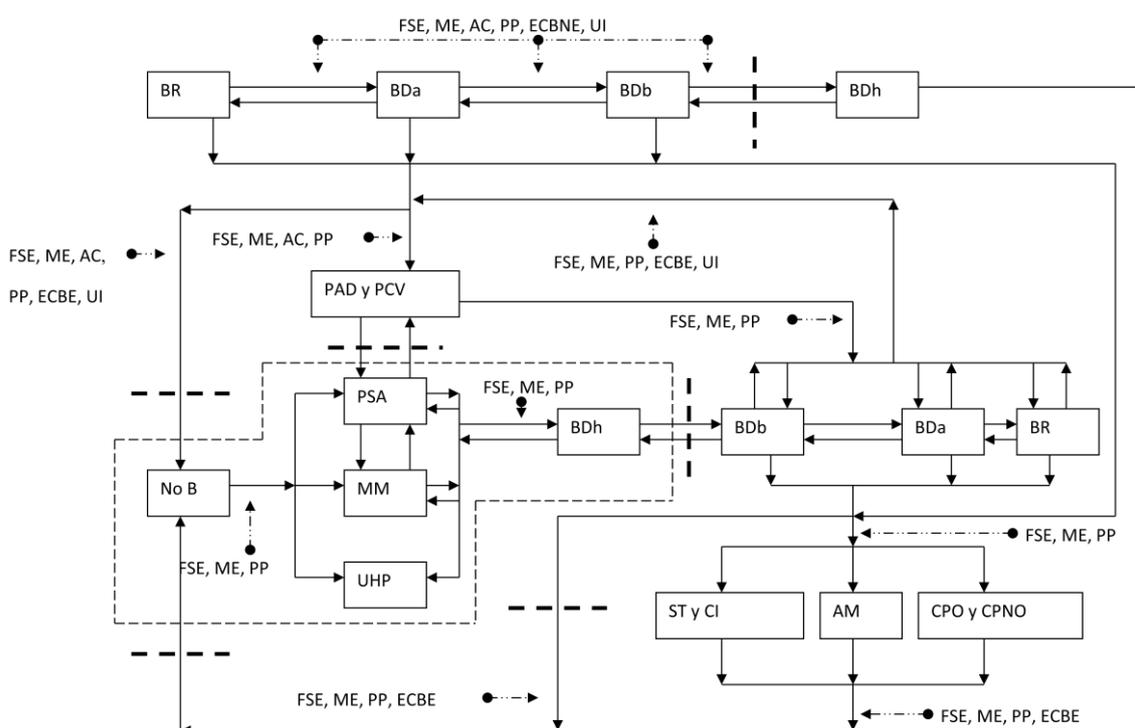


**Figura 6.** Regiones consideradas para la construcción de los METs en el estado de Chiapas

### 2.2.3. 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. Seguidamente se elaboró la representación esquemática de cada MET.

En la Fig. 7 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).



**Figura 7.** Ejemplo de Modelo de Estados y Transiciones para un bosque genérico en Chiapas (Paz, 2009; no publicado).

**ESTADOS:** BR: Bosque en condición sin degradación o de referencia; BDa: Bosque degradado en relación a BR con dominancia arbórea; 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 (caminos, 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

#### **2.2.4. 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 podemos 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, marginalidad, densidad poblacional y ocupación de la población 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, utilizando la información disponible y la consulta a personas clave, se identificaron los factores que afectan a las transiciones entre estados en los METs elaborados.

#### **2.2.5. 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 (en base a la información disponible) para cada uno de los 5 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 la Tabla 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 Fig. 7.

**Tabla 1.** Matriz de estados y transiciones asociados a cambios de los almacenes de C (Mg C ha<sup>-1</sup>)

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	-99	-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

Fuente: Paz (2009)

En el presente 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 la bibliografía revisada 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 5 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. 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 5 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

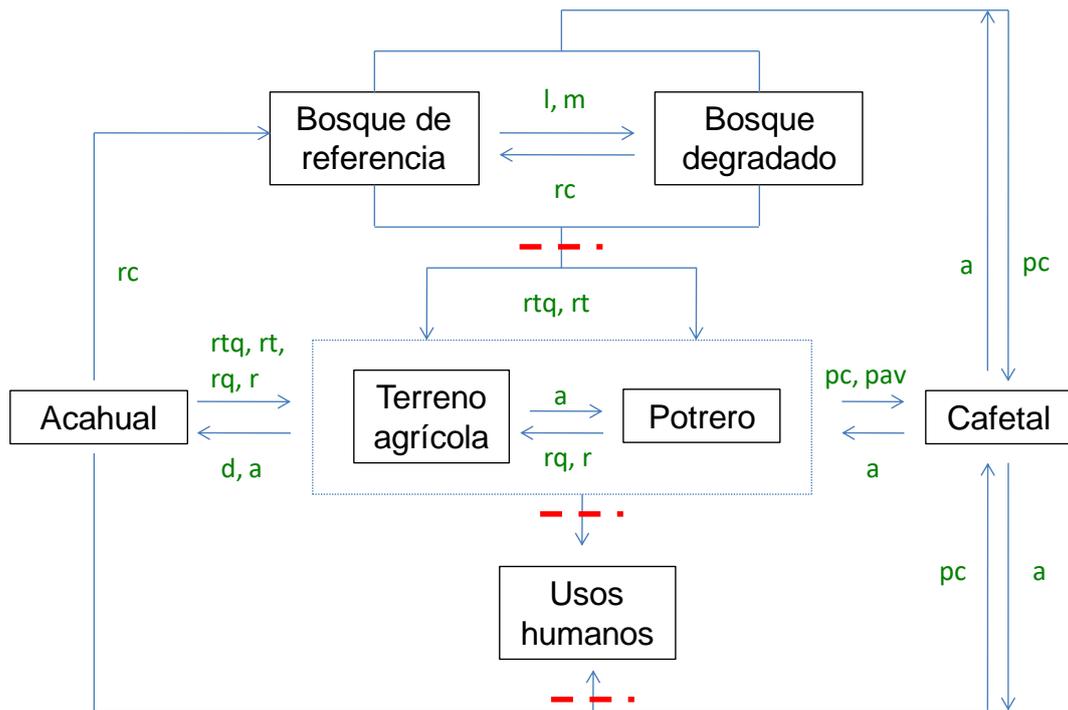
se transformará en un acahual herbáceo, luego arbustivo y posteriormente arbóreo que, si no sufre perturbaciones, por sucesión vegetal llegará a convertirse en un bosque de referencia. Por esta razón se identificaron las transiciones prohibidas entre estados y se consideraron únicamente los cambios en los almacenes de carbono asociados a las transiciones que son posibles entre estados.

Tal como se presenta la matriz de la Tabla 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 anual 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 anual.

#### **2.2.6. Ejemplo**

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



**Figura 8.** MET simplificado para Chiapas

**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.

El MET de la Fig. 8 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 árboles 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 acahuals (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 diferencian 5 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 asignan valores promedio de carbono a cada almacén de cada estado ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ).

Para continuar con el presente ejemplo y no hacerlo demasiado largo, nos centramos únicamente en el reservorio de biomasa aérea. En la Tabla 2 se presentan los valores de carbono en biomasa aérea para cada uno de los estados del modelo.

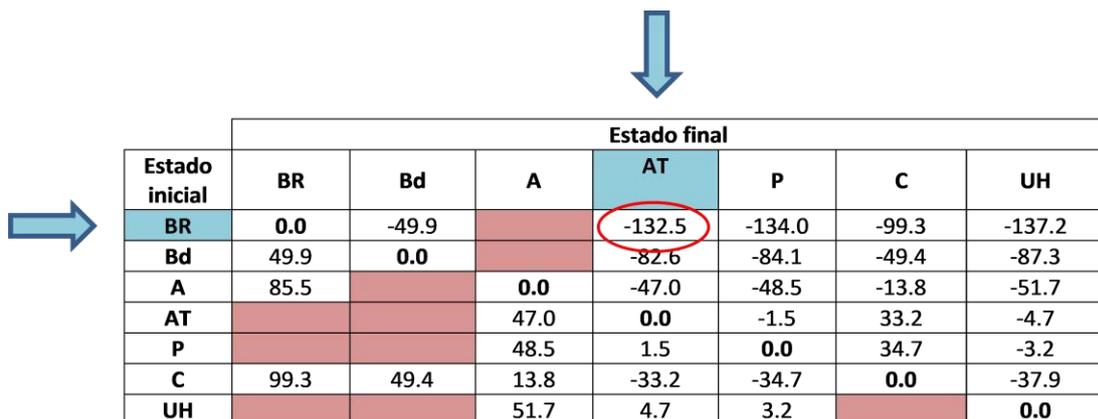
**Tabla 2.** Carbono en la biomasa aérea

Estado	Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )	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 calculan los cambios en el almacén de biomasa aérea que se producirían a consecuencia de la transición de un estado a otro. Puesto que no todas las transiciones entre estados son posibles, se señalan en rojo las transiciones prohibidas.

**Tabla 3.** Matriz de estados y transiciones asociados a cambios en el almacén de biomasa aérea (Mg C ha<sup>-1</sup>) para el MET de la Figura 8.



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

La Tabla 3 nos indica, por ejemplo, que si se corta el bosque de referencia para transformarlo en un terreno agrícola se perderían 132.5 Mg C ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea.

Para los almacenes de carbono de biomasa aérea y suelo, por su importancia se calculan, además, las tasas de cambio anual entre almacenes. Para ello, primero

se determinan los tiempos de paso de un estado a otro (en años) y después, operando las matrices de las Tablas 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 la Tabla 4 y la Tabla 5 nos permite saber cuál va a ser la pérdida o ganancia de carbono media anual durante la transición de un estado a otro.

**Tabla 4.** Matriz de tiempos de paso para la biomasa aérea entre los estados del MET de la Figura 8.




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

La Tabla 4 nos indica, por ejemplo, que un potrero, tras ser abandonado, tardará 10 años en convertirse en un acahual.

**Tabla 5.** Matriz de cambios anuales para la biomasa aérea entre los estados del MET de la Figura 8.




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

Por último, de acuerdo a la Tabla 5, por ejemplo, en el caso de un bosque degradado que se transforma en cafetal se produciría una pérdida de 9.9 Mg C ha<sup>-1</sup> anuales, durante 5 años.

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.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Modelos de estados y transiciones para las distintas regiones de Chiapas**

En esta sección se van a presentar los modelos elaborados para cada región con los estados y transiciones identificados en cada caso, pero antes se muestran los factores identificados, puesto que la mayoría de ellos tienen un área de influencia estatal.

##### **3.1.1. 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 ha 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 a mayor proximidad con 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 unas 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. Así mismo 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 a lo anterior, los factores físicos que pueden incidir en las transiciones entre estados en Chiapas son:

- Apertura de caminos o canales (en el caso de la zona de manglares)
- Cercanía a núcleos de población
- Pendiente del terreno
- 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 de Chiapas. La quema anual de terrenos en la temporada de secas es muy común, el problema es que casi no se toman las precauciones necesarias y estas quemas pueden 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 (Gonzalez-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 Jimenez et al. (sin publicar) 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:

- Huracanes, tormentas tropicales
- Incendios forestales (relacionado con periodos de sequía)
- Tipo de clima
- Tipo de suelo (fertilidad, profundidad)
- 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 relación entre un mayor índice de marginación y una menor superficie de bosques. Por su parte, 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.

Por otra parte 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, si encontró 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. Este mismo autor señala que en ocasiones el aumento en la densidad poblacional si está relacionado 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 el D.F 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, 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 que está viviendo actualmente 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, etc.), de empezar a producirse estas dinámicas se crearía una mayor desigualdad dentro de las comunidades (Dahringer, 2011, comunicación personal).

Por último, según 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.

En relación a los factores socioeconómicos se encontraron:

- Índice de marginación
- Porcentaje de población económicamente activa ocupada en agricultura
- Porcentaje de población rural con trabajo asalariado
- Normas internas de uso de los recursos naturales en los ejidos y comunidades
- Normas de acceso a nuevos usuarios de la tierra
- Porcentaje de tierra de uso común en ejidos y comunidades
- Fenómenos migratorios
- 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) 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 como ProCampo), ganadera (como ProGan) o la recuperación de la cubierta forestal (como ProArbol), 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.

En relación a los cultivos perennes también han existido políticas públicas tendientes 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 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 el 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 ton ha<sup>-1</sup>, debido a que el maíz comercial está 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 existen programas de apoyo a la forestaría 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 conllevan 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, existen 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 OSCs (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:

- Declaración de áreas de reserva natural (restringen ciertos usos como el roza-tumba-quema)
- Programas de gobierno que incentivan la expansión de la agricultura, su intensificación y el establecimiento de cultivos más rentables (ProCampo, Programas de reconversión productiva del IRBIO en Chiapas)
- Políticas de gobierno que incentivan la ganadería (ProGan, programas estatales, programas municipales)
- Políticas de gobierno que incentivan la reforestación (ProArbol)
- Programas de apoyo a la forestería comunitaria (PROCYMAF)
- Existencia de un plan de manejo forestal
- Políticas de gobierno que incentivan el establecimiento de cafetales
- Interrupción súbita de ayudas de los programas de gobierno
- Falta de asistencia técnica y capacitación
- Pago por servicios ambientales (PSA)
- Existencia de organizaciones de productores
- Certificaciones ecológicas/orgánicas
- Precios de las materias primas en los mercados locales e internacionales
- Restricciones para acceder a créditos y recursos financieros para mejorar sus sistemas de producción
- Apoyo de organizaciones de la sociedad civil
- Contaminación de las aguas (Franja costera)
- Obras hidráulicas (Franja costera)

### **3.1.2. Representación gráfica de los METs**

A continuación se muestra la representación gráfica de los METs elaborados para cada región, con los estados y transiciones identificados en cada caso. Los estados, como en las figuras mostradas previamente (Fig. 1, 7 y 8), 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 del apartado 2.2.6, 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.



En la Tabla 6 se muestran los estados (usos del suelo y vegetación) y transiciones asociados a la Fig. 9.

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

<b>Usos del suelo</b>	<b>Transiciones</b>
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)
Plantación 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 40 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 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



En la siguiente tabla (Tabla 7) aparecen los estados y las transiciones identificadas en la región Selva Zoque.

**Tabla 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)
Achual arbóreo (AA)	Recuperación (rc)
Achual arbustivo (Aa)	Roza-tumba-quema (rtq)
Achual herbáceo (Ah)	Roza-tumba (rt)
Achual mejorado (AM)	Roza-quema (rq)
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)
Plantación 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 aun 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



Los estados y las transiciones asociados a este modelo se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 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)

La franja costera abarca una estrecha zona de terreno pegada a la costa cubierta por manglares y otros tipos de vegetación asociados a ecosistemas costeros y acuáticos.

Esta zona es especialmente vulnerable al impacto de los huracanes y tormentas tropicales que llegan a las costas de Chiapas, provocando la tumba de ejemplares y tapando canales de circulación del agua. También tienen gran impacto y provocan cambios en la zona las obras hidráulicas realizadas en los cursos fluviales aguas arriba y el arrastre de sedimentos desde las partes altas de la sierra, como consecuencia de la deforestación y los deslaves. El uso tradicional del manglar como combustible, materia prima para construcción y como postes para encierros rústicos de camarón, por su parte, provoca el saqueo de árboles, constituyendo un impacto para el ecosistema. Todo ello conduce a la degradación de los ecosistemas de mangle, e incluso la muerte del mismo cuando se producen alteraciones en la dinámica hidrológica natural que cambian las condiciones del medio, como la salinización y piritización del agua y el suelo (Rojas, 2009).

La degradación del mangle puede dejar zonas abiertas donde se establecen popales o tulares. Por otra parte, otra de las amenazas en esta zona es la tala y desecación de los ecosistemas de humedal con fines agrícolas y ganaderos.

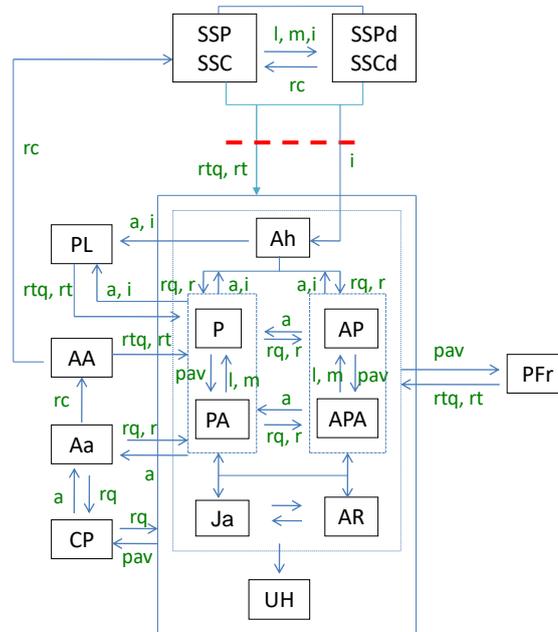
Al igual que en otras regiones, el establecimiento de reservas está contribuyendo a la conservación de los ecosistemas forestales. La reserva de la biósfera La Encrucijada es la más grande ubicada en la zona y protege una extensión de casi 145 mil ha de manglar.

Por último, los palmares, matorrales costeros y la vegetación halófila también tienen presencia en esta franja aunque puesto que su aptitud para fines

agrícolas o ganaderos es menor, la principal transformación que sufren es a usos humanos.

### Llanura Costera

El MET de la región Llanura Costera se presenta en la Figura 12.



**Figura 12.** MET de la Llanura Costera de Chiapas

La Tabla 9 contiene los estados y transiciones identificados en la Llanura Costera.

**Tabla 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)	
Plantación frutales (PFr)	
Usos humanos (UH)	

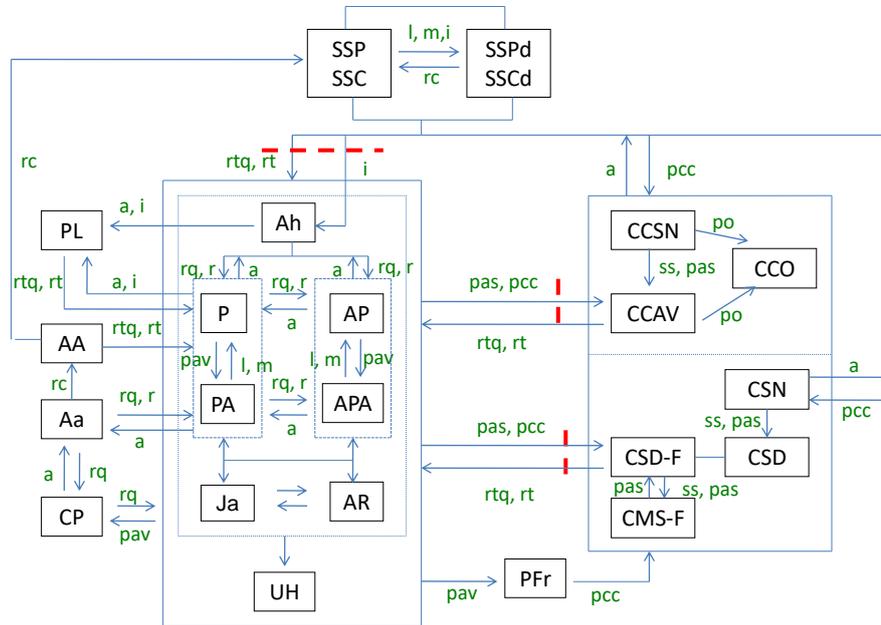
La región de la Llanura Costera se caracteriza porque la vegetación selvática ha sido sustituida, principalmente con fines de producción ganadera extensiva, que se ha visto favorecida frente a la agricultura por las condiciones naturales de inundación de la zona, aun así también es posible encontrar 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.

## Soconusco

El MET desarrollado para la región Soconusco se presenta en la Figura 13 y los estados y transiciones asociados en la Tabla 10.



**Figura 13.** MET de la zona del Soconusco

**Tabla 10.** Usos del suelo y transiciones para la zona del Soconusco

Usos del suelo	Transiciones
Selva subperennifolia (SSP)	Incendio (i)
Selva subperennifolia degradada (SSPd)	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)	Plantación árboles con valor (pav))
Plantación frutales (PFr)	Plantación de cacao(pcc)
Palmar (PL)	Plantación árboles de sombra (pas)
Agricultura permanente (AP)	Selección árboles de sombra (ss)
Agricultura permanente con árboles dispersos (APA)	Producción orgánica (po)
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 partes altas, alrededor de los 1200 m o más y el café se encuentra distribuido en el área entre los 400 y los 1800 m. El cultivo de cacao se encuentra en los alrededores de los 400 m de altura. Las gramíneas y los árboles frutales se cultivan a menos de 400 m y los granos, la caña de azúcar y la palma aceitera se encuentran cultivados en el área entre los 20 y los 200 m. El ajonjolí, la sandía y el melón se cultivan en pequeña escala en las dunas del área costera (Sanchez y Jarquín, 2004).

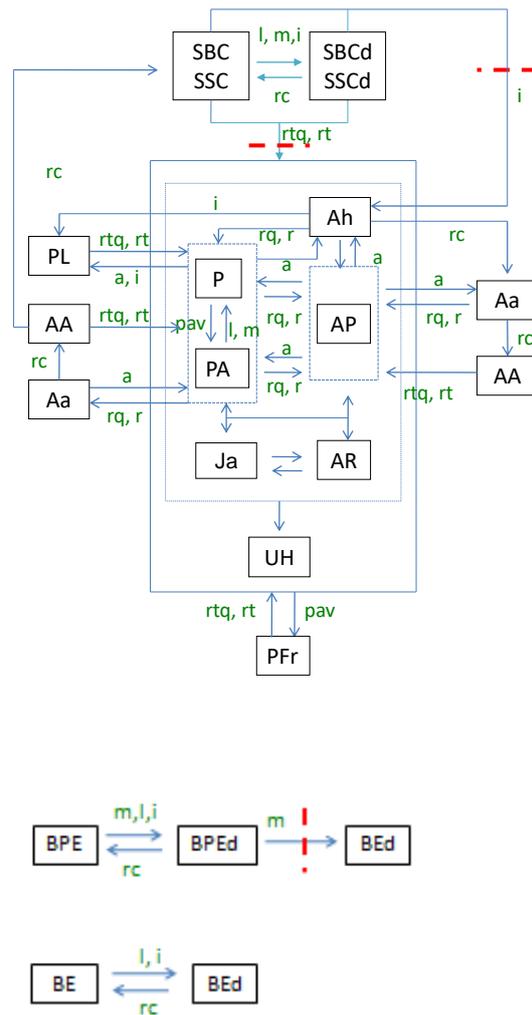
En la región del Soconusco se han establecido grandes áreas de monocultivos fuertemente demandantes de agua como las plantaciones de banano, papaya, mango, sorgo, maíz y soya a lo largo de la ribera de varios ríos que consumen más del 85 % del agua disponible (Sanchez y Jarquín, 2004). El manejo deficiente 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 este último 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.

## MET de la 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 14 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.



**Figura 14.** MET de la Depresión Central de Chiapas

A continuación se muestran los estados y las transiciones incluidos en este modelo (Tabla 11).

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

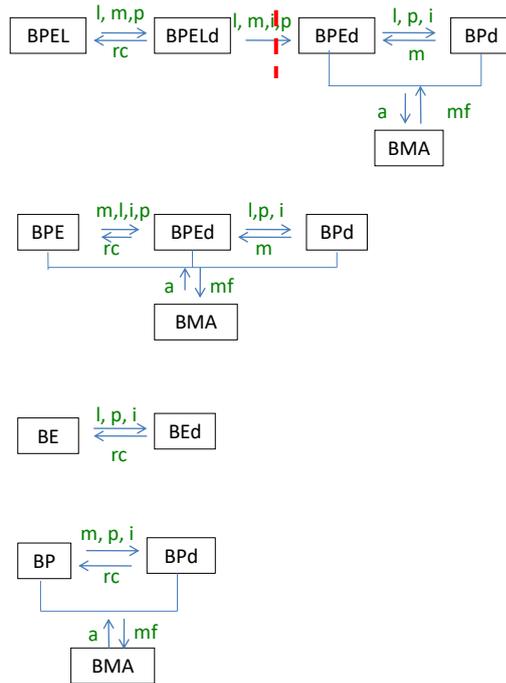
Usos del suelo	Transiciones
Selva baja caducifolia (SBC),	Incendio forestal (i)
Selva baja caducifolia degradada (SBCd)	Extracción leña (l)
Selva baja subcaducifolia (SSC)	Extracción ilegal madera (m)
Selva baja subcaducifolia degradada (SSCd)	Recuperación (rc)
Bosque de pino-encino (BPE)	Roza-tumba-quema (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)	
Plantación frutales (PFr)	
Palmar (PL)	
Usos humanos (UH)	

La Depresión Central está completamente rodeada por áreas montañosas húmedas y boscosas que le proporcionan un completo aislamiento respecto a otras regiones (Breedlove 1981).

En la Depresión Central 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, que eran comunes en la parte sureste de la Depresión han sido sustituidos por plantaciones de caña de azúcar. 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. También hay tierras ejidales en las cuales los campesinos se dedican a la agricultura de subsistencia, utilizando la técnica de la roza-tumba-quema. Estos terrenos agrícolas son abandonados al cabo de 3-4 años, al perder su capacidad productiva y esto puede ocasionar el establecimiento de **áreas de herbazales** de 2-3 metros que al establecerse arrestan la sucesión vegetal, al igual que la petatilla en la selva.





**Figura 15.** MET de la región Montañas del Norte  
**Tabla 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)	
Plantación 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)	
---	--

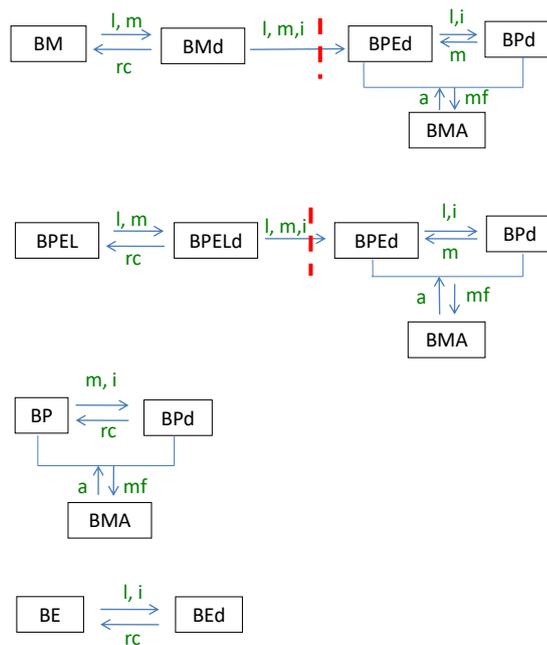
Los sistemas productivos que predominan en la región según Jimenez et al. (sin publicar), son: a) la milpa que se realiza bajo el sistema tradicional de roza-tumba-quema y que se caracteriza por mantener una amplia diversidad de especies nativas asociadas con el maíz cuya producción se destina para el autoconsumo, b) la cafeticultura, 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 semiintensiva, 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 (Jimenez et al., sin publicar). En la época seca, después de la cosecha de maíz (noviembre), el ganado aprovecha los residuos de la cosecha (rastrojeo) 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.





**Figura 16.** MET de la región Altos

Los estados y las transiciones identificados en la región Altos se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 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-liquidambar (BPEL)	Roza-tumba-quema (rtq)
Bosque de pino-encino-liquidambar 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).

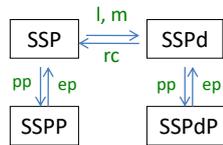
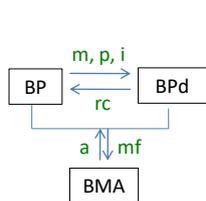
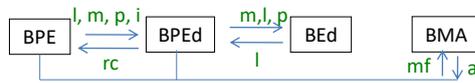
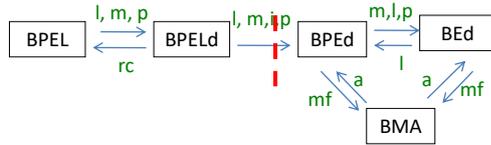
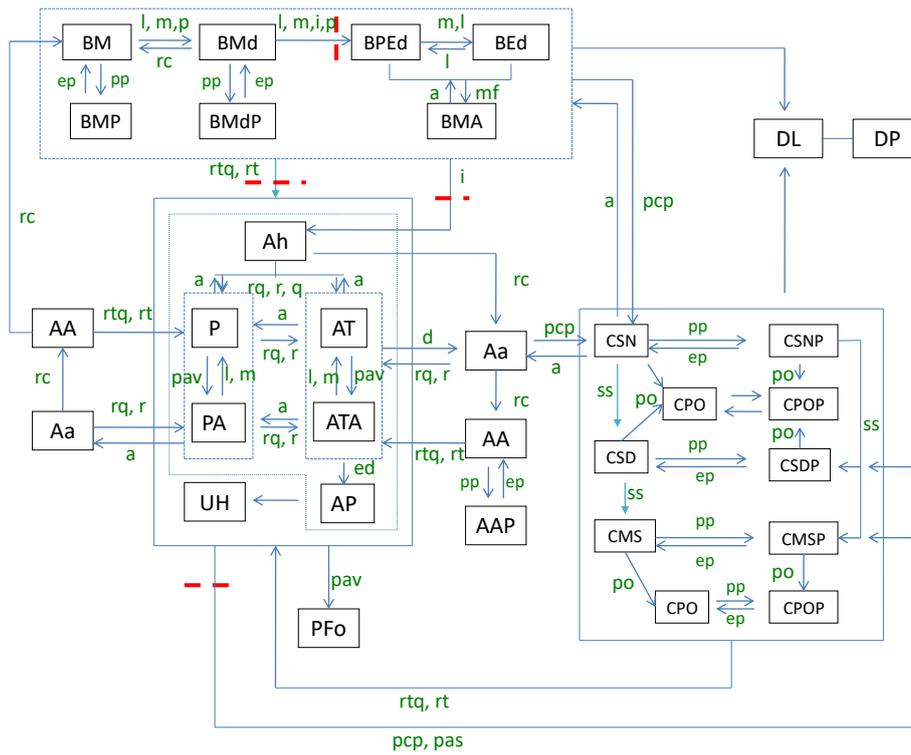
En la región es habitual mantener árboles en las tierras de cultivo y zonas empleadas como potrero. En las milpas abandonadas el pastoreo de ovejas y ganado bovino es común, lo cual puede impedir el crecimiento de árboles y arbustos y conducir al establecimiento de pastizales permanentes.

Los bosques juegan un papel fundamental en la economía local, ya que de él 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 snm.

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 17.



**Figura 17.** MET de la región Sierra Madre de Chiapas  
 En la Tabla 14 se muestran los usos del suelo y las transiciones asociadas al modelo.

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

Usos del suelo	Transiciones
----------------	--------------

<p>Bosque mesófilo (BM)  Bosque mesófilo + palma (BMP)  Bosque mesófilo degradado (BMd)  Bosque mesófilo degradado + palma (BMdP)  Bosque de pino-encino-liquidambar (BPEL)  Bosque de pino-encino –liquidambar degradado (BPELd)  Bosque de pino-encino (BPE)  Bosque de pino-encino degradado (BPEd)  Bosque de pino (BP)  Bosque de pino degradado (BPd)  Bosque de encino (BE)  Bosque de encino degradado (BEd)  Selva mediana subperennifolia (SP)  Selva mediana subperennifolia + palma (SSPP)  Selva mediana subperennifolia degradada (SSPd)  Selva mediana subperennifolia degradada + palma (SSPdP)  Bosque manejado (BMA)  Acahual arbóreo (AA)  Acahual arbóreo+palma (AAP)  Acahual arbustivo (Aa)  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)</p>	<p>Incendio forestal (i)  Extracción leña (l)  Extracción madera (m)  Pastoreo (p)  Recuperación (rc)  Roza-tumba-quema (rtq)  Roza-tumba (rt)  Roza-quema (rq)  Roza (r)  Descanso (d)  Abandono (a)  Eliminación del periodo de descanso (ed)  Manejo forestal (mf)  Plantación árboles con valor (pav)  Plantación de cultivos perennes (pcp)  Plantación árboles de sombra (pas)  Selección árboles de sombra (ss)  Producción orgánica (po)  Plantación palma (pp)  Extracción palma (ep)</p>
--	--

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 en esta zona 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.

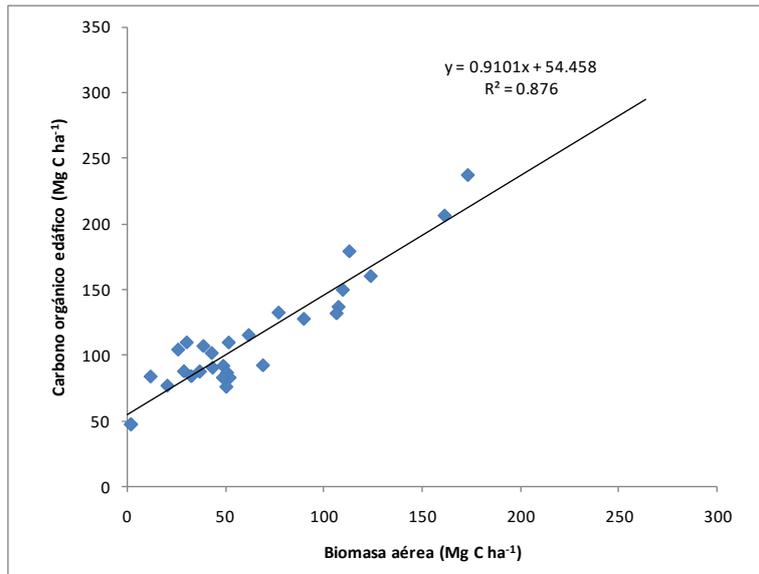
La producción de café también constituye una actividad económica muy importante en la región, conformando un cinturón alrededor de los bosques mesófilos. Estos cafetales tienen un doble papel, ya que a la vez que contienen la expansión de otros usos del suelo sobre los bosques, avanzan lentamente sobre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

### **3.2. Matrices de transición de almacenes de carbono**

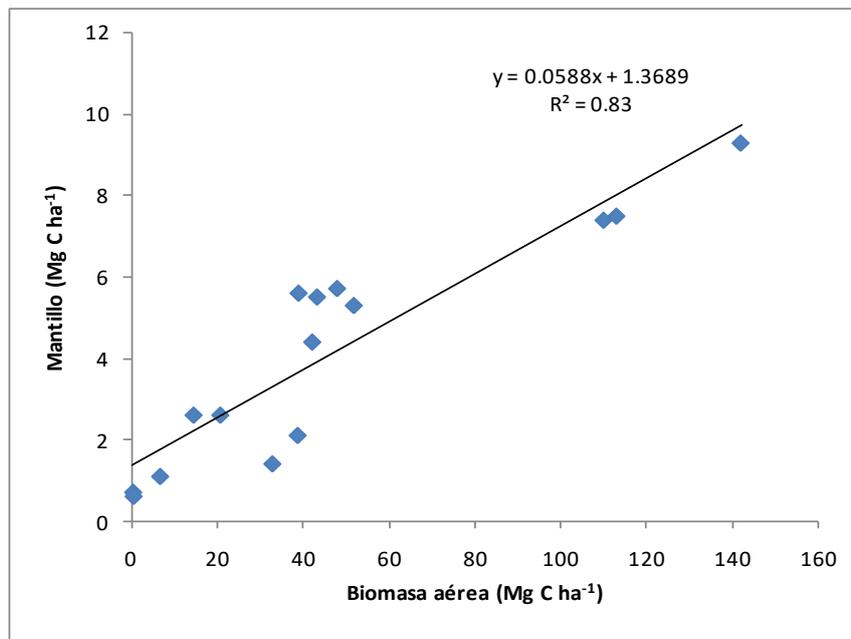
Los valores de carbono asignados a cada almacén de cada uno de los estados incluidos en los METs se muestran en el Anexo 1, donde se encuentran 5 tablas, una por almacén de carbono.

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 18, 19 y 20. En los tres casos la relación entre los almacenes de carbono fue lineal con coeficientes de determinación superiores a 0.8.

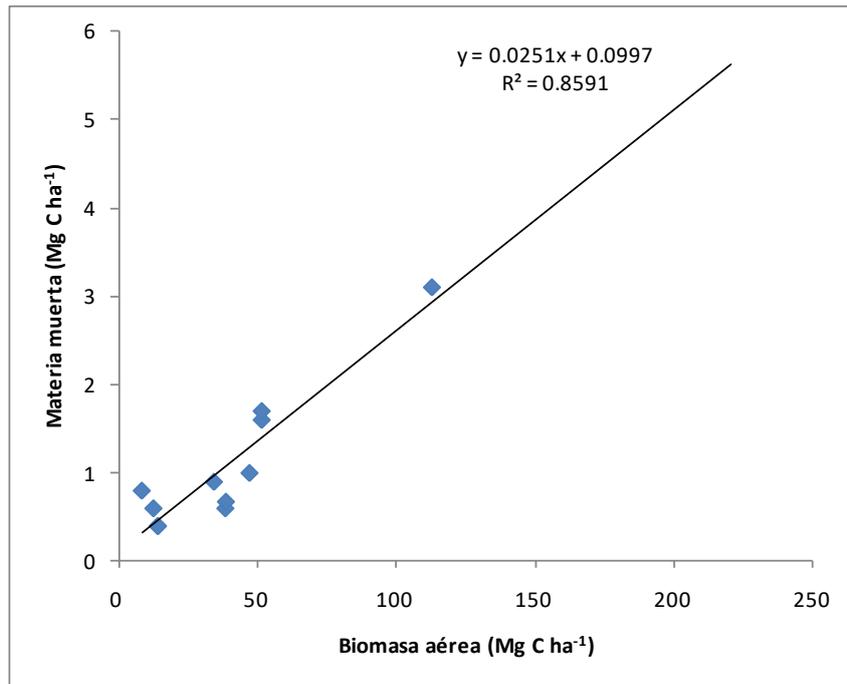
En el caso de la Sierra Madre de Chiapas se encontró que la aportación de la palma al carbono total de los ecosistemas no era significativa, por tanto no se hizo diferencia entre estados con y sin palma.



**Figura 18.** Relación entre el carbono de la biomasa aérea y el carbono orgánico edáfico



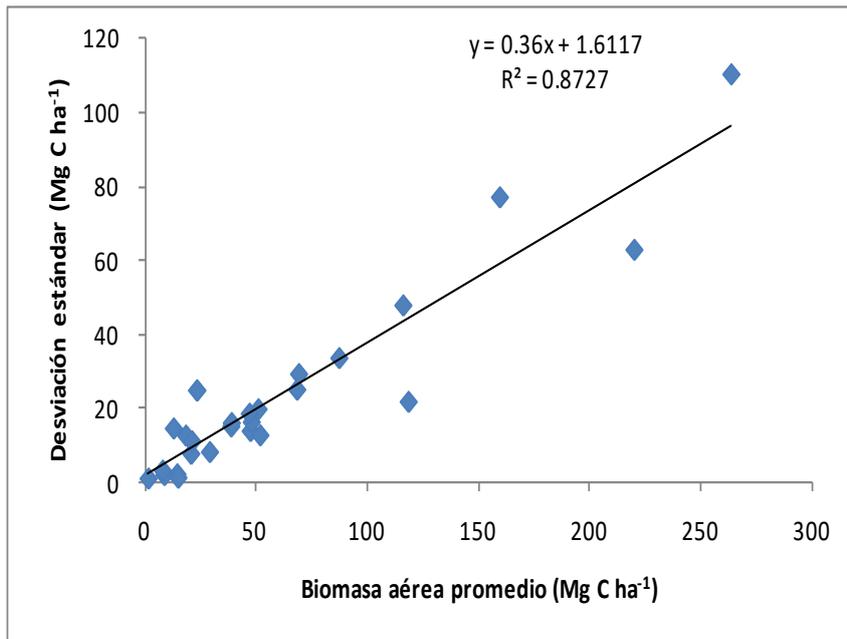
**Figura 19.** Relación entre el carbono de la biomasa aérea y el carbono del mantillo



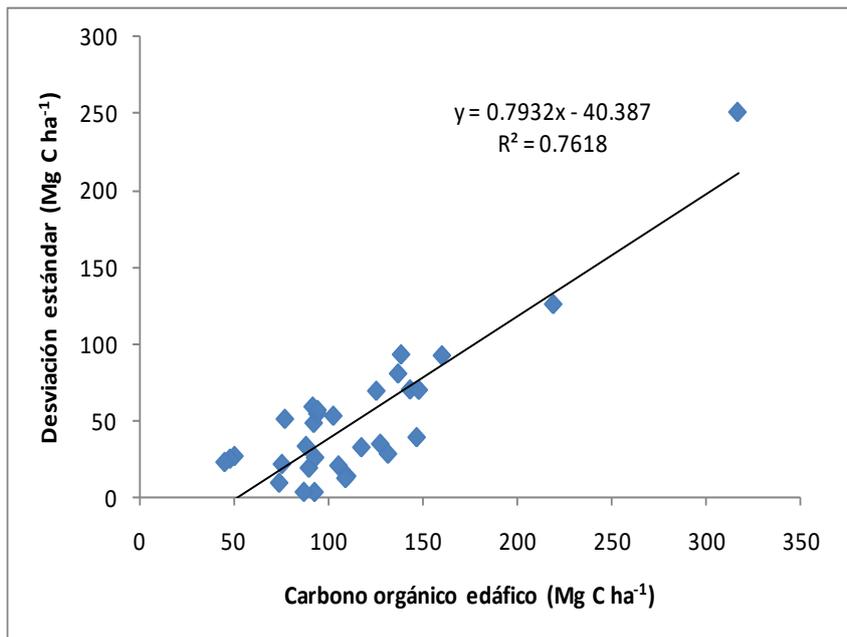
**Figura 20.** Relación entre el carbono de la biomasa aérea y el carbono de la materia muerta

### 3.2.2. Estimación de la incertidumbre

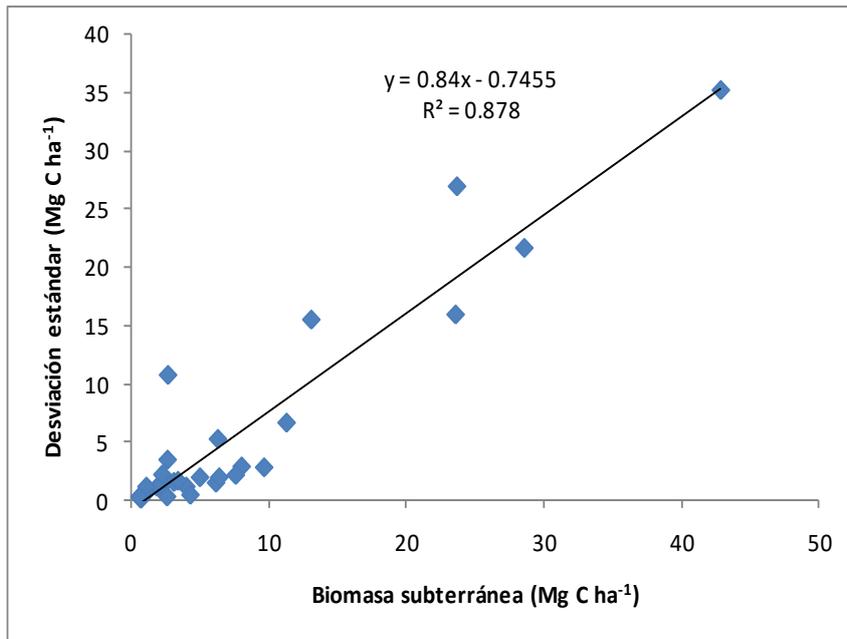
Para analizar la incertidumbre asociada a las estimaciones de los valores de carbono, se analizó la relación entre el promedio y la desviación estándar. Las Figuras 21-25 muestran los resultados obtenidos de este análisis para los 5 almacenes de carbono considerados. Se observa una condición de heterodasticidad (la desviación estándar está linealmente relacionada con el promedio), implicando que mayor contenido de carbono, la varianza será mayor, y viceversa.



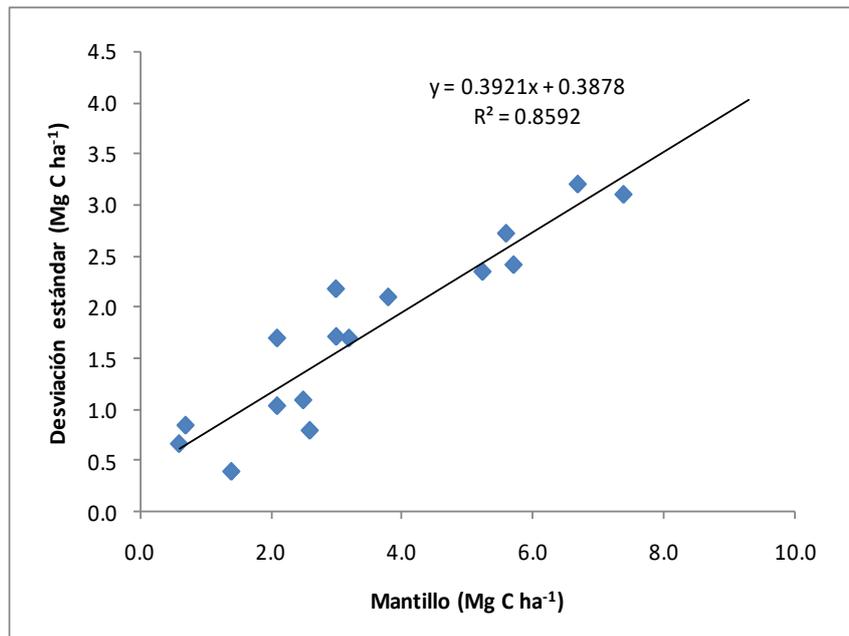
**Figura 21.** Relación entre el promedio de carbono de la biomasa aérea y su desviación estándar



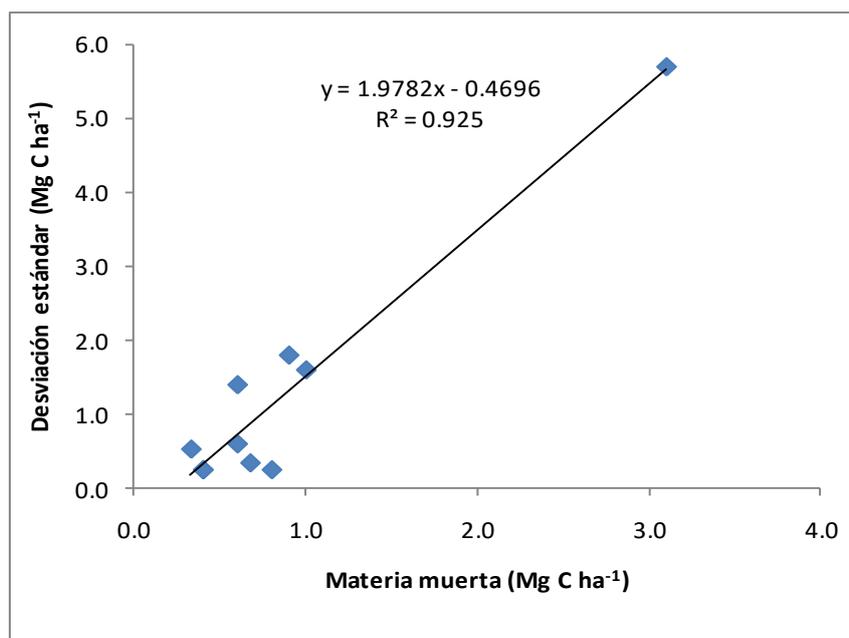
**Figura 22.** Relación entre el carbono orgánico edáfico promedio y su desviación estándar



**Figura 23.** Relación entre el carbono de la biomasa subterránea y su desviación estándar



**Figura 24.** Relación entre el carbono del mantillo y su desviación estándar



**Figura 25.** 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 2-10 (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 5 matrices, una por almacén de carbono. Las matrices de tiempos de paso y tasas de cambio anual se presentan en los anexos 11-19.

#### 4. Consideraciones finales

Tanto los modelos propuestos como las matrices de carbono y tiempos de paso, constituyen primeras aproximaciones que deberán ir ajustándose según se vaya disponiendo de información más precisa generada en inventarios, como el inventario forestal estatal de Chiapas, actualmente en proceso y monitoreos forestales comunitarios, en fase piloto, también en Chiapas. Además, la investigación que se vaya generando sobre nuevas prácticas de manejo y usos del suelo que favorezcan un aprovechamiento sostenible de los recursos podrá también ir incorporándose a estos modelos.

#### 5. Agradecimientos

Agradezco las aportaciones hechas a los modelos por Elsa Esquivel, Adalberto Vargas, Lorena Soto, Guillermo Dahringer, Nathaline Taylor, Javier Rojas,

## 6. Bibliografía

- 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, edo. de México.
- 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, edo. 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 Gutierrez, 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., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11.
- Castillo, M.A., Hellier, A., Tipper, R. y De Jong, B.H.J. 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., Quechulpa, S., Hernández, M.A., Esquivel, E. 2009. Estudio de factibilidad para implementar proyectos forestales de captura de carbono en la comunidad zona Lacandona. Informe final de consultoría para CI.
- Castillo, M.A., De Jong, B.H.J., Maldonado, V., Rojas, F., Olguín, M., de la Cruz, V., Paz, F. y Jimenez, G. 2010. Modelo de deforestación para el estado de Chiapas. Informe final de consultoría para CI.
- 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. En: [HUhttp://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos\\_Tecnicos/PSA/TDRC5.1\\_Hidrologicos.pdf](http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos_Tecnicos/PSA/TDRC5.1_Hidrologicos.pdf)?=%20\$root%20?%3E/docs/secciones/apoyosc/proarbol/Convocatoria2008/Anexos\_Tecnicos/PSA/TDRC5.1\_Hidrologicos.pdf
- CONANP. 2001. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote. CONANP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.
- Concha, J.Y., Alegre, J. C., Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada* 6 (1-2): 75-82.
- Cortina, S. 2006. Survival of the forests and the common property in the highlands of Chiapas, Mexico. Trabajo presentado en 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](http://dlc.dlib.indiana.edu/archive/00001867/00/Cortina_Sergio.pdf)
- Cortina, H.C. 2007. Usos del suelo y deforestación en Los Altos de Chiapas. Tesis doctoral. UNAM. México D.F.
- Covaleda, 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).
- Covaleda, 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.
- Danielsen, F., Beukema, H., Burgess, N.D., Parish, F., Bruhl, C., Donandl, P.F., Murdiyarso, D., Phalan, B., Reijnders, L., Struebig, M. y Fitzherbert, E.B. 2009. Biofuel plantations on forested lands: Double jeopardy for biodiversity and climate. *Conservation Biology* 23 (2): 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 CO<sub>2</sub> Emissions in the Highlands of Chiapas, Mexico. Tesis doctoral. Wageningen Universiteit. Wageningen, Holanda.
- De Jong, B.H.J., Ochoa, S., Castillo, M., Ramírez, N. y Cairns, M.A. 2000. Carbon flux and patterns of land use land cover change in the Selva Lacandona. *Ambio*, 29 (8): 504-511.

- De Jong, B.H.J., Olguín, M., Rojas, F., Maldonado, V., Paz, F., Etchevers, J.D., Cruz, C.O., Argumedo, J.A. 2009. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990 a 2006: Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura. Informe final preparado para el INE.
- De Jong, B.H.J., Rojas, F., Olguín, M., de la Cruz, V., Paz, F., Jiménez, G., Castillo, M.A. 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. Informe final de consultoría para CI.
- 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 Quechulpa, S. 2007. Inventario de carbono y caracterización de tres sistemas agroforestales en localidades de los municipios salto de agua, Chilon 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 Cristobal 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., Martínez, M., Maser, O. 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., González, M., Quintana, P. F., García, L. E. 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.
- Gonzalez-Espinosa, M., Ramirez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A., Holz, S. C., Rey-Benayas, J. M., Parra-Vasquez, M. R. 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. *ochoterrenai* 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., Laborde, J. y Sánchez, G. 1998. Are isolated remnant trees in pastures a fragmented canopy?. *Selbyana* 19(1):34-43
- Guillén, V. J. G., Jiménez, G., Nahed, J., Soto, M. L. 2000. Ganadería indígena en el norte de Chiapas. En: *Historial ambiental de la ganadería en México*. L. Hernández Ed. Instituto de Ecología, A.C. pp: 210-223.
- Gullison, R. E. y Hubell, S. P. 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 acahuales 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.1999. 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.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE). 2008. Ecorregiones terrestres de México. 1:1,000,000. México.
- Jimenez, G., Soto, L. y De Jong, B.H.J. (sin publicar). Sistemas agroforestales y captura de carbono (CO<sub>2</sub>) en la región norte de Chiapas, México. *Ecosur*. San Cristobal de las Casas, Chiapas.
- Levy S. I., Aguirre J. R., Martínez, M. M. y Durán A. 2002. Caracterización del uso tradicional de la flora espontánea en la comunidad lacandona de Lacanhá, Chiapas, México. *Interciencia* 27: 512-520.
- López, M., Jimenez, G., de Jong, B., Ochoa, S. Nahed, J. 2001. El sistema ganadero de montaña en la región Norte-tzotzil, Chiapas México. *Veterinaria México*, 32(2): 93-102.
- Martinez, 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., Karlum, E., Olsson, M. 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 Cristobal 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 fragmentacion 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., De Jong B.H.J., García-Oliva F., Aviña, F.L., Pérez, J.V., Guerrero, G., Martínez, R. y Maser, O. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover. *Forest Ecology & 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. Ecosur. Villahermosa, Tabasco.
- Paz, F. 2009. Proyecto piloto Una REDD para Chiapas (Bases metodológicas y estrategias de implementación). Documento no publicado.
- Paz, F., Cruz, C.O., Argumendo, J.A., Marín, M.I., Etchevers, J.D. 2010. Documento de Referencia para la Estimación del Carbono Orgánico en el Suelo (COS), en el Estado de Chiapas.
- Peeters, L.Y.K., Soto, L., Perales, H., Montoya, G., Ishiki, M. 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, edo. de Chiapas.
- Redondo, A., Montagnini, F. 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 Capitan Luís 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 Gutierrez, 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. Manifiestación 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 Cristobal de las Casas, Chiapas.

Romero, Y. 2000. Efecto del tipo de sombra sobre el rendimiento de café, nutrimentos del suelo y temperatura ambiental en Chiapas, México. Tesis de Maestría. Ecosur. San Cristobal 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, Mexico. Tesis de licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutierrez, Chiapas.

Roncal, S., Soto, L., Castellanos, J., Ramírez, N. y de Jong, B.H.J. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33: 202-206.

Salgado, M.G., Ibarra, G., Macías, J.E., López, O. 2007. Diversidad arbórea en cacaoatales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32 (11): 763-768.

Sánchez, V.J. y Jarquín, G.R. (Ed.).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

Soto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jiménez, G., De Jong, B.H.J. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78: 39-51.

Stringham, T.K., W.C. Krueger, y 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.

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 Cristobal de las Casas, Chiapas.