



**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 (AFOLU 1.1)
Fase 1.**

Informe final julio de 2010

Bernardus H.J. de Jong Ecosur, Coordinador
Vanessa Maldonado Montero, Ecosur
Fabiola Rojas García, Ecosur
Marcela Olguín Alvarez, Ecosur
Verónica de la Cruz Arías, Ecosur
Fernando Paz Pellat, Colpos
Guillermo Jiménez Ferrer, Ecosur
Miguel-Angel Castillo Santiago, Ecosur

Resumen

El sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS) contempla las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por prácticas de manejo de la vegetación (*e.i.* CO₂) y las emisiones generadas por incendios (*e.i.* CO, NH₄, N₂O y NO_x). El cálculo de las emisiones de GEI se realizó con base en las Guías de Buenas Prácticas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (GBP-IPCC 2003). La captura de información sobre estas emisiones se realizó de acuerdo al modulo 5B del software UNFCCC_NAI_IS_132.

A diferencia de los otros sectores que conforman el inventario estatal de emisiones de GEI, el sector USCUSyS presenta problemas en dos órdenes importantes: 1) Las metodologías propuestas por el IPCC no son del todo apropiadas en varios aspectos (*i.e.* las clases de vegetación utilizadas a nivel estatal *vs.* las propuestas en las Guías de Buenas Prácticas); y 2) La falta de estadísticas forestales estatales colectadas en forma regular y sistemática utilizando metodologías consistentes a lo largo del tiempo y manteniendo series históricas. Estas deficiencias han conducido a carencias importantes en los datos de actividad forestal que se requieren para elaborar el inventario de GEI, específicamente en cuanto a la estimación de flujos de GEI en forma dinámica. Sin embargo, se espera que la incertidumbre asociada a las emisiones de este sector se reduzca en un siguiente inventario, dado los esfuerzos que se están realizando a nivel nacional y estatal para el establecimiento de una red de parcelas de monitoreo continuo sobre cambios temporales y espaciales de los reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres.

Categorías de uso de suelo que generan emisiones y remociones significativas

Con base en las recomendaciones del IPCC, se tiene que hacer un análisis de importancia de flujos esperados por actividades realizadas dentro de cada categoría de uso de suelo y los cambios que se observan entre los diferentes usos de suelo. En el Cuadro 1 se indican cuales son los usos iniciales y durante el año de reporte para el cual se han calculado los flujos de gases efecto invernadero para los reservorios biomasa viva y materia orgánica de suelo (BV y MOS respectivamente). No existen datos suficientes para estimar los flujos de GEI en la biomasa muerta (Dead Organic Matter), por lo que se optó por considerar este reservorio en balance (emisiones = remociones).

Cuadro 1. Categorías de reservorios incluidos y excluidos del informe y su razón.

Uso inicial	Uso durante el año de reporte	Biomasa viva	MMS	MOS
Tierras Forestales	Tierras Forestales	X	s.d.	X
Tierras Agrícolas	Tierras Forestales	X	s.d.	X
Praderas	Tierras Forestales	X	s.d.	X
<i>Humedales</i>	<i>Tierras Forestales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Asentamientos</i>	<i>Tierras Forestales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Otras Tierras</i>	<i>Tierras Forestales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tierras Agrícolas</i>	<i>Tierras Agrícolas</i>	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
Tierras Forestales	Tierras Agrícolas	X	s.d.	X
Praderas	Tierras Agrícolas	X	s.d.	s.c.(1)
<i>Humedales</i>	<i>Tierras Agrícolas</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Asentamientos</i>	<i>Tierras Agrícolas</i>	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
<i>Otras Tierras</i>	<i>Tierras Agrícolas</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Praderas</i>	<i>Praderas</i>	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
Tierras Forestales	Praderas	X	s.d.	X
Tierras Agrícolas	Praderas	X	s.d.	s.c.(1)

<i>Humedales</i>	<i>Praderas</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Asentamientos</i>	<i>Praderas</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Otras Tierras</i>	<i>Praderas</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Humedales</i>	<i>Humedales</i>	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
<i>Tierras Forestales</i>	<i>Humedales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tierras Agrícolas</i>	<i>Humedales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Praderas</i>	<i>Humedales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Asentamientos</i>	<i>Humedales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Otras Tierras</i>	<i>Humedales</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Asentamientos</i>	<i>Asentamientos</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tierras Forestales</i>	<i>Asentamientos</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tierras Agrícolas</i>	<i>Asentamientos</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Praderas</i>	<i>Asentamientos</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Humedales</i>	<i>Asentamientos</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Otras Tierras</i>	<i>Asentamientos</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Otras Tierras</i>	<i>Otras Tierras</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tierras Forestales</i>	<i>Otras Tierras</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tierras Agrícolas</i>	<i>Otras Tierras</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Praderas</i>	<i>Otras Tierras</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Humedales</i>	<i>Otras Tierras</i>	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Asentamientos</i>	<i>Otras Tierras</i>	n.s.	n.s.	n.s.

MMS = Materia Muerta sobre el suelo; MOS = Materia Orgánica del suelo; X = incluido en el informe; s.d. = sin datos; n.s. = no significativo; s.c.(1) = sin cambios esperados (Tier 1).

Se generaron estimaciones de emisiones para las siguientes categorías para los años 1990 a 2008:

Uso inicial	Uso durante el año del reporte	Biomasa	Suelo
Tierras Forestales	Tierras Forestales	X	X
Tierras Agrícolas	Tierras Forestales	X	X
Praderas	Tierras Forestales	X	X
Tierras Forestales	Tierras Agrícolas	X	X
Praderas	Tierras Agrícolas	X	X
Tierras Forestales	Praderas	X	X
Tierras Agrícolas	Praderas	X	X

La estimación del inventario de emisiones del sector USCUSyS al año 2008 arroja los siguientes resultados generales:

Emisiones netas de CO₂ por el uso de suelo y cambio en el uso de suelo

El sector USCUSyS aporta un total de emisiones de $23,934 \pm 10,603$ Gg CO₂ por año entre 1990 y 2002 (Figura 1, cuadro 2) y $16,477 \pm 7,299$ Gg CO₂ por año entre 2003 y 2008. Las Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales y los cambios de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Praderas fueron las fuentes más importantes de emisiones durante el periodo de análisis entre 1990 y 2002, y los cambios de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Praderas entre 2003 y 2008.

El ritmo de cambio de uso de suelo hacia cubiertas no forestales, trae aparejado emisiones considerables de carbono producto de la combustión y descomposición de la biomasa vegetal removida de los bosques así como en la pérdida de carbono orgánico de los suelos. Asimismo,

el manejo no sustentable de los bosques en los que la extracción domina sobre la regeneración y la reforestación implica emisiones adicionales de gases de efecto invernadero.

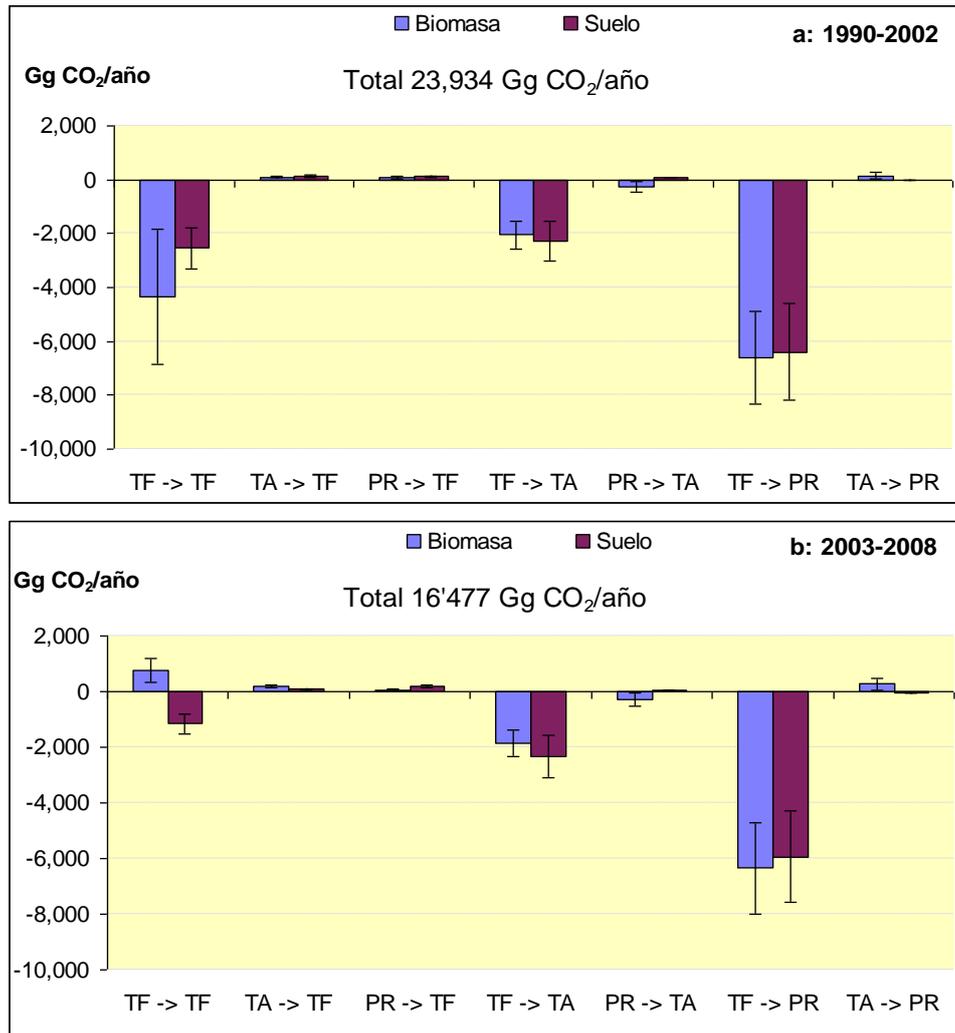


Figura 1. Emisiones y captura anuales en las diferentes categorías de uso de suelo actual y histórico para los períodos 1990-2002 y 2003-2008. Las líneas negras indican la incertidumbre en las estimaciones. Flujos negativos son emisiones, flujos positivos representan captura. TF = Tierras Forestales, TA = Tierras Agrícolas y PR = Praderas.

Los flujos disminuyeron significativamente en el período de 2003 a 2008, debido a que las tasas de cambio de uso de suelo disminuyeron sustancialmente, específicamente la degradación de bosques intactos a bosques degradados (Figura 1b). Para el mismo período se observó un ligero aumento en la categoría Tierras Forestales a Tierras Agrícolas comparado con el período 1990 a 2002.

La incertidumbre en las estimaciones totales es alta, aproximadamente 44% (Cuadro 2). En cuadro 2 se presenta los promedios anuales de flujos y niveles de incertidumbre del período 1990-2002 y 2003-2008 para los reservorios de carbono en biomasa y suelo en Tierras Forestales (TF), Tierras Agrícolas (TA) y Praderas (PR).

Cuadro 2. Flujos anuales de CO₂ y niveles de incertidumbre para los períodos 1990-2002 y 2003-2008 en el sector USCUSyS, separados por biomasa y suelo. Flujos negativos son

emisiones, flujos positivos representan captura. TF = Tierras Forestales, TA = Tierras Agrícolas y PR = Praderas.

1990-2002		
Uso	Biomasa Gg CO₂ / año	Suelo Gg CO₂ / año
TF -> TF	-4,350 (±2,527)	-2,532 (±760)
TA -> TF	98 (±33)	119 (±41)
PR -> TF	80 (±31)	117 (±29)
TF -> TA	-2,043 (±523)	-2,276 (±728)
PR -> TA	-249 (±206)	62 (n.d.)
TF -> PR	-6,600 (±1,716)	-6,399 (±1,792)
TA -> PR	155 (±126)	-38 (n.d.)
Total	-23,934 (±10,603)	
2003-2008		
Uso	Biomasa Gg CO₂ / año	Suelo Gg CO₂ / año
TF -> TF	752 (±436)	-1,165 (±349)
TA -> TF	180 (±61)	211 (±51)
PR -> TF	63 (±24)	83 (±29)
TF -> TA	-1,852 (±474)	-2,340 (±749)
PR -> TA	-281 (±232)	70 (n.d.)
TF -> PR	-6,357 (±1,653)	-5,930 (±1,661)
TA -> PR	263 (±213)	-65 (n.d.)
Total	16,477 (±7,299)	

Emisiones de CO, NH₄, N₂O y NO_x por incendios.

En México, de acuerdo a las cifras oficiales SEMARNAT-CONAFOR, en el periodo de 1990 a 2008 los incendios afectaron en promedio 31,216 hectáreas cada año, de los cuales el 99% son de tipo superficial, con una gran variación anual. Estos incendios generaron emisiones en promedio 652 Gg CO₂-eq de emisiones entre 1990-2002 y 414 Gg CO₂-eq entre 2003-2008.

Se ha estimado que el 50% de las emisiones totales de gases no-CO₂ (CO, NH₄, N₂O y NO_x) del estado provienen de los bosques y que los incendios son una fuente importante que contribuye al total de emisiones en el sector forestal.

Debido a la magnitud del fenómeno, la perturbación por fuego se ha incorporado como una fuente importante de gases de efecto invernadero en el reporte de inventarios. Las Directrices recomendadas por la GBP 2003 incorporan parámetros para calcular las emisiones causadas por incendios forestales.

Conclusiones

Actualmente hay mucho esfuerzo a nivel nacional dirigido a mejorar la calidad y cantidad de información necesaria para realizar los inventarios nacionales y estatales de emisiones de GEI en el sector USCUSyS. Por ejemplo, a nivel nacional a partir del 2009 la CONAFOR incluye la medición de todos los reservorios de C en el Inventario Nacional Forestal y Suelos a nivel nacional para los 25,000 conglomerados establecidos entre 2004 y 2008, lo que permite por primera vez reportar los flujos de C en la materia muerta sobre el suelo y mantillo y estimar con

más exactitud los flujos de C en Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales. También permite establecer una relación directa entre el C en biomasa y C en el suelo. Por otro lado, SEMARNAT está en el proceso de capturar todos los datos de los planes de manejo forestal autorizados en un formato único disponible en la página de internet, con el cual se puede disminuir sustancialmente la incertidumbre en la categoría Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales. SAGARPA está estableciendo un sistema de monitoreo para los pastizales y matorrales, lo que permite cuantificar los flujos de C en Praderas que permanecen como Praderas. Adicionalmente se están estableciendo sistemas semi-automatizados de análisis y clasificación de imágenes satelitales, para generar mapas de cambio de uso de suelo periódicos con alta definición. De tal manera, aunque los niveles de incertidumbre en las estimaciones de emisiones de GEI en el sector USCUSyS son altos, por todo lo mencionado anteriormente se espera que éstos se puedan reducir en el corto plazo.

Tabla de Contenido

Resumen	2
Categorías de uso de suelo que generan emisiones y remociones significativas	2
Emisiones netas de CO ₂ por el uso de suelo y cambio en el uso de suelo.....	3
Emisiones de CO, NH ₄ , N ₂ O y NO _x por incendios.....	5
Conclusiones.....	5
Tabla de Contenido.....	7
Lista de Cuadros	8
Lista de Figuras	10
Glosario	11
Acrónimos	13
1. Introducción.....	14
2. Procedimientos de uso de datos.....	16
2.1. Categorías de uso de suelo que generan emisiones y remociones significativas	16
2.2. Disponibilidad de datos y procedimientos de análisis.....	18
2.3. Emisiones de gases distintos al CO ₂ derivados de incendios	21
2.4. Cambios en el carbono de los suelos minerales	22
2.5. Emisiones de carbono por el manejo intensivo de suelos orgánicos	23
2.6 Cálculos de incertidumbre	23
3. Métodos	24
3.1 Datos de actividad.....	24
3.2 Factores de emisión.....	26
3.3. Calculo de emisión de CO ₂	34
3.4. Emisiones de gases distintos al CO ₂ derivadas de los incendios forestales.....	36
3.5. Incertidumbre de los cálculos de captura y emisión de carbono	38
4. Resultados.....	39
4.1. Actividades	39
4.2. Factores de emisión.....	42
4.3. Emisiones y remociones de CO ₂	45
4.4. Balance de emisiones y remociones de CO ₂ en el sector USCUSyS.	50
4.5. Emisiones de gases distintos al CO ₂ derivados de los incendios reportados.....	51
5. Conclusiones.....	63
5.1 Cambios de Biomasa en Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales	63
5.2 Bióxido de carbono proveniente de los cambios de uso de suelo	63
5.3 Emisiones de gases distintos al CO ₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal	64
5.4 Abandono de las áreas manejadas (PR->TF y TA->TF).....	64
5.5 Cambios en el carbono de los suelos minerales	64
6. Recomendaciones	64
7. Reconocimientos	65
8. Referencias	65
Anexo 1. Extracción de leña	
Anexo 2. Documento de Referencia para la Estimación del Carbono Orgánico en el Suelo (COS), en el Estado de Chiapas.	
Anexo 3. Análisis de incertidumbre nacional	

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Categorías de reservorios incluidos y excluidos del informe y su razón.....	17
Cuadro 2. Homologación de las clases de vegetación de INEGI y CONAFOR con las clases propuestas para la elaboración del Inventario Estatal de GEI (IEGEI) 2008.....	24
Cuadro 3. Fases sucesionales de la vegetación.	25
Cuadro 4. Formatos de las ecuaciones alométricas y su frecuencia.....	27
Cuadro 5. Ecuaciones generales utilizadas para estimar la biomasa de la regeneración natural en bosques y selvas	29
Cuadro 6. Valores de Densidad Básica de la madera para las sub-categorías del reporte.	30
Cuadro 7. Formatos lineales de las ecuaciones de volumen y su frecuencia	31
Cuadro 8. Factores de Expansión de Biomasa estimados	33
Cuadro 9. Factores de Expansión de Biomasa por tipo de vegetación.....	33
Cuadro 10. Áreas utilizadas para la extracción de madera (con permiso, doméstico sin permiso) y leña por tipo de bosque y selva para el período 1990-2002.	39
Cuadro 11. Áreas utilizadas para la extracción de madera (con permiso, doméstico sin permiso) y leña por tipo de bosque y selva para el período 2003-2008.	40
Cuadro 12. Superficies recuperadas ¹ por tipo de bosque entre 1990-2002 y 2003-2008.....	40
Cuadro 13. Superficies degradadas ¹ por tipo de bosque. Para las tasas de degradación periodo 1990-1993 se utilizó la tasa anual de 1993-2002.	40
Cuadro 14. Cambio de Tierras Agrícolas y Praderas a Tierras Forestales en ha/año para los períodos 1990-2002 y 2003-2008.	41
Cuadro 15. Cambio de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Praderas en ha/año para los períodos 1990-2002 y 2003-2008.	41
Cuadro 16. Cambios entre Tierras Agrícolas y Praderas (en ha/año) para los períodos 1990-200 y 2003-2008.	42
Cuadro 17. Densidad de biomasa (en Mg materia seca./ha) en los tipos de vegetación de Chiapas.....	42
Cuadro 18. Carbono orgánico en el suelo (en Mg C/ha) en los tipos de vegetación (intactos y degradadas) de Chiapas.....	43
Cuadro 19. Tasa de extracción anual de madera comercial y sin permiso y leña para cada tipo de bosque de 1990-2002.	43
Cuadro 20. Tasa de extracción anual de madera comercial y sin permiso y leña para cada tipo de bosque de 2003-2008.	44
Cuadro 21. Estimación de consumo de leña anual a nivel estatal para 1990-2008.....	44
Cuadro 22. Tasas de incremento anual en volumen y biomasa para los diferentes tipos de vegetación	45
Cuadro 23. Emisiones (madera, leña, degradación) y remociones (incrementos) de C en los bosques manejados para los períodos 1990-2002 y 2003-2008	45
Cuadro 24. COS inicial (COS _i) factor de régimen (f _{reg}), tiempo de transición (t) y pérdida total de carbono orgánico en el suelo (COS) por año (tC/año) por tipo de bosque por la degradación de bosques en los períodos 1990-2002 y 2003-2008	46

Cuadro 25. Pérdidas y ganancias anuales de C (Kt C/año) en biomasa y COS en TF → TF, por tipo de bosque y emisiones y remociones de CO ₂ (Gg CO ₂ /año), para 1990-2002 y 2003-2008.	46
Cuadro 26. Captura anual de C en PR → TF y TA → en biomasa y suelo para los diferentes tipos de bosque, durante 1990-2002.....	47
Cuadro 27. Captura anual de C en PR → TF y TA → en biomasa y suelo para los diferentes tipos de bosque, durante 1990-2002.....	48
Cuadro 28. Pérdida de C en biomasa y COS anual por la deforestación bruta (TF → TA y TF → PR), por cada tipo de bosque y sus emisiones totales de CO ₂ correspondientes, de 1990-2002. 49	
Cuadro 29. Pérdida de C en biomasa y COS anual por la deforestación bruta (TF → TA y TF → PR), por cada tipo de bosque y sus emisiones totales de CO ₂ correspondientes, de 2003-2008. 49	
Cuadro 30. Pérdida y ganancia anual de C en biomasa y COS para PR → TA y TA → PR, para los años 1990-2002 y 2003-2008.	50
Cuadro 31. Flujos anuales de CO ₂ y niveles de incertidumbre para los períodos 1990-2002 y 2003-2008 en el sector USCUSyS	51
Cuadro 32. Mediana de la cantidad de biomasa (Mg m. s. ha ⁻¹) de cada categoría por Clase de Condición de Combustible (CCC)	52
Cuadro 33. Superficie promedio (ha, ±DE) afectada por incendios forestales para cada tipo de cubierta vegetal	54
Cuadro 34. Factores de consumo por Clase de condición de combustible y grupo de combustible obtenidos del software CONSUME 3	56
Cuadro 35. Factores de consumo por Clase de condición de combustible y grupo de combustible obtenidos del IPCC 2003 y de Kauffman et al. 2003 para bosques tropicales.....	56
Cuadro 36. Factores de emisión (g de m. s. por kilogramo) por tipo de vegetación y especie química.....	57
Cuadro 37. Emisiones anuales promedio de los gases de efecto invernadero (Mg) por tipo de vegetación, para el periodo comprendido entre los años 1990-2008 para el estado de Chiapas. 57	
Cuadro 38. Emisiones totales de GEI derivadas de incendios forestales para el estado de Chiapas, para el periodo de 1990-2008.....	60
Cuadro 39. Emisiones anuales de los gases distintos al CO ₂ (Gg) por tipo de vegetación.....	61

Lista de Figuras

Figura 1. Árbol de decisión para definir el nivel de gradación en cada sección.	16
Figura 2. Distribución de los sitios del Inventario Nacional Forestal de 1992-1994 en el estado de Chiapas.	19
Figura 3. Distribución de los sitios del Inventario Nacional Forestal y de Suelo de 2004 a 2007 en el estado de Chiapas.	20
Figura 4. Distribución de los 245 perfiles de suelo de INEGI (1982-2008).	20
Figura 5. Frecuencia de las ecuaciones de acuerdo al nivel y grupos	28
Figura 6. Frecuencia de los valores de densidad básica de la madera de acuerdo al grupo de especie.	30
Figura 7. Frecuencia de las ecuaciones de volumen de acuerdo al grupo.....	32
Figura 8. Emisiones y captura anuales en las diferentes categorías de uso de suelo actual y histórico para los períodos 1990-2002 y 2003-2008	50
Figura 9. Superficie (ha) total anual afectada por incendios forestales en el estado de Chiapas, correspondiente al periodo 1990-2008.	54
Figura 10. Superficie total (ha) afectada por incendios, de acuerdo a la Clase de condición de combustible, correspondiente al periodo 1990-2008	55
Figura 11. Emisiones totales de gases traza (Mg) por año, para el estado de Chiapas.	58
Figura 12. Emisiones totales de CO ₂ por año, para el estado de Chiapas.....	58
Figura 13. Emisión total de gases traza distintos al CO ₂ (Mg CO ₂ eq)) derivados de los incendios forestales de 1990 a 2008 en el estado de Chiapas.	59
Figura 14. Emisiones totales de CO ₂ (Mg de gases traza) derivados de los incendios forestales de 2005 a 2009 en Chiapas.....	59
Figura 15. Emisiones totales de GEI por tipo de vegetación (%), causadas por incendios forestales en Chiapas	60
Figura 16. Emisiones totales de gases distintos al CO ₂ (Mg de gases) derivados de los incendios forestales de 1990 a 2006.....	61
Figura 17. Emisiones totales de gases distintos al CO ₂ (Mg de gases) derivados de los incendios forestales, por año.	62

Glosario

Aprovechamiento. Es la parte comercial de la tala destinada a la elaboración productos ó al consumo directo.

Árbol de Decisiones – Diagrama de Flujo que propone como primer paso el GPUGM para determinar la metodología a aplicar de acuerdo a los parámetros requeridos por la propia metodología.

Biomasa. En su sentido más amplio el término incluye toda la materia viva existente en un instante de tiempo en la Tierra. La biomasa energética también se define como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Cualquier tipo de biomasa tiene en común con el resto el hecho de provenir en última instancia de la fotosíntesis vegetal.

Bosques. Para este reporte se partió de los lineamientos elaborados por el Panel Intergubernamental sobre cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; IPCC 2003). Se definió bosque a la comunidad dominada por árboles o plantas leñosas con un tronco bien definido, con alturas mínimas de 2-4 m, con una superficie mínima de 1ha y con una cobertura arbórea del 30% (Ver cuadro 1 dentro del reporte). Geográficamente se diferenciaron en bosques tropicales y bosques templados.

Cambio de uso de suelo. A los cambios que sufre la superficie terrestre, debido principalmente a la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamiento humanos e industriales. Es decir, a las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal (SEMARNAT 2005).

Cobertura. Este término se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos del terreno y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre éste. La cobertura como elemento del paisaje puede derivarse de ambientes naturales, como producto de la evolución ecológica (bosques, selvas, matorrales, etc.) o a partir de ambientes que han sido producidos y mantenidos por el hombre, como pueden ser los cultivos, las ciudades, las presas, etc. (López G, 1999)

CO₂ equivalente. Dióxido de carbono equivalente en términos de efecto de invernadero.

Dasimetría. Se ocupa de la medición de los árboles, de la determinación del volumen de los bosques y de los crecimientos de los árboles y bosques y de las cuestiones relacionadas con la estimación métrica y cubicación de la masa forestal, entendida como conjunto de árboles que conviven en un espacio común

Datos de actividad. Datos acerca de la magnitud de aquellas actividades humanas que resulten en emisiones/remociones durante un periodo de tiempo (*e.g.* extensión afectada, sistemas de manejo, enclado, uso de fertilizantes).

Deforestación. Es la transformación de tierras forestales a no-forestales debido a la actividad humana directa o inducida.

Factor de emisión. (Emission Factor en inglés) cantidad de emisiones por unidad de masa de fuente generadora. Coeficiente que relaciona los datos de actividad con la cantidad del compuesto químico que produce la emisión. Los factores de emisión/remoción comúnmente se basan en muestras de mediciones que son promediadas para ser representativos de la tasa de emisión o de remoción bajo determinados niveles de actividad y condiciones de operación.

Factor de remoción. Tasa de captación de carbono atmosférico por los sistemas terrestres y su captura en la biomasa y el suelo.

Fuente. Cualquier proceso o actividad que libere en la atmósfera gases de efecto invernadero (tales como el CO₂ y el CH₄). Un almacén de carbono puede ser fuente liberadora de carbono a la atmósfera si recibe menos carbono que el que emite.

Incremento volumétrico. Medida en metros cúbicos rollo total, de la velocidad de producción total de madera (por árboles, rodales o estratos), basada en el volumen de madera producida en un periodo dado.

Incremento medio anual. El promedio anual del incremento total.

Información de las actividades – (Activity Data en inglés) información de las fuentes que dan lugar a los gases efecto invernadero.

Leña. Toda aquella madera que conserva su estructura original y cuya combustión intencional puede aprovecharse como fuente directa o indirecta de energía.

Plantación forestal comercial. El establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización;

Reforestación. Conversión por actividad humana directa de terrenos no boscosos en terrenos forestales mediante plantación, siembra o fomento antropogénico de semilleros naturales en superficies donde antiguamente hubo bosques, pero que actualmente están deforestadas.

Residuos Peligrosos. Residuos generados en y por la industria que requieren tratamientos específicos como la incineración a altas temperaturas para su disposición o confinamiento controlado, para evitar riesgos de salud y contaminación irreversible del medio ambiente.

Revegetación. Es el incremento de los almacenes de carbono debido a actividad humana directa o inducida a través del establecimiento de vegetación que cubre un área mínima de 0.05ha.

Software del IPCC. Programa de cálculo en Excel proporcionado por el IPCC para sistematizar y facilitar la elaboración de los inventarios de GEI.

Sumidero. Cualquier proceso, actividad o mecanismo que remueva gases de invernadero (como el CO₂) de la atmósfera. Un almacén determinado puede ser sumidero de carbono atmosférico si, durante un lapso, fluye más carbono atmosférico hacia su interior que el que se libera a la atmósfera.

Tala. Volumen en pie de todos los árboles vivos o muertos, medidos a un diámetro mínimo especificado a la altura del pecho que se cortan durante el periodo de referencia, incluidas todas las partes de los árboles.

Uso de suelo. Se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (Vink, 1975). Es una descripción de la función o el propósito para el cual la tierra será usada. (LUC 2000)

Acrónimos

BDS. Biomasa subterránea
BDFE. Base de datos de factores de emisión
BEF. Factor de expansión de biomasa
BSS. Biomasa sobre el suelo
C. Carbono
CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR. Comisión Nacional Forestal
COS. Carbono orgánico del suelo
DA. Datos de actividad
D IPCC 1996R. Directrices del IPCC versión Revisada 1996
FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FE. Factor de emisión
FR. Factor de remoción
FCF-UANL. Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma de Nuevo
GEI. Gases de Efecto Invernadero por sus siglas en inglés GHG
GBP2003. Guía de las Buenas Prácticas para el Sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques 2003
GPGUM – Por sus siglas en inglés y significa Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre, conjunto de instrucciones propuestas por el IPCC para elaborar los inventarios de GEI para reducir al máximo las incertidumbres de los resultados de los mismos.
HAC. Arcillas de alta actividad (High Activity Clay)
INE. Instituto Nacional de Ecología
INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INF. Inventario Nacional Forestal 1992-1994
INFyS Inventario Nacional Forestal 2004-2009
IPCC. Panel Intergubernamental del Cambio Climático
LAC. Arcillas de baja actividad (Low Activity Clay)
MOD. Materia orgánica en descomposición
N. Nitrógeno
NAI. No Anexo I
OBP2005. Orientación de las Buenas Prácticas 2005
IPCC. Panel Intergubernamental de Cambio Climático ó IPCC por sus siglas en inglés.
PRODEPLAN. Programa de Plantaciones Forestales Comerciales
PROFEP. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
PRONARE. Programa Nacional de Reforestación
QA/QC - Quality Assurance/ Quality Control, actividades propuestas para asegurar la calidad y el control de la misma, consistentes en la revisión y comparación de factores de emisión, metodologías e información de las actividades.
SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER. Secretaría de Energía.
USCUSyS. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques
UV. Universidad de Veracruz.
WISDOM (en inglés). Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping

1. Introducción

Uno de los temas de cambio global que hoy forma parte de las agendas gubernamentales de las naciones, es el del cambio climático. Las predicciones sobre sus impactos al ambiente y a las sociedades humanas, ha motivado la creación de marcos de cooperación internacional para estimar con mayor precisión, por ejemplo, el nivel actual de las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero y su posible evolución futura.

México ha hecho un esfuerzo constante por actualizar su Inventario Nacional de Gases de Efecto invernadero (GEI) y cumplir con sus compromisos internacionales como una Parte de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. Hasta el momento, el país ha realizado cuatro inventarios nacionales de GEI, basados en la metodología de la Guía versión revisada 1996 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Brown et al, 1996) y Guías de Buenas Prácticas del 2003 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (GBP-IPCC 2003). El más reciente inventario nacional de emisiones de GEI del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS) utilizó como años de referencia el período entre 1993 y 2006, con estimaciones de emisiones expresados en Gg CO₂ por año correspondientes a este período.

El presente inventario de emisiones de GEI, sector USCUSyS, es el primero que se realiza en el Estado de Chiapas y es de los primeros que se elaboran en el país a esta escala. En este inventario se ha considerado el periodo de emisiones de 1990 a 2008, utilizando como base de trabajo el GBP2003 y modulo 5B del software UNFCCC_NAI_IS_132.

Los análisis de los resultados en los inventarios de emisiones de GEI a nivel nacional ubican al sector USCUSyS como el segundo en importancia después del energético. Datos de la Cuarta Comunicación Nacional señalan que el sector USCUSyS aporta el 14% (89 Gg CO₂) del total de emisiones nacionales estimadas. Asimismo, varios estudios han indicado que la situación actual es reversible y que, bajo políticas apropiadas, los bosques en México tienen un gran potencial para convertirse en “sumideros netos” de carbono. Bajo esta perspectiva, el manejo silvícola y la reforestación de los bosques se presentan como opciones de corto y mediano plazo en la mitigación del cambio climático (Sheinbaum y Masera, 2000). Contar con un inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero confiable es una condición insustituible en este camino.

El sector USCUSyS es un caso particular a nivel nacional y estatal, a diferencia de los otros sectores que conforman el inventario, por presentar problemas en dos órdenes importantes; 1) Las metodologías propuestas por el IPCC son inapropiadas en varios aspectos (*i.e.* las clases de vegetación utilizadas *vs.* las propuestas en la GBP2003), y 2) en el país no existía una cultura que permitiera mantener estadísticas forestales utilizando metodologías consistentes a lo largo del tiempo y manteniendo series históricas. Estas deficiencias han conducido a carencias importantes y falta de credibilidad en los datos de actividad forestal que se requieren para elaborar el inventario de GEI.

Los problemas señalados han ocasionado que los inventarios de GEI del sector forestal se hayan realizado aplicando el Nivel de Gradación o Tier (en inglés) más general (Nivel 1). Esto implicó utilizar muchas simplificaciones en la clasificación de la vegetación, en los parámetros asociados a las emisiones de GEI y el uso de valores por defecto de la literatura internacional.

Afortunadamente hoy en día México cuenta con una base de información suficiente y confiable para ir mejorando las estimaciones de GEI a nivel nacional y estatal. Específicamente, el presente estudio plantea la elaboración del Inventario Estatal para el sector USCUSyS utilizando el Nivel de Gradación entre 2 y 3 del IPCC, por lo cual se han definido 5 actividades principales:

1. Estandarizar las clasificaciones de vegetación y uso del suelo a nivel histórico en el Estado de Chiapas y adaptarlas a los requisitos del IPCC.
2. Determinar el grado de deforestación por tipo de vegetación para el periodo 1990-

2008 a través de la revisión de datos nacionales y del Estado de Chiapas.

3. Actualizar los parámetros biofísicos relacionados con el carbono, tales como la biomasa (arriba y debajo del suelo), contenido de carbono en los suelos forestales, factores de expansión, datos de incrementos de biomasa, entre otros parámetros
4. Actualizar las series históricas y bases de datos sobre producción y consumo de productos forestales y actividades de manejo forestal y reforestación
5. Adaptar la metodología del IPCC a las condiciones particulares del Estado de Chiapas

Para conseguir los objetivos indicados se conjuntó un equipo interdisciplinario integrado por investigadores y técnicos de dos instituciones académicas y gubernamentales del país con amplia experiencia en el tema de inventarios de gases de efecto invernadero y aspectos relacionados con la captura y emisiones de estos gases en los ecosistemas forestales.

2. Procedimientos de uso de datos

En cada categoría de actividad o factor de emisión se aplicó un árbol de decisión simple (Figura 1) para determinar el nivel de gradación de la sección correspondiente. En cada sección se explican los datos disponibles y cuáles factores por defecto se utilizaron.

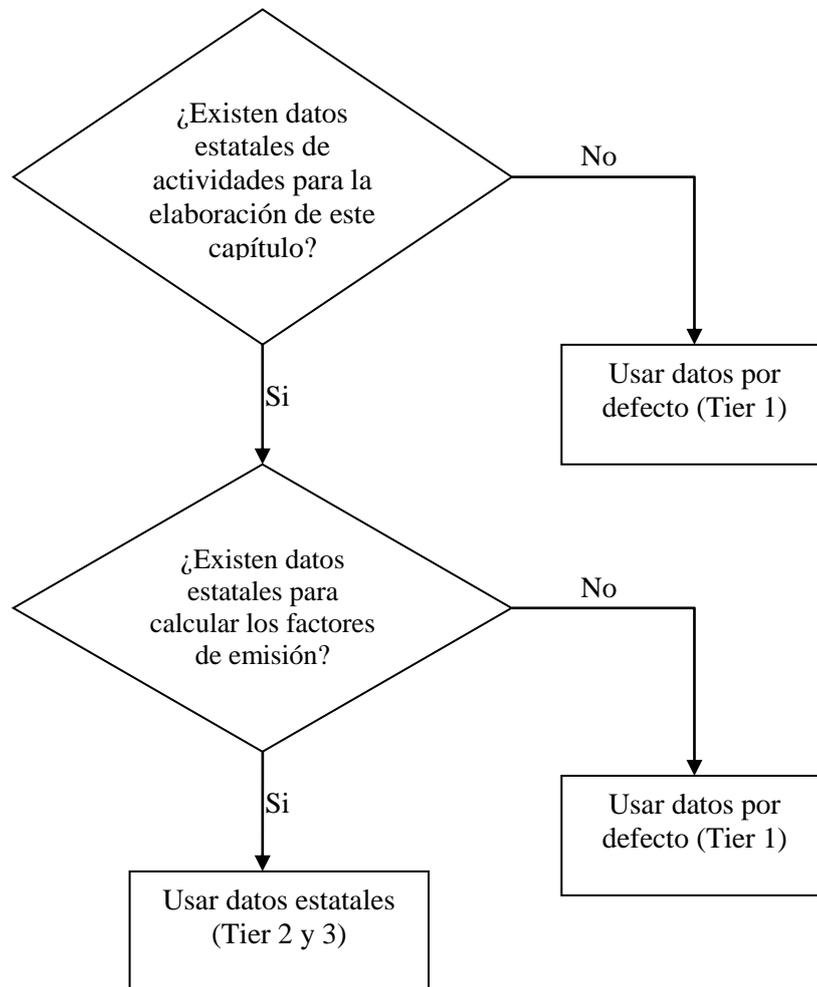


Figura 1. Árbol de decisión para definir el nivel de gradación en cada sección.

2.1. Categorías de uso de suelo que generan emisiones y remociones significativas

De acuerdo a las recomendaciones del IPCC, se tiene que hacer un análisis de importancia de flujos esperados por actividades realizadas dentro cada categoría de uso de suelo y los cambios que se observan entre los diferentes usos de suelo. En el Cuadro 1 se indican los usos iniciales y los usos durante el año de reporte para los cuales se han calculado los flujos de GEI en los reservorios de biomasa viva, materia muerta sobre el suelo y materia orgánica de suelo (Biomasa Viva, MMS y MOS respectivamente).

Cuadro 1. Categorías de reservorios incluidos y excluidos del informe y su razón.

Uso inicial	Uso durante el año de reporte	Biomasa viva	MMS	MOS
Tierras Forestales	Tierras Forestales	X	s.d.	X
Tierras Agrícolas	Tierras Forestales	X	s.d.	X
Praderas	Tierras Forestales	X	s.d.	X
Humedales	Tierras Forestales	n.s.	n.s.	n.s.
Asentamientos	Tierras Forestales	n.s.	n.s.	n.s.
Otras Tierras	Tierras Forestales	n.s.	n.s.	n.s.
Tierras Agrícolas	Tierras Agrícolas	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
Tierras Forestales	Tierras Agrícolas	X	s.d.	X
Praderas	Tierras Agrícolas	X	s.d.	X
Humedales	Tierras Agrícolas	n.s.	n.s.	n.s.
Asentamientos	Tierras Agrícolas	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
Otras Tierras	Tierras Agrícolas	n.s.	n.s.	n.s.
Praderas	Praderas	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
Tierras Forestales	Praderas	X	s.d.	X
Tierras Agrícolas	Praderas	X	s.d.	X
Humedales	Praderas	n.s.	n.s.	n.s.
Asentamientos	Praderas	n.s.	n.s.	n.s.
Otras Tierras	Praderas	n.s.	n.s.	n.s.
Humedales	Humedales	s.c.(1)	s.d.	s.c.(1)
Tierras Forestales	Humedales	n.s.	n.s.	n.s.
Tierras Agrícolas	Humedales	n.s.	n.s.	n.s.
Praderas	Humedales	n.s.	n.s.	n.s.
Asentamientos	Humedales	n.s.	n.s.	n.s.
Otras Tierras	Humedales	n.s.	n.s.	n.s.
Asentamientos	Asentamientos	n.s.	n.s.	n.s.
Tierras Forestales	Asentamientos	n.s.	n.s.	n.s.
Tierras Agrícolas	Asentamientos	n.s.	n.s.	n.s.
Praderas	Asentamientos	n.s.	n.s.	n.s.
Humedales	Asentamientos	n.s.	n.s.	n.s.
Otras Tierras	Asentamientos	n.s.	n.s.	n.s.
Otras Tierras	Otras Tierras	n.s.	n.s.	n.s.
Tierras Forestales	Otras Tierras	n.s.	n.s.	n.s.
Tierras Agrícolas	Otras Tierras	n.s.	n.s.	n.s.
Praderas	Otras Tierras	n.s.	n.s.	n.s.
Humedales	Otras Tierras	n.s.	n.s.	n.s.
Asentamientos	Otras Tierras	n.s.	n.s.	n.s.

MMS = Materia Muerta sobre el Suelo; MOS = Materia Orgánica del Suelo; X = incluido en el informe;

s.d. = sin datos; n.s. = no significativo; s.c.(1) = sin cambios esperados (Tier 1). No existen datos suficientes para estimar los flujos de GEI en la biomasa muerta sobre el suelo (Dead Organic Matter), por lo que se optó por considerar este reservorio en balance (emisiones = remociones).

Los procesos de deforestación (Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Tierras Forestales a Praderas) y degradación de los bosques por efecto de las actividades humanas constituyen una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en México (Masera *et al.*, 1997). No obstante, los bosques en México tienen un gran potencial para convertirse en “captoreos netos” de carbono mediante apropiadas políticas de apoyo, y la implementación de técnicas silvícolas que mejoren su producción. Bajo esta perspectiva, el manejo silvícola y la reforestación (Praderas a Tierras Forestales y Tierras Agrícolas a Tierras Forestales) de los bosques se presentan como opciones de corto y mediano plazo en la mitigación del cambio climático (Sheinbaum y Masera, 2000). Para la aplicación del árbol de decisión, se contó con los siguientes datos de actividad y factores de emisión:

Datos de actividad: estadísticos de aprovechamientos silvícolas a nivel estatal por tipo de bosques y especies aprovechadas más importantes, para los años de 1990 hasta 2008. También se cuenta con datos estatales sobre superficies reforestadas (1993-2006) y plantaciones comerciales (1997-2006). Se tienen estimaciones del consumo de leña a nivel estatal y proyecciones de ello para los años 1990 a 2008, con base en un análisis con el software Wisdom y censos poblacionales de 1990, 1995, 2000 y 2005. Las estimaciones de cambios de uso de suelo se derivaron de la comparación de los mapas de uso de suelo y vegetación de INEGI, años 1993, 2002, 2007. Los procesos de cambio incluidos en el informe son:

Degradación de Bosques	Bosque intacto → Bosque degradado
Recuperación de Bosques	Bosque degradado → Bosque intacto
Deforestación	Bosque intacto o degradado → Tierras Agrícolas o Praderas
Regeneración natural	Tierras Agrícolas o Praderas → Bosque intacto o degradado
Cambios en no-bosque	Tierras Agrícolas ← → Praderas

Se estiman la captura y la emisión de carbono derivadas del manejo silvícola de bosques y de otros tipos de vegetación en Chiapas, incluyendo una estimación de la tala sin permiso (doméstico y comercial). También se estiman las emisiones de carbono derivadas de la extracción de leña. Todas aquellas áreas que no cambian y se mantienen en el tiempo con su actual uso de suelo, no se incorporan al cálculo de flujos. Se asume que la absorción de carbono es igual a la emisión por lo que no hay cambios en los reservorios en estos sitios (IPCC, 1996), con excepción de Tierras Forestales que se mantienen como Tierras Forestales.

Factores de emisión: A partir de datos de inventarios nacionales forestales (SARH 1992-1994; CONAFOR 2004-2008) se estimaron incrementos de biomasa para los tipos de bosques y selvas del Estado de Chiapas. Se generó una base de ecuaciones alométricas para convertir la información dasométrica de los inventarios a estimaciones de biomasa y volumen. Las estimaciones sirvieron a su vez para calcular factores de expansión a nivel de especie (22 especies) y rodal (10 comunidades forestales). El contenido de carbono en biomasa se calculó mediante un valor por defecto. Por lo anterior, el nivel de gradación de este capítulo es entre 2 y 3, con algunos factores por defecto (nivel 1).

2.2. Disponibilidad de datos y procedimientos de análisis

En México, el cambio de uso de suelo es la segunda fuente más importante de emisiones de GEI a la atmósfera (Sheinbaum y Masera, 2000; SEMARNAT-INE, 2001). En general, el análisis del cambio en el uso de suelo y su efecto sobre las emisiones de GEI a la atmósfera se asocia a una tasa de conversión de la cubierta vegetal. Sin embargo, el impacto sobre estos flujos también depende de la dirección con la que ocurra el proceso de conversión. Lo anterior es importante, pues mientras el proceso de deforestación significa por lo regular una pérdida abrupta de la biomasa viva, la transición de vegetación secundaria a vegetación primaria es un proceso lento, que depende de la tasa de incremento y acumulación de la biomasa.

En esta sección se describen los datos disponibles y procedimientos de análisis para cada categoría de uso de suelo, de acuerdo con el Cuadro 1.

Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales (TF a TF)

Datos de actividad: Se tienen disponibles los mapas digitales de uso de suelo y vegetación de INEGI para los años 1993, 2002 y 2007, con los cuales se generaron matrices de cambio de uso de suelo entre todas las clases distinguidas. Para la reagrupación de clases de uso de suelo *sensu* INEGI, se utilizó el sistema de agrupación desarrollado por CONAFOR para sus reportes ante la FAO sobre la dinámica de uso de suelo; esto con el fin de tener congruencia entre los reportes

ante UN-FAO y UN-FCCC. Se proyectaron los cambios anuales de 1993-2002 hacia atrás para estimar los cambios entre 1990-1993 y para estimar el cambio entre 2007-2008 se utilizó como referencia el cambio anual observado entre 2002-2007. Las superficies de bosques bajo manejo incluyen áreas de manejo forestal, áreas propensas a extracción sin permiso y leña, áreas en fase de degradación y en fase de recuperación.

Factores de emisión: Se cuenta con datos de muestreos forestales realizados en 1992-1994 (Figura 2), con aproximadamente 1,300 sitios distribuidos en todas las clases de uso de suelo del Estado (SARH, 1994) y datos de muestreos realizados entre 2004 y 2007 (Figura 3), con cerca de 1,000 conglomerados distribuidos en todas las clases de uso de suelo del Estado (CONAFOR, 2008). Adicionalmente se cuenta con una base de datos de 245 perfiles de suelo con información sobre la densidad de carbono colectados en los últimos 30 años por INEGI (Figura 4). Para calcular volumen de madera, biomasa aérea y subterránea se usaron ecuaciones alométricas nacionales y estatales publicadas en la literatura. Se calcularon densidades de biomasa y carbono orgánico en el suelo (COS) para cada tipo de vegetación intacto y estado de degradación que presenta cambios en el tiempo en el estado. Para los bosques en proceso de degradación, recuperación y con manejo de madera industrial, sin permisos y producción de leña se utilizó la metodología de ganancias - pérdidas, para el cual las ganancias fueron calculados a partir de las estimaciones de incrementos y las pérdidas por las tasas de extracción de madera industrial, sin permiso y leña y para las áreas de bosques en fase de degradación se estimaron las emisiones a partir de la diferencia en biomasa y COS de bosques intactos y bosques degradados. Para calcular el contenido de carbono se usó un factor por defecto.

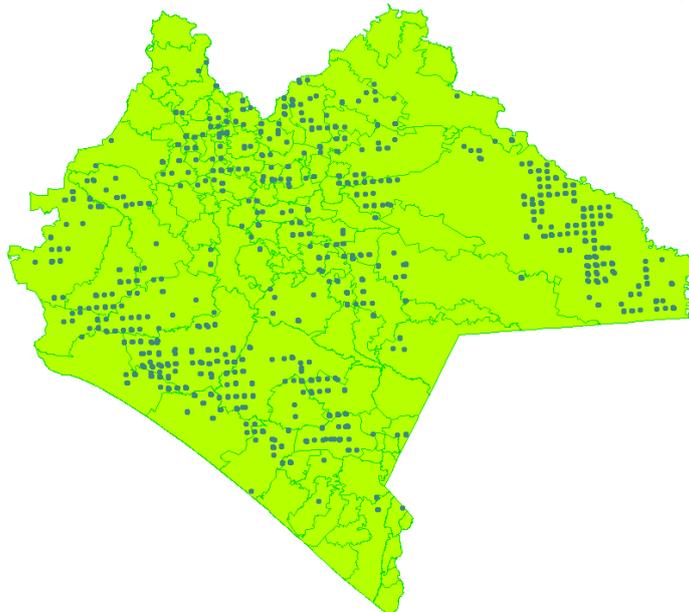


Figura 2. Distribución de los sitios del Inventario Nacional Forestal de 1992-1994 en el estado de Chiapas.



Figura 3. Distribución de los sitios del Inventario Nacional Forestal y de Suelo de 2004 a 2007 en el estado de Chiapas.

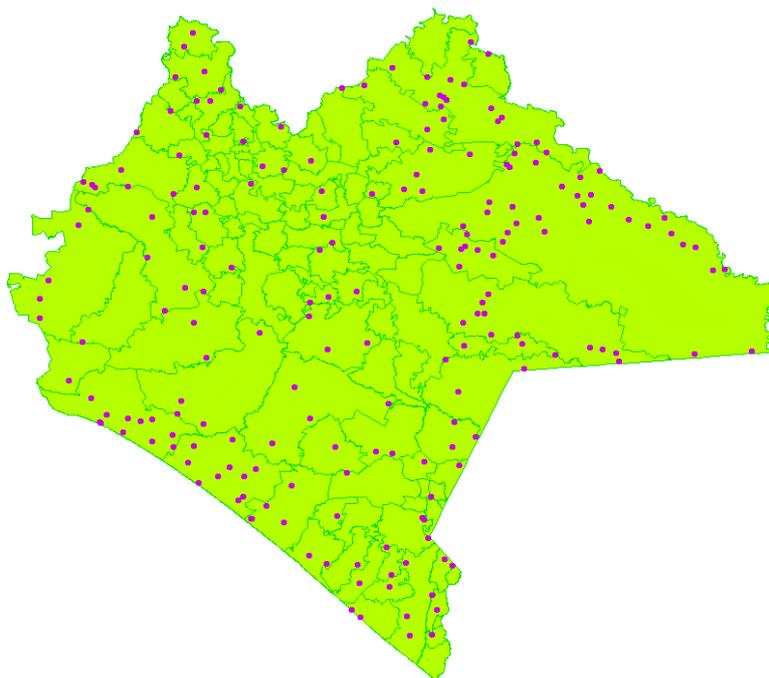


Figura 4. Distribución de los 245 perfiles de suelo de INEGI (1982-2008).

Por todos los datos disponibles, el análisis se considera a nivel 2 de gradación. Incluso varias fuentes tienen mucha precisión espacial (nivel 3), con sólo algunos factores por defecto del nivel 1.

Se presenta la estimación del contenido de biomasa y materia orgánica en el suelo por cobertura vegetal, y sus contribuciones en los flujos de CO₂ a la atmósfera (considerando la tasa y dirección del proceso de conversión), así como el nivel de certidumbre asociado a dichas estimaciones.

Tierras Agrícolas y Praderas a Tierras Forestales (TA y PR a TF)

Datos de actividad: Para los datos de actividad se utilizó la misma fuente de información que en el caso anterior. Se calcularon las tasas de cambio a Tierras Forestales para cada clase de bosque durante los períodos 1993-2002 y 2002-2007. Las tasas de 1993-2002 se aplicaron para estimar los cambios entre 1990-1993 y la tasa de 2007-2008 para estimar los cambios en 2008. Las tasas se calcularon en forma lineal para los períodos de análisis (cambio total para el período 1993 y 2002 entre 9 o cambio total de 2002 y 2007 entre 5).

Factores de emisión: Se cuenta con datos de incrementos del inventario nacional forestal 1992-1994 (INF) y el inventario nacional forestal y de suelo 2004-2008 (INFyS 2004-2008). Estos datos se utilizaron para estimar el incremento en biomasa de cada sitio de muestreo del INFyS 2004-2009. Las tasas de incremento se calcularon por tipo de bosque. Los datos de incrementos calculados se asignaron a cada polígono de cambio TA a TF y PR a TF. Para la estimación de remoción de C en el suelo se calculó el factor de régimen de perturbación $f_{\text{régimen alt}(i)}$.

Se calcularon factores de expansión para convertir datos de volumen a biomasa a partir de las ecuaciones alométricas de biomasa y volumen y datos de densidad aparente de la madera. Por lo anterior se considera que esta sección tiene el nivel 2 a 3 de gradación, con sólo la proporción de carbono en biomasa por defecto (Nivel 1). Se analizan las remociones de carbono efectuadas durante el proceso de recuperación de vegetación leñosa, procedentes del abandono de áreas de cultivo y pastizales en dos etapas de tiempo. Es decir, sólo se contabilizan las áreas que cambian de un uso no forestal a forestal.

Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Praderas (TF a TA y TF a PR)

Datos de actividad: Para los datos de actividad se utilizó la misma fuente de información que en el caso anterior. Se calcularon las tasas de cambios a Tierras Forestales para cada clase de bosque durante los períodos 1993-2002 y 2002-2007. Las tasas de 1993-2002 se aplicaron para estimar los cambios entre 1990-1993 y de 2002-2007 para calcular la tasa de 2008.

Factores de emisión: Se cuenta con datos de muestreos forestales realizados en 1992-1994 (Figura 2), con aproximadamente 1,300 sitios distribuidos en todas las clases de uso de suelo del país y datos de muestreos realizados entre 2004 y 2007, con cerca de 1,000 conglomerados distribuidos en todas las clases de uso de suelo del país (Figura 3). Adicionalmente se cuenta con una base de aproximadamente 245 perfiles de suelo, con datos de densidad de carbono colectados en los últimos 40 años. Para calcular volumen de madera, biomasa aérea y subterránea se usaron ecuaciones alométricas nacionales publicadas en la literatura. Para calcular el contenido de carbono se usó un factor por defecto. Para la estimación de remoción de C en el suelo se calculó el factor de régimen de perturbación $f_{\text{régimen alt}(i)}$.

2.3. Emisiones de gases distintos al CO₂ derivados de incendios

Los procesos de combustión y descomposición de la biomasa son los principales generadores de gases distintos al CO₂. Existen reportes de quemas e incendios para bosques, matorrales y pastizales. Las emisiones por quemas en el sector agrícola se reportan por separado en el informe agrícola.

Datos de actividad: los datos de actividad se derivan de acuerdo a las estadísticas de incendios de 1990 a 2008. Se utilizó la distribución de tipos de vegetación a nivel municipal como base para calcular las áreas quemadas por tipo de bosque, específicamente para los datos de 2005 y 2008. El promedio de distribución de estos dos años se extrapola a nivel estatal, para asignar las áreas quemadas de bosques reportados para el período 1990 a 2004 proporcionalmente a los tipos de bosques presentes.

Factores de emisión: Se usaron los valores por defecto para calcular las emisiones de GEI no-

CO₂, a partir de la biomasa quemada en sitios de la sección anterior. Dado que la cantidad de biomasa quemada en sitio fue estimada con factores publicados, se considera que esta sección tiene Tier 2.

2.4. Cambios en el carbono de los suelos minerales

La cuantificación de las variaciones en el contenido de carbono en los suelos, inducidos por el cambio de uso, permite generar una estimación del balance entre las capturas y emisiones netas de dióxido de carbono desde este medio (IPCC, 1996). En el nuevo modulo del IPCC, el UNFCCC-NAI-IS-132, modulo 5B con base en GBP2003, la dinámica de carbono en el suelo se trata muy diferente al modulo 5, con base en IPCC1996. En primer instancia ya no se distinguen los diferentes tipos de suelo, sino factores de manejo del suelo, cambios en el uso del suelo e intensidad de prácticas de gestión que influyen la dinámica de carbono, además del tiempo que se espera que se establezca un nuevo equilibrio dinámico en el COS después de un cambio en el uso de suelo. Los siguientes factores son de importancia:

- $f_{\text{tipo bosque}(i)}$ factor de ajuste que refleja el efecto de un cambio de bosque nativo a un tipo de bosque en el estado i , sin dimensiones
- $f_{\text{intensidad gest}(i)}$ factor de ajuste que refleja el efecto de la intensidad de gestión o de las prácticas de gestión sobre el bosque en el estado i , sin dimensiones
- $f_{\text{régimen alt}(i)}$ factor de ajuste que refleja el efecto de un cambio del régimen de alteración al estado i con respecto al bosque nativo, sin dimensiones

Sólo se calcularon los factores de perturbaciones $f_{\text{régimen alt}(i)}$, comparando el promedio de COS en el uso de suelo i (antes de la perturbación) con el contenido de COS en el uso de suelo j (en el año de reporte, $i \neq j$).

Adicionalmente se estimaron los tiempos de transición (t) de SOC inicial al SOC en el año de reporte para los cambios de uso de suelo, tomando en cuenta que este proceso en general tarda varios años. Para ello, el tiempo de transición incorpora las áreas en transición de los años anteriores, para estimar las emisiones o remociones totales reales para estas transiciones de uso de suelo.

Datos de actividad: Para estimar el impacto de las actividades en el COS, se tomaron como base los cambios en el uso de suelo, tal como indica IPCC (IPCC 2003). Los datos de cambio de actividad se generaron a partir del análisis de cambio de uso de suelo con los mapas de uso de suelo y vegetación de INEGI 1993, 2002 y 2007.

Factores de emisión: Sólo se usó el factor de $f_{\text{régimen alt}(i)}$ y el tiempo de transición (t) para estimar la dinámica de C por cambios en el uso de suelo. El factor de $f_{\text{régimen alt}(i)}$ se calculó con base en el promedio de COS en el uso de suelo en el año de reporte, dividido entre el COS de referencia para los tipos de vegetación y fases sucesionales de los aprox. 245 perfiles de INEGI. El $f_{\text{régimen alt}(i)}$ se estimó utilizando el promedio de COS en el uso de suelo en el año de reporte entre el COS de referencia, lo que genera las siguientes resultados:

$$\begin{aligned} \text{COS}_i > \text{COS}_j &\rightarrow \text{emisiones de CO}_2, \text{ calculados como } \Delta\text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t \\ \text{COS}_i < \text{COS}_j &\rightarrow \text{remociones de CO}_2, \text{ calculados como } \Delta\text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t \end{aligned}$$

Donde $\Delta\text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$ = diferencia en Carbono orgánico en el suelo entre tipo de vegetación inicial (tipo i) y tipo de vegetación en el año de reporte (tipo j ; ΔSOM_{ij}), multiplicado por el factor de régimen para el tipo de vegetación inicial (f_{reg}) y tiempo de transición de SOC_i a SOC_j (t).

2.5. Emisiones de carbono por el manejo intensivo de suelos orgánicos

De acuerdo a la definición del IPCC, este tipo de suelos no se encuentra en México y por lo tanto no se considera en el reporte.

2.6 Cálculos de incertidumbre

Para estimar la incertidumbre asociada al cálculo de los flujos de carbono se ocupó el método de Nivel 1 (IPCC 2003), el cual permite combinar las incertidumbres de varias cantidades a partir de ecuaciones de propagación de errores. La ecuación 2 permite estimar la incertidumbre de un producto de varias cantidades. Por ejemplo, cuando una estimación de las emisiones se presenta como el producto de un factor de emisión y de un dato de actividad.

$$U_{\text{total}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (2)$$

Donde:

U_{total} = Porcentaje de la incertidumbre con respecto al producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividido por el total y expresado en porcentaje).

U_i = Porcentaje de las incertidumbres asociadas a cada una de las cantidades, $i = 1, \dots, n$.

Cuando las cantidades inciertas se combinan sumándolas o restándolas, como por ejemplo cuando se calcula la incertidumbre general en las estimaciones de emisiones de carbono de distintas fuentes, se usa la Ecuación 3.

$$U_{\text{total}} = \sqrt{(U_1 * X_1)^2 + (U_2 * X_2)^2 + \dots + (U_n * X_n)^2} / X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (3)$$

Donde:

U_{total} = Incertidumbre porcentual de la suma.

U_i = Incertidumbre porcentual asociada a la fuente/sumidero i .

x_i = Estimación de la emisión/ la absorción relativa a la fuente/al sumidero i .

Para estimar la incertidumbre asociada a los distintos datos de actividad y factores de emisión se usaron métodos estadísticos cuando se contó con suficientes datos para aplicarlos, y el dictamen de los expertos, cuando no se contó con información adicional.

3. Métodos

3.1 Datos de actividad

Definición de las clases de vegetación

Los principales insumos empleados en el análisis de uso de suelo, fueron:

- ⇒ mapa de vegetación y uso de suelo de 1993 de INEGI, escala 1:250,000
- ⇒ mapa de vegetación y uso de suelo de 2002 de INEGI, escala 1:250,000
- ⇒ mapa de vegetación y uso de suelo de 2007 de INEGI, escala 1:250,000

Las coberturas presentes en los mapas de INEGI fueron agrupadas según la clasificación de CONAFOR en: bosques, otras tierras boscosas y otras tierras (Cuadro 2). Respecto a las coberturas de bosque, éstas se agruparon en: a) Bosque de coníferas; b) Bosque de encino; c) Bosque mesófilo de montaña; d) Selva perennifolia; e) Selvas caducifolia; f) Selva subcaducifolia; g) Selva espinosa; y h) Vegetación hidrófila. Después, en cada una de las clases de vegetación se distinguió una fase primaria, de una fase secundaria arbórea, arbustiva y herbácea (Cuadro 3). Las otras clases de uso de suelo consideradas en esta sección incluyen matorrales xerófilos, pastizales, vegetación inducida y otros. Los pastizales y las clases agrícola, pecuaria y plantaciones cambiaron a clases con mayor densidad de biomasa, por lo que sus cambios se consideraron en áreas abandonadas.

Cuadro 2. Homologación de las clases de vegetación de INEGI y CONAFOR con las clases propuestas para la elaboración del Inventario Estatal de GEI (IEGEI) 2008.

CONAFOR	IEGEI 2008	INEGI
Bosque	Bosque cultivado	Plantación forestal
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de cedro
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de oyamel
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino-encino
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino-pino
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino
Bosque	Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña
Bosque	Selva perennifolia	Selva alta perennifolia
Bosque	Selva perennifolia	Selva mediana subperennifolia
Bosque	Selva perennifolia	Selva baja perennifolia
Bosque	Selva perennifolia	Selva baja subperennifolia
Bosque	Selva caducifolia	Selva baja y mediana caducifolia
Bosque	Selva subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia
Bosque	Selva subcaducifolia	Selva baja subcaducifolia
Bosque	Selva espinosa	Selva baja espinosa subperennifolia
Bosque	Selva espinosa	Selva baja espinosa caducifolia
Bosque	Especial (otros tipos)	Palmar natural
Bosque	Vegetación hidrófila	Manglar
Bosque	Vegetación hidrófila	Bosque de galleria
Bosque	Vegetación hidrófila	Selva de galleria
Otras tierras boscosas	Matorral xerófilo	Chaparral
Otras tierras	Pastizal	Pastizal natural
Otras tierras	Pastizal	Sabana

Otras tierras	Pecuario	Pastizal cultivado
Otras tierras	Vegetación inducida	Pastizal inducido
Otras tierras	Vegetación hidrofila	Popal
Otras tierras	Vegetación hidrofila	Tular
Otras tierras	Vegetación hidrofila	Vegetación de galleria
Otras tierras	Vegetación inducida	Palmar inducido
Otras tierras	Especial (otros tipos)	Vegetación de dunas costeras
Otras tierras	Acuícola	Acuícola
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de humedad anual
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de humedad anual permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de humedad anual semipermanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de humedad plantacion agrícola permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de humedad semipermanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de humedad semipermanente permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de riego anual
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de riego anual permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de riego anual semipermanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de riego plantacion agrícola permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de riego semipermanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de riego semipermanente permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de temporal anual
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de temporal anual permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de temporal anual semipermanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de temporal plantacion agrícola permanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de temporal semipermanente
Otras tierras	Agrícola	Agricultura de temporal semipermanente permanente
Otras tierras	Otros conceptos	Sin vegetación aparente
Otras tierras	Otros conceptos	Desprovisto de vegetación
Otras tierras	Otros conceptos	Asentamientos humanos
Otras tierras	Otros conceptos	Zona urbana

Cuadro 3. Fases sucesionales de la vegetación.

Fase sucesional	Inventario Estatal de GEI
Veg. Primaria	Primaria (intacto)
Veg. Secundaria arbórea	Secundaria (degradado)
Veg. Secundaria arbustiva	Secundaria (degradado)
Veg. Secundaria herbácea	Secundaria (degradado)

Matrices de cambio de uso de suelo

Con el fin de examinar la ganancia o pérdida de biomasa conforme al proceso de conversión en cada clase de vegetación, se elaboraron dos matrices de transición. De acuerdo con el manual de procedimientos que usó INEGI para la elaboración de los mapas de vegetación 1993, 2002 y 2007, estos mapas son comparables y congruentes entre sí en cuanto a la clasificación y digitalización de los polígonos. Por lo anterior, sólo fue necesario emplear un proceso de intersección entre los tres mapas; es decir, se comparó la clase de vegetación presente en 1993 con la de 2002 y 2007 de cada polígono y sumó la superficie de todas las transiciones.

Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales

Áreas consideradas como bosques manejados

IPCC 2003 recomienda reportar las emisiones y remociones de CO₂ en Tierras forestales que están influencia antropogénica (bosques con manejo). Para fines de este inventario, se definió a la vegetación con manejo como aquellas áreas que tiene planes de manejo forestal, áreas con extracción de madera sin permiso, áreas en recuperación (bosque degradado a bosque intacto), áreas en degradación (bosques intactos a bosques degradados) y áreas para extracción de leña. Para cada subcategoría se aplicó cierta metodología para calcular los cambios en el carbono en biomasa y suelo

Se asignó las tasas de extracción de madera comercial, madera sin permiso y leña a los tipos de vegetación de acuerdo a las especies aprovechadas (para el caso de madera comercial y sin permiso) o a los tipos de vegetación presentes en relación a los poblados (para el caso de leña). Adicionalmente se estimó la pérdida de biomasa por el proceso de degradación de bosques y selvas y ganancia de biomasa en las áreas en proceso de recuperación, de acuerdo al análisis de cambio de uso de suelo con los mapas de INEGI 1993, 2002, 2007. Las siguientes categorías de bosques son consideradas como manejadas:

- a) Bosques y selvas nativos con aprovechamientos de madera industrial.
- b) Bosques y selvas nativos con aprovechamiento sin permiso.
- c) Bosques y selvas nativos con aprovechamiento de leña.
- d) Bosques en proceso de recuperación.
- e) Bosques en proceso de degradación.

Las superficies de áreas de bosques y selvas nativos con aprovechamiento sin permiso se estimaron, con base en la tasa de extracción estimada (porcentual a la tasa de extracción sin permiso nacional y tasa de extracción con permiso nacional, ponderado por la tasa de extracción de madera industrial en Chiapas). Se utilizó la misma tasa de extracción por hectárea de madera industrial (aprox. 1.15 m³/ha). Para estimar el área de manejo para leña se asumió que la extracción de leña es sustentable, es decir la tasa de extracción es igual a la tasa de incrementos anuales.

Tierras Agrícolas y Praderas que cambian a Tierras Forestales

Las áreas que cambiaron de Tierras Agrícolas y Praderas a Tierras Forestales fueron derivadas del análisis de cambio de uso de suelo con los mapas de INEGI. Se calcularon las tasas de cambio a nivel anual para el período de 1990-2002 y 2003-2008. En ambos casos se calcularon tasas de cambio en biomasa y COS.

Tierras Agrícolas que cambian a Praderas y vice versa

Las áreas que cambiaron de Tierras Agrícolas a Praderas fueron también derivadas del análisis de cambio de uso de suelo con los mapas de INEGI. Se calcularon las tasas de cambio a nivel anual para el período de 1990-2002 y 2003-2008. En ambos casos se calcularon tasas de cambio en biomasa y COS.

Tierras Forestales que cambian a Tierras Agrícolas y Praderas

Las áreas que cambiaron de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas a Praderas (Tasas de deforestación en bruta) fueron también derivadas del análisis de cambio de uso de suelo con los mapas de INEGI. Se calcularon las tasas de cambio a nivel anual para el período de 1990-2002 y 2003-2008. En ambos casos se calcularon tasas de cambio en biomasa y COS.

3.2 Factores de emisión

Carbono en biomasa

Estimación de la densidad de biomasa arbórea en selvas y bosques

Para estimar la densidad de biomasa en cada tipo de vegetación del estado, se utilizó como base los datos del Inventario Nacional Forestal y Suelo 2004-2007 (INFyS2004-2007). Para ello, se generó una base de ecuaciones alométricas a nivel nacional con el cual se convierten los datos del inventario forestal a biomasa para cada árbol reportado. De las especies de las cuales no se tienen ecuaciones alométricas, se desarrollaron ecuaciones genéricas.

Selección de ecuaciones alométricas de biomasa

Se hizo la revisión de 290 trabajos nacionales y extranjeros para recopilar las ecuaciones alométricas de biomasa desarrolladas para especies o géneros con distribución en México. Se elaboró una base de datos con las ecuaciones alométricas, registrando la especie o el género, la ubicación, el tipo de vegetación y las características del sitio de estudio (edad del arbolado, temperatura (°C), precipitación (mm), clima, tipo de suelo y tipo de manejo (en caso de que lo presentara) donde fue desarrollada.

También se encontraron ecuaciones alométricas generales que agrupan varias especies de una región. Para ellas se registraron los mismos datos que en las ecuaciones por especie. Una vez que se tenían todas las ecuaciones se clasificaron de acuerdo a su formato (Cuadro 4).

Se localizó un total de 228 ecuaciones, 180 corresponden a nivel especie, 29 a nivel género y 19 generales (Figura 5). Cada ecuación tiene restricciones para poder ser utilizada. Inicialmente se consideró la limitante espacial referente al estado donde se obtuvo la ecuación.

Cuadro 4. Formatos de las ecuaciones alométricas y su frecuencia

Tipo	Ecuación	Frec.
1	$\text{Exp}(a_0) \cdot (\text{DN}^{a_1}) / 1000$	23
2	$a_0 \cdot (\text{DN}^{a_1}) / 1000$	61
3	$(10^{a_0}) \cdot (\text{DN}^{a_1}) / 1000$	16
4	$(a_0 \cdot \text{Exp}(a_1 / \text{DN}) + a_2) / 1000$	3
5	$(a_0 \cdot \text{Ln}(\text{DN} \cdot a_1) + a_2) / 1000$	1
6	$(a_0) \cdot (((\text{DN}^{a_1}) \cdot \text{HT})^{a_2}) / 1000$	16
7	$\text{Exp}(a_0) \cdot (\text{DN}^{a_1} \cdot \text{HT}^{a_2})^{a_3} \cdot (a_4 / 1000)$	15
8	$(a_0) \cdot (\text{DN}^{a_1}) \cdot \text{HT} / 1000$	11
9	$(a_0) + ((a_1) \cdot (\text{DN}^{a_2}) \cdot \text{HT}) / 1000$	1
10	$\text{Exp}(a_0) \cdot (\text{DN}^{a_1} \cdot \text{HT})^{a_2} \cdot (a_3 / 1000000)$	1
11	$\text{Exp}(a_0) \cdot (\text{DN}^{a_1} \cdot \text{HT} + a_2)^{a_3} / 1000$ $((a_0) + (a_1 \cdot (\text{DN}^{a_2}) \cdot \text{HT}) + (a_3 \cdot \text{Ln}(\text{DN}) \cdot \text{HT}) + (a_4 \cdot (\text{DN})) + (a_5 \cdot \text{Ln}(\text{DN}^{a_6}) \cdot \text{HT})) / 10$	1
12	00	1
13	$(a_0) \cdot (((\text{DN}^{a_1}) \cdot \text{HT})^{a_2}) + a_3 \cdot (((\text{DN}^{a_4}) \cdot \text{HT})^{a_5}) / 1000$	1
14	$(a_0 + ((a_1) \cdot \text{DN}) + (a_2 \cdot (\text{DN}^{a_3})) + (a_4 \cdot ((\text{DN}^{a_5}) \cdot \text{HT}))) / 1000$	1
15	$(a_0) + (a_1 \cdot \text{DN}) + (a_2 \cdot \text{Ln}(\text{HT})) + (a_3 \cdot \text{Ln}(\text{DN})) + (a_4 \cdot (\text{DN}^{a_5}) \cdot \text{HT}) / 1000$	1
16	$10^{(a_0 \cdot (\text{AB})^{a_1})} / 1000$	1
17	$10^{(a_0) \cdot (\text{AB} \cdot a_1 \cdot \text{HT})^{a_3}} / 1000$	17
18	$(a_0 \cdot C^{a_1} + a_2 \cdot \text{AB}^{a_3}) / 1000000$	1
19	$(a_0 \cdot C^{a_1}) / 1000000$	4
20	$a_0 \cdot ((a_1 \cdot C^{a_2})^{a_3}) / 1000000$	1
21	$(a_0 \cdot C^{a_1} + a_2 \cdot C^{a_3}) / 1000000$	1
22	$\text{Exp}(a_0) \cdot \text{Exp}(C \cdot a_1) / 1000$	1
23	$a_0 \cdot (\text{V}^{a_1}) / 1000$	10

Donde: DN= diámetro normal (cm), HT= altura total (m), AB=área basal (m²), C=cobertura de la copa (m²), V= volumen (m³), a(n)=coeficientes.

También se consideraron los diámetros mínimo y máximo que presentaron los individuos que se usaron para la obtención de la ecuación (Brown, 1997).

Posteriormente se ajustaron todos los formatos para obtener una ecuación general de biomasa, en la cual se emplearan los datos de DN y HT, y cuatro coeficientes distintos para cada especie.

La forma general de la ecuación es:

$$B = \left(([a0] * ([DN]^{[a1]}) * \frac{([HT]^{[a2]})}{1000} \right) + ([a3]) \quad (8)$$

Donde:

B= Biomasa (Mg)

DN= diámetro normal (cm)

HT= altura total (m)

a(n)=coeficientes

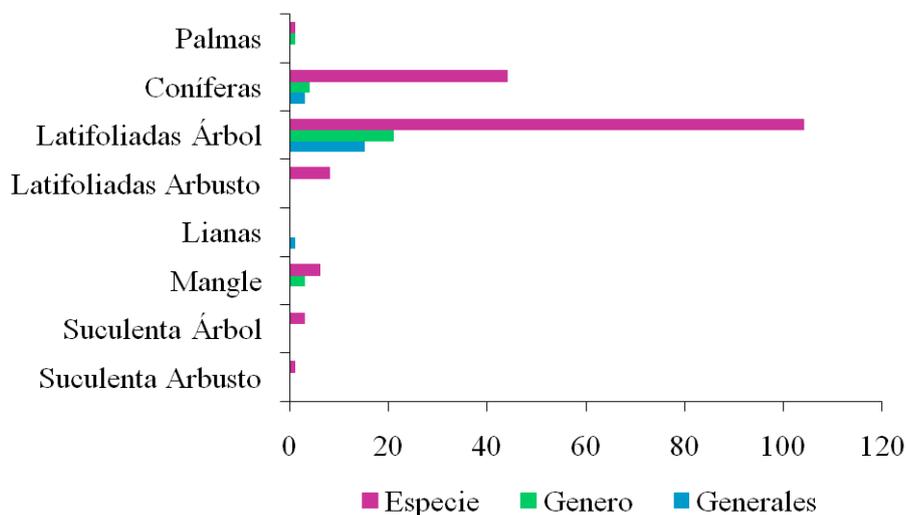


Figura 5. Frecuencia de las ecuaciones de acuerdo al nivel y grupos

A partir de la base de datos generada con ecuaciones alométricas para biomasa, se calculó el contenido de materia seca (Mg) correspondiente a cada registro de la base de datos del INFyS 2004-2008. En cerca del 50% de los casos fue posible asignar una ecuación alométrica de biomasa a nivel de especie o de género. Sin embargo, para el 50% restante fue necesario desarrollar ecuaciones alométricas genéricas, usando la información de biomasa calculada a nivel de especie o género y estratificándola conforme a: 1) grupo de especie (e.i. conífera, latifoliada, mangle); 2) clase de precipitación media anual (e.i. menor a 800 mm, entre 800-1500 mm, mayor a 1500mm); y 3) estado de la República. En el caso de que no hubiera un número suficiente de individuos para construir la ecuación en alguna categoría, entonces se agregó a los individuos presentes en el estado de la República más cercano, cuya condición de precipitación y grupo de especie fuera la misma. En total se desarrollaron cerca de 80 ecuaciones alométricas nuevas. Esta base de ecuaciones se aplicó a los sitios muestreados en Chiapas. Para cada tipo de vegetación se calculó el promedio de biomasa presente en los árboles y su 95% intervalo de confianza.

Estimación de la densidad de biomasa aérea del renuevo

a. Bosques

Durante el levantamiento del INFyS 2004-2008 la regeneración natural de los bosques se registró en los sub-sitios de 12.26m² de cada conglomerado. De tal forma que cada registro se relaciona con un número de individuos y su especie, así como a una de las siguientes categorías de altura: 0-25-1.50 m, 1.51-2.75 m y 2.76- 3.00 m.

Para el cálculo de la biomasa aérea de los conglomerados se utilizaron dos ecuaciones generales (Cuadro 5), para ello se clasificaron los registros de acuerdo a su forma biológica. Finalmente se extrapola el valor de biomasa de los sub-sitios de cada conglomerado para obtener la biomasa en Mg ha⁻¹.

Cuadro 5. Ecuaciones generales utilizadas para estimar la biomasa de la regeneración natural en bosques y selvas

Grupo	Ecuación alométrica	Autor
Coníferas	$(0.058)*((DN^2)*HT)^{0.919}/1000$	Ayala, 1998
Latifoliadas	$(0.283)*((DN^2)*HT)^{0.807}/1000$	Ayala, 1998

b. Selvas

El método para estimar la biomasa aérea de la regeneración natural en los conglomerados de la selva fue casi idéntico al seguido en los conglomerados de bosque. La única diferencia es que los individuos se categorizaron conforme a las siguientes clases de alturas: 0.25-0.75 m, 0.76-1.25m, 1.26-1.75m, 1.76-2.25, 2.26-2.75 y 2.76-3.00 m.

Estimación del contenido de biomasa total por tipo de vegetación

Para el cálculo del valor de biomasa total asociado a las principales clases de vegetación del estado, primero se sumó la biomasa aérea estimada para árboles, arbustos y renuevo de la base de datos del INFyS2004-2008 y se utilizó la ecuación alométrica de Cairns *et al.* (2003) para estimar la biomasa correspondiente en raíces.

Una vez calculada la biomasa total por conglomerado (aérea y subterránea) y convertida a unidades de Mg ha⁻¹, se estimó un valor de densidad promedio en función de la clase de vegetación que les fue asignada a los conglomerados en campo.

Cálculo de incrementos de biomasa

La remoción anual de CO₂ para áreas en recuperación, reforestación y bosque bajo manejo, se calculó a partir del incremento anual de biomasa vegetal en cada tipo de bosque considerado (Ecuación 4, Ecuación 3.2.4 GPG2003). Se calcularon los incrementos anuales por tipo de bosque.

$$\Delta C_{FFG} = \sum_{i=1} (A_i * G_i) * CF \quad (4)$$

Donde:

ΔC_{FFG} = Incremento anual de las reservas de carbono debidas a la producción de biomasa en superficies de bosques, Mg C año⁻¹.

A_i = Superficie forestal por tipo de bosque/plantación (i = desde 1 hasta n), en ha.

G_i = Tasa de incremento medio anual de biomasa aérea, en toneladas de materia seca, por tipo de bosque (i = desde 1 hasta n), Mg m.s. ha⁻¹ año⁻¹

CF = Fracción de carbono de la materia seca (por defecto=0.5), Mg de C (t de MS.)⁻¹.

La tasa de incremento medio anual de biomasa aérea (G) en los diferentes tipos de bosques se

calculó a partir de datos de incrementos diamétricos del inventario INFyS 2004-2008 en el Estado de Chiapas. Se utilizaron estos datos para estimar los incrementos de biomasa de cada árbol de los puntos de muestreo 2004-2007, y posteriormente se convirtió a datos volumétricos de madera (Iv) con valores de densidad básica de la madera y factores de expansión para incrementos de biomasa (BEF₁; Ecuación 5, Ecuación 4.2.5 GPG2003).

$$G = Iv * D * BEF_1 \quad (5)$$

Donde:

G = Tasa de incremento medio anual de biomasa aérea, t m.s. ha⁻¹ año⁻¹

Iv = Incremento medio anual de volumen de madera comercial, m³ ha⁻¹ año⁻¹

D = Densidad básica de la madera, t m.s m⁻³

BEF₁= Factor de expansión de biomasa para convertir el incremento neto anual a incremento de biomasa vegetal total aérea, sin unidades.

Densidad básica de la madera

La densidad de la madera es la expresión de la presencia relativa de los distintos elementos celulares que la componen (vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima). Esta depende del tamaño de las células, del grosor de la pared celular y de la proporción de los diferentes tipos de tejidos con respecto al volumen total del leño (Zobel y Talbert, 1984).

Se realizó una búsqueda de valores de densidad básica de madera de especies con distribución en México en artículos, tesis, capítulos de libro, memorias de congresos, entre otros. En total se encontraron 460 valores a nivel nacional, los cuales se aplicaron para Chiapas. En la Figura 6 se presenta la frecuencia de estos datos de acuerdo al grupo de especie al que pertenecen. El grupo con mayor número de valores fue el de Latifoliadas Árbol.

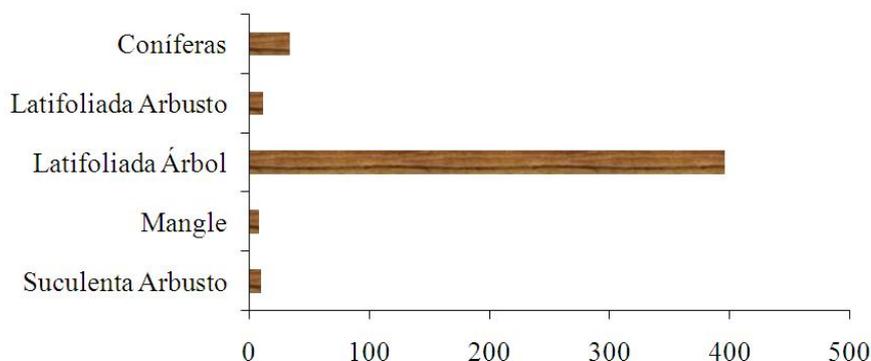


Figura 6. Frecuencia de los valores de densidad básica de la madera de acuerdo al grupo de especie.

Los valores de densidad se agruparon de acuerdo a la distribución de las especies en las sub-categorías del reporte (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de Densidad Básica de la madera para las sub-categorías del reporte.

Sub-categorías de reporte	Densidad básica de la madera (Mg/m ³)
Bosque de Coníferas Primario	0.456
Bosque de Coníferas Secundario	0.456
Bosque de Encino Primario	0.673

Bosque de Encino Secundario	
Bosque Mesófilo Primario	0.680
Bosque Mesófilo Secundario	
Selva Caducifolia Primaria	0.583
Selva Caducifolia Secundaria	
Selva Perennifolia Primaria	0.641
Selva Perennifolia Secundaria	
Selva Subcaducifolia Primaria	0.676
Selva Subcaducifolia Secuandaria	

Ecuaciones para calcular Volumen

Se llevó a cabo la revisión del inventario forestal del Estado de Chiapas realizado entre las décadas de 1970 y 1990. En este se localizaron las ecuaciones de volumen con las cuales generaron las tablas de volumen por especie. Una vez que se tenían todas las ecuaciones de volumen se clasificaron de acuerdo a su formato (Cuadro 7).

Cuadro 7. Formatos lineales de las ecuaciones de volumen y su frecuencia

Formato	Ecuación	Frecuencia
1	$\text{Exp}(a_0 + a_1 \cdot \text{Log}(\text{DN}) + a_2 \cdot \text{Log}(\text{HT}))$	115
2	$a_0 + (a_1 \cdot (\text{Exp}(\text{DN}))) + (a_2 \cdot (\ln(\text{HT})))$	7
3	$a_0 + a_1 \cdot ((\text{DN}^2 \cdot \text{HT}))$	3
4	$a_0 + (a_1 \cdot (\text{DN}^2) \cdot \text{HT}) + (a_2 \cdot (\text{DN}^3))$	1
5	$a_0 + (a_1 \cdot (\text{DN}^2)) + (a_2 \cdot \text{HT} \cdot (\text{DN}^2))$	1
6	$a_0 + (a_1 \cdot (\text{DN}^2) \cdot \text{HT}) + (a_2 \cdot (\text{DN}^2))$	1
7	$a_0 + (a_1 \cdot \text{HT} \cdot (\text{DN}^2))$	1
8	$a_0 + (a_1 \cdot \text{HT} \cdot (\text{DN}^2)) - (a_2 \cdot (\text{DN}^3)) - (a_3 \cdot (\text{DN}^2))$	1
9	$a_0 + (a_1 \cdot (\text{DN}^2)) + (a_2 \cdot \text{HT}) + (a_3 \cdot (\text{DN}^2) \cdot \text{HT})$	1
10	$a_0 + (a_1 \cdot \text{DN}) + (a_2 \cdot \text{HT}) + (a_3 \cdot \text{HT} \cdot (\text{DN}^2)) - (a_4 \cdot \text{HT} \cdot (\text{DN}^3))$	1
11	$a_0 - (a_1 \cdot (\text{DN}^2)) + (a_2 \cdot (\text{DN}^3)) + (a_3 \cdot \text{HT} \cdot \text{DN}) + (a_4 \cdot \text{HT} \cdot (\text{DN}^2))$	1
12	$a_0 - (a_1 \cdot (\text{DN}^2)) + (a_2 \cdot (\text{DN}^2) \cdot \text{HT})$	1

Donde: DN= diámetro normal (cm), HT= altura total (m), a(n)=coeficientes.

Las ecuaciones corresponden a 551 especies para el estado de Chiapas. En la Figura 7 se presenta la frecuencia por grupos.

Para obtener una ecuación general de volumen en la que se emplearan los datos de DN y HT, se ajustaron todos los formatos y se utilizaron tres coeficientes distintos para cada especie.

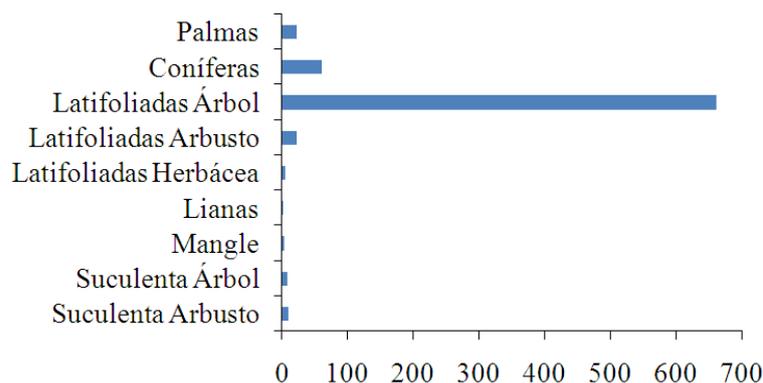


Figura 7. Frecuencia de las ecuaciones de volumen de acuerdo al grupo

La forma general de la ecuación es:

$$V = \text{Exp}(a_0 + a_1 \cdot \text{Log}(\text{DN}) + a_2 \cdot \text{Log}(\text{HT}))$$

Donde:

- V = Volumen (m³)
- DN = diámetro normal (cm)
- HT = altura total (m)
- a(n) = coeficientes

Factores de Expansión de Biomasa

El factor de expansión de la biomasa se define como la proporción de densidad total secada al horno de árboles y la biomasa secada al horno del volumen inventariado.

Una vez que se realizó la revisión exhaustiva para compilar los valores de densidad básica de la madera, las ecuaciones de volumen, y las ecuaciones de biomasa aérea, fue posible generar factores de expansión de biomasa (FEB) para 23 especies.

Inicialmente se estimó el volumen con la ecuación general y los coeficientes específicos, para ello se utilizaron los valores de diámetro a altura de pecho (DN) y altura total (HT) presentes en el INFyS 2004-2008 de todos los registros correspondientes a cada especie. Así mismo se calculó la biomasa con la ecuación alométrica encontrada en la literatura.

El valor del FEB se estimó con la ecuación:

$$\text{FEB} = \frac{\text{DM} \cdot \text{V}}{\text{B}}$$

Donde:

- FEB = Factor de Expansión de Biomasa
- DM = Densidad de la madera (Mg/m³)
- V = Volumen (m³)
- B = Biomasa (Mg)

En el Cuadro 8 se presenta el valor promedio de los FEB, que es el valor que se utilizará para estimar la biomasa de la extracción de productos maderables en el IEGEI.

Cuadro 8. Factores de Expansión de Biomasa estimados

Especie	Factor de Expansión de Biomasa				
	n	Promedio	Mínimo	Máximo	Error Estand
<i>Abies religiosa</i>	2726	1.707047	0.481815	18.43608	0.015733
<i>Brosimum alicastrum</i>	6287	1.077978	0.989680	1.288076	0.000592
<i>Bursera simaruba</i>	4783	1.676887	1.444350	1.915589	0.001038
<i>Carpinus caroliniana</i>	261	1.065924	0.501158	2.758602	0.020801
<i>Cordia alliodora</i>	4156	3.915272	0.928348	26.89723	0.030994
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	2397	1.451389	0.834021	1.858792	0.003571
<i>Guazuma ulmifolia</i>	4745	2.41811	0.622528	9.87174	0.013069
<i>Hevea brasiliensis</i>	61	1.819090	1.282816	2.726880	0.041629
<i>Liquidambar styraciflua</i>	54	1.297316	0.620704	2.414587	0.066247
<i>Manilkara zapota</i>	350	1.063833	1.008903	1.163178	0.001369
<i>Miconia argentea</i>	254	1.434099	1.319983	1.584617	0.002989
<i>Pinus leiophylla</i>	6081	1.906185	0.605244	13.58094	0.010182
<i>Pinus montezumae</i>	1122	1.373883	0.922387	1.993418	0.006321
<i>Pinus oocarpa</i>	9396	0.996497	0.754539	1.415140	0.000914
<i>Pinus patula</i>	2110	1.218350	0.469003	4.163499	0.009565
<i>Poulsenia armata</i>	181	1.473736	1.317671	1.584229	0.003954
<i>Pouteria campechiana</i>	95	0.958589	0.910424	1.011063	0.002154
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	108	1.251103	1.193449	1.314088	0.002190
<i>Quercus crassifolia</i>	13816	2.322774	0.834022	4.643257	0.004435
<i>Quercus laurina</i>	3130	2.077418	0.932905	3.856403	0.008701
<i>Quercus rugosa</i>	11777	2.164254	1.088241	3.734242	0.003006
<i>Rhizophora mangle</i>	517	4.604498	1.368560	10.18333	0.091722
<i>Talisia olivaeformis</i>	79	2.559565	1.451721	5.399708	0.101932

Donde: n= número de registros que presentó la especie en el INFyS 2004-2008

Asimismo se obtuvo un FEB por tipo de vegetación, para ello se promedió el FEB de las especies que Rzedowski (1978) describió en cada tipo de vegetación (Cuadro 9). Para la estimación de la biomasa de la madera en rollo extraída se utilizaron los datos de manejo publicados por SEMARNAT (1990-2006) y el FEB por tipo de comunidad.

Cuadro 9. Factores de Expansión de Biomasa por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	Especies *	FEB
Bosque de coníferas	<i>Abies religiosa</i>	1.4404
	<i>Pinus leiophylla</i>	
	<i>Pinus montezumae</i>	
	<i>Pinus oocarpa</i>	
	<i>Pinus patula</i>	
Bosque de encino	<i>Quercus crassifolia</i>	2.1881
	<i>Quercus laurina</i>	
	<i>Quercus rugosa</i>	
Bosque mesófilo de montaña	<i>Carpinus caroliniana</i>	1.1816
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	

Selva caducifolia	<i>Brosimum alicastrum</i>	1.7480
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	
Selva perennifolia	<i>Brosimum alicastrum</i>	1.6971
	<i>Bursera simaruba</i>	
	<i>Cordia alliodora</i>	
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	
	<i>Manilkara zapota</i>	
	<i>Poulsenia armata</i>	
	<i>Pouteria campechiana</i>	
Selva subcaducifolia	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	2.0304
	<i>Talisia olivaeformis</i>	
	<i>Brosimum alicastrum</i>	
	<i>Bursera simaruba</i>	
	<i>Cordia alliodora</i>	
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	<i>Manilkara zapota</i>	
* Fuente Rzedowski, 1978		

Estimación del contenido de carbono en materia orgánico de suelo (COS) por tipo de vegetación

Para el cálculo del valor de COS asociado a las principales clases de vegetación del estado, se utilizó el procedimiento de cálculo presentado en el anexo 2. Las fuentes de información son los perfiles establecidos por INEGI en los últimos 30 años y su uso de suelo correspondiente de cada perfil se deriva de los mapas de uso de suelo de la serie I (1970s), serie II (1993), serie III (2002) y serie IV(2007).

Una vez calculada el COS por perfil y convertida a unidades de Mg ha^{-1} , se estimó un valor de densidad promedio en función de la clase de vegetación que les fue asignada a los perfiles. Finalmente, se supuso que las densidades de biomasa y COS calculadas no varían de manera significativa en el tiempo en la misma clase de vegetación, con excepción de las tasas de extracción e incrementos en los bosques manejados.

Emisiones de carbono por el manejo intensivo de suelos orgánicos

Este tipo de suelos no se encuentran en el estado.

Emisiones de carbono por encalado de suelos agrícolas

La estadística de uso de cal agrícola en los suelos de la República Mexicana no está debidamente documentada. La estimación de emisiones de carbono desde los suelos como consecuencia de su uso, presenta un alto grado de incertidumbre y no representa una fuente de emisión significativa (ver INEGEI 2006), por lo que no fue tomado en consideración. En su caso se refiere al INEGEI (2006) para su estimación a nivel nacional.

3.3. Cálculo de emisión de CO₂

Los procesos que influyen directamente sobre los almacenes de carbono en la vegetación son: (a) la producción de biomasa, que incrementa el almacén de carbono a través de la fijación de dicho elemento durante el proceso fotosintético, y (b) la remoción de madera industrial, madera doméstica, madera comercializada sin permisos, leña, y la quema y descomposición de materia muerta promueven la emisión de carbono hacia la atmósfera. El balance de estos procesos determina la cantidad neta de CO₂ removida o emitida en un área dada. Para cada actividad se

definió la metodología para calcular las emisiones y remociones de los reservorios biomasa y COS (Cuadro 10). Las emisiones y remociones para cada categoría de uso de suelo y cambio de uso de suelo de deriva de la siguiente fórmula simplificada:

$$\text{Emisión } i = \text{Superficie de la actividad } i * \text{factor de emisión } i$$

Donde i representa la superficie de alguna (sub)-categoría de uso de suelo inicial y en el año del reporte, por ejemplo i es 2,500 hectáreas de bosque de coníferas degradados (inicial) que cambiaron a pastizal (año de reporte) entre 1995 (inicial) y 1996 (año de reporte).

Cuadro 10. Métodos para calcular los cambios en biomasa y suelos

Tipo de manejo	Pérdida en biomasa	Ganancia de biomasa	COS
Bosques y selvas nativos con aprovechamientos de madera industrial	M ³ extraído, convertido a biomasa	Incremento por tipo de bosque * área de actividad	NO ²
Bosques y selvas nativos con aprovechamiento sin permiso	M ³ extraído, convertido a biomasa	Incremento por tipo de bosque * área de actividad	NO
Bosques y selvas nativos con aprovechamiento de leña	M ³ extraído, convertido a biomasa	Incremento por tipo de bosque * área de actividad (incremento = M ³ extraído)	NO
Bosques en proceso de recuperación	NO	Incremento por tipo de bosque * área de actividad	$\Delta \text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$ ₃
Bosques en proceso de degradación	ΔBIOM_{ij} ¹ * área de actividad	NO	$\Delta \text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$
Tierras Agrícolas (TA) y Praderas (PR) a Tierras Forestales (TF)	NO	Incremento por tipo de bosque * área de actividad	$\Delta \text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$
Tierras Agrícolas (TA) que cambian a Praderas (PR) y vice versa	ΔBIOM_{ij} (PR → TA) * área de actividad	ΔBIOM_{ij} (TA → PR) * área de actividad	$\Delta \text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$
Tierras Forestales (TF) a Tierras Agrícolas (TA) a Praderas (PR)	ΔBIOM_{ij}	NO	$\Delta \text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$

1 ΔBIOM_{ij} = Diferencia en biomasa entre tipo de vegetación inicial (tipo i) y tipo de vegetación en el año del reporte (tipo j)

2 NO = no se tomó en cuenta posibles cambios

3 $\Delta \text{SOM}_{ij} * f_{\text{reg}} * t$ = diferencia en Carbono orgánico en el suelo entre tipo de vegetación inicial (tipo i) y tipo de vegetación en el año de reporte (tipo j , ΔSOM_{ij}), multiplicado por el factor de régimen para el tipo de vegetación inicial (f_{reg}) y tiempo de transición de SOC_i a SOC_j (t).

La emisión de CO₂ en bosques con manejo se calculó como la suma de las pérdidas de biomasa vegetal resultantes de las talas comerciales, talas sin permiso (doméstica y comercial), del consumo de leña (Ecuación 9, Ecuación 3.2.6 GPG2003) y la pérdida de biomasa y COS por el proceso de degradación. Cabe mencionar que la metodología del IPCC (2003) para Inventarios de GEI tiene el supuesto “por defecto” que todo el carbono que es removido durante los aprovechamientos de biomasa (madera) es emitido en el año de cosecha. Aunque incluye la posibilidad de que los países reporten reducción de emisiones si documentan que las reservas de productos del bosque (madera y leña) del país están aumentando. Asimismo, para fines de este inventario sólo se consideran las emisiones generadas por el consumo doméstico o residencial de leña, excluyendo las emisiones generadas por el sector comercial informal (e.g. cocción de alimentos en comedores turísticos), y el sector de la pequeña industria (e.g. alfarería, ladrilleras).

$$\Delta C_{FF_L} = L_{comercial} + L_{dom} + L_{leña}$$

Donde:

ΔC_{FF_L} = Disminución anual del almacén de carbono debido a la tala de bosques, Mg C año⁻¹.

$L_{comercial}$ = Pérdida anual de carbono generada por las talas comerciales, Mg C año⁻¹

L_{dom} = Pérdida anual de carbono generada por la tala sin permiso de madera, Mg C año⁻¹

$L_{leña}$ = Pérdida anual de carbono generada por el consumo doméstico de leña, Mg C año⁻¹

La pérdida anual de carbono generada por la tala de madera industrial y sin permiso se estimó con la Ecuación 10 (Ecuación 3.2.7 GPG2003).

$$L = H * D * BEF_2 * FC$$

Donde:

L = Pérdida anual de carbono debida a la tala para madera industrial y sin permiso, Mg C año⁻¹

H = Volumen de madera industrial extraído anualmente, en m³ año⁻¹

D = Densidad básica de la madera, t m.s / m³

BEF_2 = Factor de expansión de biomasa para convertir biomasa en la madera industrial a biomasa aérea total del árbol (incluye corteza), sin unidades.

FC = Fracción de carbono de la materia seca (por defecto=0.5), Mg C (t m.s)

El consumo residencial de leña se calculó con el modelo “*WISDOM*” (por su siglas en inglés, Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping; Masera *et al* 2005; 2006), de acuerdo con la ecuación 11.

$$C = \sum_{i=1}^5 (CU_i * f_i * CI) * (U + M * 0.5)$$

Donde:

C = consumo residencial de leña, Mg ms año⁻¹

CU_i = consumo per cápita de leña en en el estado, Mg ms año⁻¹

f_i = porcentaje de superficie del estado cubierta, %

CI = coeficiente que ajusta el consumo per cápita de leña por las temperatura mínima del estado. Este coeficiente fue estimado a partir de una correlación espacial entre las temperaturas mínimas anuales y el consumo per cápita reportado en la literatura, estimado para todo México.

U = Usuarios exclusivos de leña. Estimado como el producto del número de viviendas que consumen exclusivamente leña por el número promedio de habitantes por vivienda (INEGI 2000).

M = Usuarios mixtos de leña. Estimado como $U * 0.5$, (Díaz 2000). Se multiplica por 0.5 porque en teoría los usuarios mixtos consumen la mitad de leña que consumen los usuarios exclusivos.

El consumo de leña fue asignado a los tipos de bosques y selvas, de acuerdo a la distribución aproximada de la población. Posteriormente, para fines del formato de Excel que se utilizó para el cálculo de emisiones y áreas bajo manejo por extracción de leña, se convirtió el consumo de leña en m³ en rollo.

3.4. Emisiones de gases distintos al CO2 derivadas de los incendios forestales

Los incendios forestales son una de las perturbaciones más frecuentes y extendidas sobre la tierra y se consideran como una de las fuentes importantes de gases de efecto invernadero

(Crutzen *et al.*, 1979). Debido a la influencia antrópica, el régimen de perturbación por fuego (régimen de fuego) es cambiante y depende del manejo que se da en zonas aledañas a los bosques, además de que existe una tendencia marcada a presentarse con mayor frecuencia y severidad (Rowell y Moore 1999).

Las estimaciones por emisiones de incendios a nivel mundial aún está en etapas tempranas de investigación, no obstante, en trabajos recientes se ha reunido evidencia suficiente para inferir que las emisiones por incendios pueden ser, en algunos años, equiparables a las emitidas por la quema de combustibles fósiles (Andreae y Merlet, 2001).

En México, de acuerdo con las cifras oficiales SEMARNAT-CONAFOR, en el periodo de 1990 a 2006 ocurrieron en promedio 7,870 incendios con una afectación de aproximadamente 233,875 ha cada año, de los cuales el 99% son de tipo superficial, además de existir una gran variación año con año (SEMARNAT, 2009; Estrada, 2006). México es un país que requiere información a corto plazo sobre sus fuentes de emisiones a nivel nacional. Se ha estimado que el 40% de las emisiones totales del país provienen de los bosques y que los incendios son una fuente importante que contribuye al total de emisiones en el sector forestal (Masera *et al.*, 1997).

Las características de los incendios o el tipo de régimen de fuego puede ser muy variable, así como las emisiones (efecto de primer orden) según el ecosistema y las condiciones meteorológicas del año (Manson *et al.*, 2006). Tal es el caso de los incendios de 1998, un año muy seco, en donde los bosques tropicales fueron las principales zonas afectadas. Se estima que sólo estos ecosistemas aportaron el 45% de las emisiones totales en el país por incendios (Cairns *et al.*, 1999)

Debido a la magnitud del fenómeno, la perturbación por fuego se ha incorporado como una fuente importante de gases de efecto invernadero en el reporte de inventarios. Las Directrices recomendadas por la GBP2003 incorporan parámetros para calcular las emisiones causadas por incendios forestales. Por esto, se propone incorporar y adecuar la información y/o insumos del país que se requieren bajo dicho enfoque (IPCC 2003).

En la GPG se reconoce que es indispensable identificar las principales fuentes de GEI, comprender la naturaleza de los incendios, y en función de esto calcular las fuentes de emisión por tipo de cobertura forestal, componentes del bosque que dirigen la combustión, cantidad de combustible que la realiza, porción que es consumida y conocer el aporte de cada tipo de GEI que es emitido.

Método para calcular las emisiones por incendios

Para realizar las estimaciones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, óxido nitroso y otros óxidos de nitrógeno), se utilizaron los datos de la Comisión Nacional Forestal, correspondientes a los incendios forestales registrados en el estado de Chiapas para el periodo de 1990 a 2008.

Estas emisiones de gases de efecto invernadero se obtuvieron al aplicar la ecuación general de acuerdo a los lineamientos del IPCC en la sección de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (IPCC, 2003)

$$L_{fire} = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot 10^{-6}$$

Donde:

L_{fire} = cantidad de GEI debido a incendios forestales, Mg de GEI

A = área quemada, ha

B = masa de combustible “disponible”, kg de materia seca ha⁻¹

C = factor de consumo (fracción de biomasa consumida), sin dimensiones

D = factor de emisión, g (kg de materia seca)⁻¹

3.5. Incertidumbre de los cálculos de captura y emisión de carbono

La estimación de la incertidumbre de los cálculos de los flujos de carbono se basó en la combinación de las incertidumbres asociadas a los datos empleados de actividades y factores de emisión, los cuales se determinaron de manera estadística con funciones de densidades de probabilidad (cuando hubo datos para hacerlo), datos de incertidumbre por defecto (IPCC 2003) o a través del “juicio de los expertos”.

La incertidumbre asociada a las superficies forestales y a los incrementos de biomasa se determinó a través de su comparación con otros reportes nacionales. La incertidumbre asociada a la densidad básica de la madera se determinó estadísticamente observando la heterogeneidad de los datos usados. Finalmente, la incertidumbre de los cálculos de la biomasa cosechada se determinó a partir de su comparación con cálculos reportados por otras fuentes nacionales. En general, se encontraron pocos datos nacionales para las comparaciones, lo que puede generar un sesgo en los cálculos de incertidumbre. Sin embargo, a decir del IPCC (2003), la información sobre la incertidumbre no está orientada a cuestionar la validez de las estimaciones de inventarios, sino a ayudar a priorizar los esfuerzos por mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y orientar las decisiones sobre elección de la metodología. Para mantener la congruencia con las estimaciones de incertidumbre a nivel nacional, se aplicaron los mismos niveles de incertidumbre nacional a las categorías de uso de suelo para Chiapas (Anexo 3 explica los procedimientos y cálculos).

4. Resultados

4.1. Actividades

Datos de actividades en TF → TF

De acuerdo a los datos disponibles, un total de 202,393 ha de Tierras Forestales (bosques 191,992 ha y selvas 10,401 ha) se usan para la extracción de madera y 122,578 ha equivalentes para la extracción de leña (168,813 de bosques y 202,042 de selvas) entre 1990-2002, mientras un total de 270,030 ha de Tierras Forestales (bosques 256,153 ha y selvas 13,877 ha) se usan para la extracción de madera y 122,578 ha equivalentes para la extracción de leña (168,813 de bosques y 202,042 de selvas) entre 2003-2008. Por lo que se usaron estas superficies para el cálculo de incrementos (la dinámica de C en las Tierras Forestales sin manejo se considera en balance).

Cuadro 10. Áreas utilizadas para la extracción de madera (con permiso, doméstico sin permiso) y leña por tipo de bosque y selva, utilizada para calcular las tasas de incrementos de biomasa en Tierras Forestales que pertenece como Tierras Forestales para el período 1990-2002.

Tipo de bosque	Madera (ha)	Leña (ha)
Bosque de coníferas-primario	88,775	29,367
Bosque de coníferas-secundario	88,775	52,506
Bosque de encino-primario	7,221	8,292
Bosque de encino-secundario	7,221	13,807
Bosque mesofilo-primario		24,749
Bosque mesofilo-secundario		34,030
Selva caducifolia-primario		958
Selva caducifolia-secundario		30,977
Selva perennifolia-primario	5,200	65,109
Selva perennifolia-secundario	5,200	93,610
Selva subcaducifolia-primario		
Selva subcaducifolia-secundario		5,121
Total	202,393	370,855

Las áreas en proceso de recuperación de bosques degradados a bosques intactos disminuyeron de 7,029 hectáreas en el período de 1990-2002 a 4,091 hectáreas entre 2003 y 2008 (Cuadro 12). Las áreas en proceso de degradación sumaron a 57,115 hectáreas entre 1990-2002 y 30,848 hectáreas ente 2003-2008, lo que significa una disminución en el proceso de degradación en 46%, particularmente en bosques de coníferas, bosques mesófilos y selvas perennifolias (cuadro 13).

Cuadro 11. Áreas utilizadas para la extracción de madera (con permiso, doméstico sin permiso) y leña por tipo de bosque y selva, utilizada para calcular las tasas de incrementos de biomasa en Tierras Forestales que pertenece como Tierras Forestales para el período 2003-2008.

Tipo de bosque	Madera (ha)	Leña (ha)
Bosque de coníferas-primario	118,442	37,966
Bosque de coníferas-secundario	118,442	67,881
Bosque de encino-primario	9,634	10,720
Bosque de encino-secundario	9,634	17,850
Bosque mesofilo-primario		31,996
Bosque mesofilo-secundario		43,994
Selva caducifolia-primario		1,238
Selva caducifolia-secundario		40,048
Selva perennifolia-primario	6,938	84,174
Selva perennifolia-secundario	6,938	121,022
Selva subcaducifolia-primario		
Selva subcaducifolia-secundario		6,621
Total	270,030	463,510

Cuadro 12. Superficies recuperadas¹ por tipo de bosque entre 1990-2002 y 2003-2008.

Tipo de bosque	1990-2002 (ha/año)	2003-2008 (ha/año)
Bosque mesofilo secundario	909	299
Bosque de coníferas secundario	2,276	863
Bosque de encino secundario	116	209
Selva perennifolia secundario	3,114	2,365
Selva caducifolia secundario	480	262
Selva subcaducifolia secundario	134	94
Total	7,029	4,091

¹ Recuperación = Cambio de Bosques degradados (VSA, VSa, VSh) a Bosques intactos

Cuadro 13. Superficies degradadas¹ por tipo de bosque. Para las tasas de degradación periodo 1990-1993 se utilizó la tasa anual de 1993-2002.

Tipo de Bosque	1990-2002	2003-2008
	(ha/año)	
Bosque de coníferas	19,513	10,364
Bosque de encino	6,549	3,131
Bosque mesófilo	12,486	5,955
Selva perennifolia	17,887	7,217
Selva caducifolia	510	68
Selva subcaducifolia	171	411
Total	57,115	27,145

¹ Degradación = Cambio de Bosques intactos a Bosques degradados (VSA, VSa, VSh)

Tierras Agrícolas y Praderas que cambian a Tierras Forestales (Reforestación)

En el Cuadro 14 se presenta los cambios de uso de suelo observados entre 1990-2002 y 2003-2008 para TA → TF y PR → TF. Se observa una ligera reducción de reforestación en las Tierras Agrícolas y un aumento sustancial para las Praderas comparando el período de 1990-2002 y 2003-2008.

Cuadro 14. Cambio de Tierras Agrícolas y Praderas a Tierras Forestales en ha/año para los períodos 1990-2002 y 2003-2008.

Tipo de Bosques	TA → TF		PR → TF	
	1990-2002	2003-2008	1990-2002	2003-2008
	(Ha / año)			
Bosque de Coníferas Primario	905	298	426	219
Bosque de Coníferas Secundario	1,923	2,348	1,843	1,113
Bosque de Encino Primario	456	237	113	127
Bosque de Encino Secundaria	1,179	1,086	244	446
Bosque Mesófilo Primario	722	-	198	210
Bosque Mesófilo Secundaria	821	992	643	1,555
Selva Caducifolia Primaria	52	-	12	32
Selva Caducifolia Secundaria	3,204	2,459	2,166	2,759
Selva Perennifolia Primaria	145	168	343	1,124
Selva Perennifolia Secundaria	1,329	1,079	4,908	12,599
Selva Subcaducifolia Primaria	-	-	68	97
Selva Subcaducifolia Secundaria	358	191	1,121	915
Total	11,095	8,859	12,086	21,196

Tierras Forestales que cambian a Tierras Agrícolas y Praderas (Deforestación)

En el Cuadro 15 se presenta los cambios de uso de suelo observados entre 1990-2002 y 2003-2008 para TF → TA, TF → PR. El proceso de deforestación entre los períodos de análisis cambia ligeramente, en contrario al proceso nacional, donde se observa reducciones sustanciales en la deforestación en los últimos años.

Cuadro 15. Cambio de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Praderas en ha/año para los períodos 1990-2002 y 2003-2008.

Tipo de Bosques	TF → TA		TF → PR	
	1990-2002	2003-2008	1990-2002	2003-2008
	(Ha / año)			
Bosque de Coníferas Primario	2,600	438	2,461	1,364
Bosque de Coníferas Secundario	3,183	2,273	4,412	4,768
Bosque de Encino Primario	1,703	198	1,061	388
Bosque de Encino Secundaria	1,000	2,076	1,437	1,382
Bosque Mesófilo Primario	390	186	477	469
Bosque Mesófilo Secundaria	995	2,266	2,200	1,850
Selva Caducifolia Primaria	73	3,747	98	6,150
Selva Caducifolia Secundaria	5,250	-	11,125	130
Selva Perennifolia Primaria	141	365	3,935	3,957
Selva Perennifolia Secundaria	768	4,870	16,603	22,358
Selva Subcaducifolia Secundaria	271	138	1,862	469
Total	16,421	16,558	45,881	43,283

Tierras Agrícolas que cambian a Praderas y vice versa

En el cuadro 16 se presenta los cambios entre Tierras Agrícolas y Praderas en ambas direcciones. Se observa un ligero aumento en la dinámica entre Praderas y Tierras Agrícolas en los últimos años, aunque las superficies no son muy significativas

Cuadro 16. Cambios entre Tierras Agrícolas y Praderas (en ha/año) para los períodos 1990-200 y 2003-2008.

Tipo de Cambio	1990-2002	2003-2008
	(Ha / año)	
TA → PR	5,257	8,913
PR → TA	8,441	9,537

4.2. Factores de emisión

Densidad de biomasa en los tipos de vegetación del estado

En el Cuadro 17 se presenta las densidades de biomasa presentes en los tipos de vegetación del estado, agrupado de acuerdo a las categorías reportadas ante FAO. Los bosques mesófilos de montaña y selvas altas perennifolias son los tipos de vegetación con las densidades de biomasa más alta del estado. Cabe señalar que especialmente las selvas perennifolias es el tipo de vegetación con mayor tasa de deforestación y degradación.

Cuadro 17. Densidad de biomasa (en Mg materia seca./ha) en los tipos de vegetación de Chiapas que presentan cambios en el tiempo o que están bajo algún manejo forestal.

Tipo de vegetación	Biomasa (Mg m.s./ha)
Bosque de coníferas	162.5
Bosque de coníferas secundario	120.8
Bosque de encino	143.4
Bosque de encino secundario	100.7
Bosque mesófilo de montaña	211.0
Bosque mesófilo de montaña secundario	123.6
Selva caducifolia	85.32
Selva caducifolia secundario	85.32
Selva perennifolia	211.3
Selva perennifolia secundario	113.3
Selva sub-caducifolia secundario	132.8
Agricultura (De Jong et al 2000a y b)	13.0
Pastizal (De Jong et al 2000a y b)	21.0

Densidad de COS en los tipos de vegetación del estado

En el Cuadro 18 se presenta las densidades de COS en cada tipo de vegetación y su estado (intacto o degradado).

Cuadro 18. Carbono orgánico en el suelo (en Mg C/ha) en los tipos de vegetación (intactos y degradadas) de Chiapas que presentan cambios en el tiempo o que están bajo algún manejo forestal.

Tipo de vegetación	Intacto COS (d.e.) (Mg/ha)	degradado COS (d.e.) (Mg/ha)	f_{rég,ij}
Bosque de coníferas	105.7 (60.0)	83.17 (51.6)	0.787
Bosque de encino	115.4 (75.8)	90.69 (57.2)	0.786
Bosque mesófilo de montaña	219.1 (153.8)	172.22 (118.5)	0.786
Selva caducifolia	111.68 (73.0)	87.77 (51.7)	0.786
Selva perennifolia	136.81 (91.9)	88.31 (55.5)	0.645
Selva subcaducifolia	124.43 (82.6)	97.79 (62.6)	0.786
Pastizal	44.76 (22.7)		
Agrícola	47.61 (24.9)		

Estimación de tiempos de transición de SOC_i a SOC_j

No existen datos disponibles para estimar los tiempos que se requieren para la transición de COS entre un estado a otro estado (uso). Por lo anterior se utilizaron los factores de transición por defecto (20 años), ajustados, tomando en cuenta que para algún año de reporte, hay diferentes superficies en diferentes fases de transición.

Tasas de extracción de madera en bosques bajo manejo.

En los cuadros 19 y 20 se presentan las tasas de extracción anual de madera (industrial más sin permiso) y leña en cada tipo de bosque del estado para el período 1990-2002 y 2003-2008. Se observa un aumento en la extracción de madera en los 2000s, comparado con los 1990s (que tenía un período largo de veda forestal).

Cuadro 19. Tasa de extracción anual de madera comercial y sin permiso y leña para cada tipo de bosque de 1990-2002.

Tipo de bosque	Extracción de madera comercial y sin permiso (m³/ha/año)	Extracción de leña (m³/ha/año)
Bosque de coníferas-primario	100,361	215,995
Bosque de coníferas-secundario	100,361	386,189
Bosque de encino-primario	8,164	27,199
Bosque de encino-secundario	8,164	45,287
Bosque mesofilo-primario		148,800
Bosque mesofilo-secundario		204,601
Selva caducifolia-primario		4,538
Selva caducifolia-secundario		146,770
Selva perennifolia-primario	5,879	289,134
Selva perennifolia-secundario	5,879	415,705
Selva subcaducifolia-secundario		18,030
Total	228,807	1'902,248

Cuadro 20. Tasa de extracción anual de madera comercial y sin permiso y leña para cada tipo de bosque de 2003-2008.

Tipo de bosque	Extracción de madera comercial y sin permiso (m³/ha/año)	Extracción de leña (m³/ha/año)
Bosque de coníferas-primario	133,900	252,222
Bosque de coníferas-secundario	133,900	450,961
Bosque de encino-primario	10,892	31,761
Bosque de encino-secundario	10,892	52,883
Bosque mesófilo-primario		173,757
Bosque mesófilo-secundario		238,917
Selva caducifolia-primario		5,299
Selva caducifolia-secundario		171,386
Selva perennifolia-primario	7,844	337,628
Selva perennifolia-secundario	7,844	485,427
Selva subcaducifolia-secundario		21,054
Total	305,271	2'221,296

El aumento en el consumo de leña se deriva de un aumento en la población (Cuadro 21).

Cuadro 21. Estimación de consumo de leña anual a nivel estatal para 1990-2008

año	población	Consumo de leña (en Mg m.s./año)
1990	3,210,496	1,525,618
1991		1,561,191
1992		1,596,763
1993		1,632,335
1994		1,667,908
1995	3,584,786	1,703,480
1996		1,735,423
1997		1,767,367
1998		1,799,310
1999		1,831,253
2000	3,920,892	1,863,197
2001		1,898,605
2002		1,934,014
2003		1,969,422
2004		2,004,831
2005	4,293,459	2,040,239
2006		2,075,648
2007		2,111,056
2008		2,146,465

Consumo por habitante 0.4752 Mg m.s./año

Tasas de remoción de CO₂

Las tasas de remoción de CO₂ por los bosques manejados y reforestación varían de acuerdo con el tipo de vegetación (Cuadro 22). Los bosques con mayor tasa de incrementos presentan los bosques de coníferas primarios, seguido por los bosques mesófilo de montaña.

Cuadro 22. Tasas de incremento anual en volumen y biomasa para los diferentes tipos de vegetación

Tipo de bosque	Volumen (m³/ha/año)	Biomasa (t MS/ha/año)
Bosque de coníferas-primario	7.17	4.71
Bosque de coníferas-secundario	6.22	4.08
Bosque de encino-primario	1.93	2.84
Bosque de encino-secundario	2.25	3.32
Bosque mesófilo-primario	6.92	5.56
Bosque mesófilo-secundario	5.10	4.10
Selva caducifolia-primario	2.64	2.69
Selva caducifolia-secundario	2.97	3.03
Selva perennifolia-primario	5.42	5.89
Selva perennifolia-secundario	4.64	5.04
Selva subcaducifolia-primario	3.55	4.87
Selva subcaducifolia-secundario	3.58	4.92

4.3. Emisiones y remociones de CO₂

Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales (TF → TF)

Las TF → TF presentan emisiones de CO₂ en biomasa por la extracción de productos (Cuadro 23), en biomasa y SOC por la degradación de bosques intactos Cuadros 23 y 24) y remociones de CO₂ depositados en la biomasa por los incrementos en biomasa Cuadro 23). En Cuadro 25 se presenta Pérdidas y ganancias anuales de C (Kt C/año) en biomasa y COS en TF → TF, por tipo de bosque y emisiones y remociones de CO₂ (Gg CO₂/año), para 1990-2002 y 2003-2008.

Cuadro 23. Emisiones (madera, leña, degradación) y remociones (incrementos) de C en los bosques manejados para los períodos 1990-2002 y 2003-2008

1990-2002	Incremento	Madera	Leña	Degr.	Total
Tipo de vegetación	tC/año	tC/año	tC/año	tC/año	tC/año
Bosque de coníferas-primario	359,015	16,480	70,935	425,294	153,693
Bosque de coníferas-secundario	378,136	16,480	126,828	0	-234,828
Bosque de encino-primario	27,112	3,006	20,030	94,500	90,424
Bosque de encino-secundario	43,167	3,006	33,350	0	-6,811
Bosque mesófilo-primario	87,386		59,781	545,748	518,143
Bosque mesófilo-secundario	90,861		82,198	0	-8,662
Selva caducifolia-primario	1,650		2,314		663
Selva caducifolia-secundario	61,058		74,826		13,768
Selva perennifolia-primario	248,631	1,599	157,270	876,265	786,503
Selva perennifolia-secundario	308,686	1,599	226,116		-80,971
Selva subcaducifolia-primario			0	5,798	5,798
Selva subcaducifolia-secundario	15,236		12,370		-2,866
Total	1'620,937	42,169	866,018	1'947,604	1'234,854
2003-2008					
Bosque de coníferas-primario	475,302	21,987	82,832	225,888	144,595
Bosque de coníferas-secundario	493,059	21,987	148,100		322,972

Bosque de encino-primario	35,573	4,010	23,390	45,173	-37,001
Bosque de encino-secundario	56,537	4,010	38,944		13,582
Bosque mesófilo-primario	112,975		69,807	260,292	-217,124
Bosque mesófilo-secundario	115,187		95,985		19,202
Selva caducifolia-primario	2,134		2,702		-568
Selva caducifolia-secundario	78,242		87,375		-9,133
Selva perennifolia-primario	322,196	2,133	183,647	353,572	-217,156
Selva perennifolia-secundario	394,372	2,133	264,040		128,199
Selva subcaducifolia-primario				13,962	-13,962
Selva subcaducifolia-secundario	19,783		14,445		5,338
Total	2'105,360	56,261	1'011,268	898,886	138,945

Cuadro 24. COS inicial (COS_i) factor de régimen (f_{reg}), tiempo de transición (t) y pérdida total de carbono orgánico en el suelo (COS) por año (tC/año) por tipo de bosque por la degradación de bosques en los períodos 1990-2002 y 2003-2008

Tipo de vegetación	SOC _i tC/ha	f _{reg}	t	1990-2002	2003-2008
				tC/año	tC/año
Bosque de coníferas-primario	105.71	0.787	3	-146,610	-77,870
Bosque de encino-primario	115.4	0.786	3	-53,941	-25,785
Bosque mesófilo-primario	219.14	0.786	3	-195,276	-93,136
Selva caducifolia-primario	111.68	0.786	3	-4,065	-539
Selva perennifolia-primario	136.81	0.645	3	-289,167	-116,678
Selva subcaducifolia-primario	124.43	0.786	3	-1,515	-3,648
Total				-690,574	-317,655

Cuadro 25. Pérdidas y ganancias anuales de C (Kt C/año) en biomasa y COS en TF → TF, por tipo de bosque y emisiones y remociones de CO₂ (Gg CO₂/año), para 1990-2002 y 2003-2008.

Tipo de vegetación	1990-2002			2003-2008		
	Biomasa	COS	Total	Biomasa	COS	Total
	Kt C/año			Kt C/año		
Bosque de coníferas-primario	154	147	301	-145	78	-67
Bosque de coníferas-secundario	-235		-235	-323		-323
Bosque de encino-primario	90	54	144	37	26	63
Bosque de encino-secundario	-7		-7	-14		-14
Bosque mesófilo-primario	518	195	713	217	93	310
Bosque mesófilo-secundario	-9		-9	-19		-19
Selva caducifolia-primario	1	4	5	1	1	1
Selva caducifolia-secundario	14		14	9		9
Selva perennifolia-primario	787	289	1,076	217	117	334
Selva perennifolia-secundario	-81		-81	-128		-128
Selva subcaducifolia-primario	6	2	8	14	4	18
Selva subcaducifolia-secundario	-3		-3	-5		-5
Total (Kt C/año)	1,235	691	1,926	-139	318	179
Emisiones (+) y remociones (-) (Gg CO ₂)	4,528	2,532	7,060	-509	1,165	655

La suma total de emisiones y remociones de CO₂ en TF → TF indica que durante el periodo 1990-2002 hubo una pérdida sustancial de biomasa y SOC, principalmente por el efecto de la degradación de los bosques y selvas, lo que tuvo como consecuencia una emisión neta de 4,528 Gg CO₂ en biomasa y 2,532 Gg CO₂ en SOC al año. En el período entre 2003-2008 los flujos de carbono en TF → TF representan una ligera recuperación, acumulando en promedio 655 Gg CO₂ al año, principalmente por el aumento en el área de bosques con manejo y disminución sustancial en la superficie de bosques degradados.

Tierras Agrícolas y Praderas que cambian en Tierras Forestales (Reforestación; TA → TF y PR → TF)

Los cambios de uso de suelo de Tierras Agrícolas y Praderas a Tierras Forestales remueven CO₂ de la atmósfera a la biomasa y COS. Las tasas de acumulación de biomasa y COS por año dependen del tipo de vegetación, condición ambiental y clima principalmente. Para fines de este estudio, se utilizaron las tasas de acumulación de biomasa estimada a nivel nacional para los diferentes tipos de bosques, ajustadas a las condiciones climáticas de Chiapas. Para la acumulación de COS en el suelo, no hay datos disponibles, por lo que se utilizaron los factores de régimen calculado para este estudio y el tiempo de transición por defecto de IPCC (20 años).

Las tasas de acumulación en biomasa y suelo por tipo de vegetación para TA → TF y PR → TF se presentan en Cuadro 26 para 1990-2002 y Cuadro 27 para 2003-2008.

Cuadro 26. Captura anual de C en PR → TF y TA → en biomasa y suelo para los diferentes tipos de bosque, durante 1990-2002.

1990-2002	PA → TF		TA → TF	
	Biomasa t C/año	Suelo	Biomasa t C/año	Suelo
Bosque mesófilo de montaña	551	1,728	2,008	6,196
Bosque de coníferas	639	827	956	1,179
Bosque de coníferas encino	365	472	1,176	1,450
Bosque de encino	150	372	514	1,226
Bosque de encino-coníferas	11	27	134	319
Selva perennifolia	939	1,467	429	649
Selva caducifolia	18	39	79	167
Selva perennifolia	37	81	0	0
Selva sub-caducifolia	88	194	0	0
Selva sub-caducifolia	25	40	0	0
Bosque mesófilo de montaña secundario	1,318	4,100	1,681	5,116
Bosque de coníferas secundario	2,008	1,889	1,261	1,098
Bosque de coníferas-encino secundario	1,755	1,651	2,666	2,322
Bosque de encino secundario	323	448	1,444	1,873
Bosque de encino-coníferas secundario	82	113	513	666
Selva perennifolia secundaria	11,131	9,613	2,943	2,376
Selva caducifolia secundario	3,285	4,659	4,858	6,433
Selva sub-caducifolia secundario	0	0	0	0
Selva sub-caducifolia secundario	2,728	2,971	872	899
Selva sub-perenifolia secundario	1,202	1,309	393	406
Total	26,654	31,998	21,929	32,374

Remociones de CO₂ (en Gg CO₂)	-98	-117	-80	-119
--	------------	-------------	------------	-------------

Cuadro 27. Captura anual de C en PR → TF y TA → en biomasa y suelo para los diferentes tipos de bosque, durante 1990-2002.

2003-2008	PA --> TF		TA --> TF	
	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo
	t C/año		t C/año	
Bosque mesófilo de montana	585	1,834	0	0
Bosque de coníferas	373	482	352	434
Bosque de coníferas encino	142	184	350	432
Bosque de encino	115	287	261	622
Bosque de encino-coníferas	65	161	75	180
Selva perennifolia	3,235	5,053	494	748
Selva caducifolia	49	107	0	0
Selva perennifolia	40	87	0	0
Selva sub-caducifolia	147	325	0	0
Selva sub-caducifolia	0	0	0	0
Bosque mesófilo de montana secundario	3,184	9,908	2,032	6,183
Bosque de coníferas secundario	395	372	1,076	937
Bosque de coníferas-encino secundario	1,878	1,766	3,719	3,238
Bosque de encino secundario	631	873	1,234	1,602
Bosque de encino-coníferas secundario	110	152	568	737
Selva perennifolia secundaria	31,574	27,266	2,482	2,003
Selva caducifolia secundaria	4,184	5,934	3,730	4,939
Selva sub-caducifolia secundaria	26	37	0	0
Selva sub-caducifolia secundaria	2,185	2,380	465	479
Selva sub-perennifolia secundaria	187	203	232	239
Total	49,106	57,413	17,070	22,773
Remociones de CO ₂ (en Gg CO ₂)	-180	-211	-63	-83

Tierras Forestales que cambian en Tierras Agrícolas y Praderas (Deforestación; TF → TA y TF → TA)

Los cambios de uso de suelo de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y Praderas emiten CO₂ a la atmósfera de la biomasa y COS. La pérdida de biomasa y COS por año dependen de la diferencia entre biomasa y COS inicial (en los bosques) y biomasa y COS en las Tierras Agrícolas y Praderas y la tiempo de transición de biomasa y COS. Para fines de este estudio, se utilizaron las tasas de transición para la biomasa de 1 (se pierde toda la biomasa en el año del cambio de uso de suelo y 1.43 para COS (tomando el valor por defecto de IPCC {20 años} entre las áreas en transición {promedio de 14} en el año de reporte) para los diferentes tipos de bosques.

Las tasas de pérdida anual de C de la biomasa y COS por tipo de vegetación para TF → TA y TF → PR se presentan en Cuadro 28 para 1990-2002 y Cuadro 29 para 2003-2008.

Cuadro 28. Pérdida de C en biomasa y COS anual por la deforestación bruta (TF → TA y TF → PR), por cada tipo de bosque y sus emisiones totales de CO₂ correspondientes, de 1990-2002.

1990-2002	TF --> PR		TF --> TA	
	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo
	Kt C/año		Kt C/año	
Bosque de coníferas	-148	-105	-144	-106
Bosque de coníferas secundario	-174	-119	-110	-79
Bosque de encino	-54	-52	-78	-81
Bosque de encino secundario	-42	-46	-24	-30
Bosque mesófilo de montana	-40	-58	-31	-47
Bosque mesófilo de montana secundario	-90	-196	-36	-87
Selva caducifolia	-2	-5	-1	-3
Selva caducifolia secundaria	-241	-335	-88	-148
Selva perennifolia	-333	-254	-11	-9
Selva perennifolia secundaria	-592	-506	-24	-22
Selva sub-caducifolia secundaria	-85	-69	-11	-10
Total	-1,800	-1,745	-557	-621
Emisiones de CO₂ (en Gg CO₂)	6,600	6,399	2,043	2,276

Cuadro 29. Pérdida de C en biomasa y COS anual por la deforestación bruta (TF → TA y TF → PR), por cada tipo de bosque y sus emisiones totales de CO₂ correspondientes, de 2003-2008.

2003-2008	TF --> PR		TF --> TA	
	Biomasa	Suelo	Biomasa	Suelo
	Kt C/año		Kt C/año	
Bosque de coníferas	-82	-58	-24	-18
Bosque de coníferas secundario	-188	-128	-78	-57
Bosque de encino	-20	-19	-9	-9
Bosque de encino secundario	-40	-44	-51	-63
Bosque mesófilo de montana	-40	-57	-15	-22
Bosque mesófilo de montana secundario	-75	-165	-81	-198
Selva caducifolia	-3	-6	0	0
Selva caducifolia secundario	-133	-185	-63	-105
Selva perennifolia	-335	-255	-29	-23
Selva perennifolia secundario	-797	-682	-149	-139
Selva sub-caducifolia secundario	-21	-17	-6	-5
Total	-1,734	-1,617	-505	-638
Emisiones de CO₂ (en Gg CO₂)	6,357	5,930	1,852	2,340

Tierras Agrícolas que cambian en Praderas y viceversa (TA → PR y PR → TA)

Los cambios de uso de suelo de Tierras Agrícolas a Praderas y viceversa emiten o remueven CO₂ dependiendo de la cantidad de biomasa y COS en la condición inicial y el uso en el año de reporte. Para fines del estudio se asumió que los cambios en el uso de suelo genera un cambio inmediato de biomasa de la condición inicial a la condición en el año de reporte y que el COS se transfiere del estado inicial al estado del año de reporte, de acuerdo a tiempo de transición por defecto (20 años), ajustado a las superficies en transición anteriores al año de reporte.

Las tasas de pérdida o ganancia anual de C de la biomasa y COS por tipo de vegetación para PR

→ TA y TA → PR se presentan en Cuadro 30 para 1990-2002 y 2003-2008.

Cuadro 30. Pérdida y ganancia anual de C en biomasa y COS para PR → TA y TA → PR, para los años 1990-2002 y 2003-2008.

Tipo de vegetación	1990-2002		2003-2008	
	Biomasa t C/año	Suelo t C/año	Biomasa t C/año	Suelo t C/año
Praderas a Tierras Agrícolas	-67,889	16,839	-76,706	19,027
Tierras Agrícolas a Praderas	42,284	-10,488	71,690	-17,782
Total	-25,605	6,351	71,690	-17,782
Emisiones (+) y remociones (-) de CO₂ (Gg CO₂)	94	-23	-263	65

4.4. Balance de emisiones y remociones de CO₂ en el sector USCUSyS.

Sumando los flujos totales de CO₂ de los sectores Tierras Forestales, Tierras Agrícolas y Praderas, se observa emisiones de CO₂ que varían entre 22,718 (1990-2002) y 17,377 (2003-2008) Gg CO₂ por año (Figura 8; Cuadro 31).

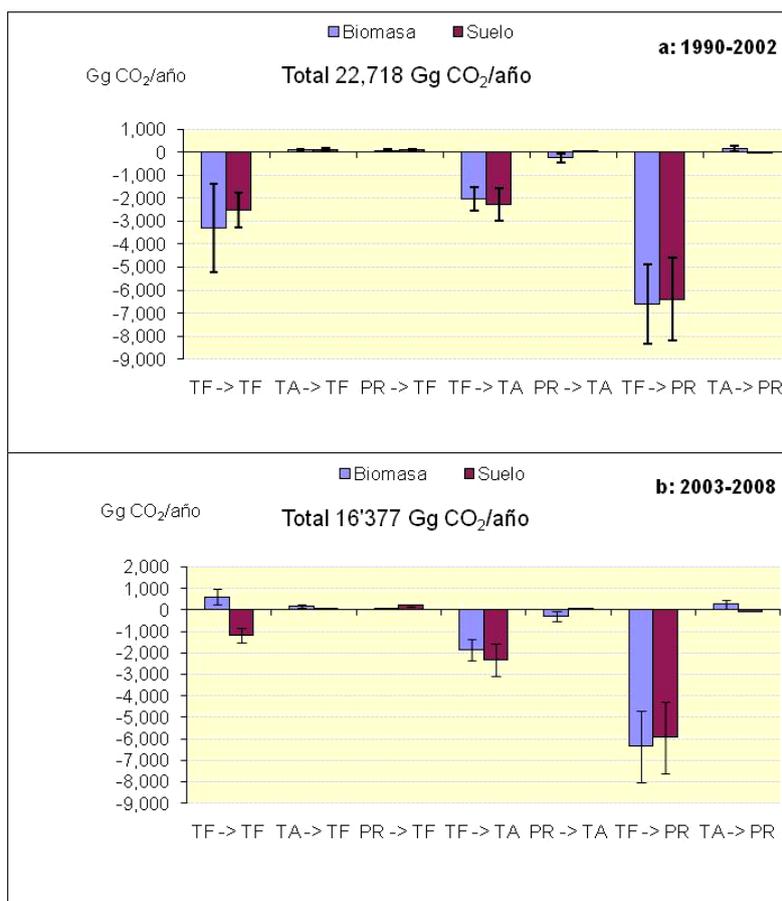


Figura 8. Emisiones y captura anuales en las diferentes categorías de uso de suelo actual y histórico para los períodos 1990-2002 y 2003-2008. Las líneas negras indican la incertidumbre en las estimaciones. Flujos negativos son emisiones, flujos positivos representan captura. TF = Tierras Forestales, TA = Tierras Agrícolas y PR = Praderas.

Cuadro 31. Flujos anuales de CO₂ y niveles de incertidumbre para los períodos 1990-2002 y 2003-2008 en el sector USCUSyS, separados por biomasa y suelo. Flujos negativos son emisiones, flujos positivos representan captura. TF = Tierras Forestales, TA = Tierras Agrícolas y PR = Praderas.

1990-2002	Biomasa	Suelo
Uso	Gg CO₂ / año	Gg CO₂ / año
TF -> TF	-3,312 (±1,924)	-2,532 (±760)
TA -> TF	98 (±33)	119 (±41)
PR -> TF	80 (±31)	117 (±29)
TF -> TA	-2,043 (±523)	-2,276 (±728)
PR -> TA	-249 (±206)	62 (n.d.)
TF -> PR	-6,600 (±1,716)	-6,399 (±1,792)
TA -> PR	155 (±126)	-38 (n.d.)
Total	-22,818 (±10,109)	
2003-2008	Biomasa	Suelo
Uso	Gg CO₂ / año	Gg CO₂ / año
TF -> TF	607 (±353)	-1,165 (±349)
TA -> TF	180 (±61)	211 (±51)
PR -> TF	63 (±24)	83 (±29)
TF -> TA	-1,852 (±474)	-2,340 (±749)
PR -> TA	-281 (±232)	70 (n.d.)
TF -> PR	-6,357 (±1,653)	-5,930 (±1,661)
TA -> PR	263 (±213)	-65 (n.d.)
Total	16,379 (±7,256)	

4.5. Emisiones de gases distintos al CO₂ derivados de los incendios reportados.

Los tipos de vegetación que emitieron mayores cantidades de gases distintos al CO₂, derivados de incendios forestales para el periodo 1990-2006, fueron los pastizales y los matorrales; por otro lado, quienes emitieron menores cantidades de estos gases fueron el bosque de latifoliadas y, selva alta y selva mediana.

Estas emisiones de gases de efecto invernadero se obtuvieron al aplicar la ecuación general de acuerdo a los lineamientos del IPCC en la sección de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (IPCC, 2003):

$$L_{fire} = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot 10^{-6}$$

donde:

L_{fire} = cantidad de GEI debido a incendios forestales, Mg de GEI

A = área quemada, ha

B = masa de combustible “disponible”, kg de materia seca ha⁻¹

C = factor de consumo (fracción de biomasa consumida), sin dimensiones

D = factor de emisión, g (kg de materia seca)⁻¹

Masa de combustible “disponible”. En este rubro se tomaron los datos de Morfín-Ríos y colaboradores (2008); en dicho reporte se realizó una revisión bibliográfica para obtener los valores de masa para cada tipo de vegetación (clase de condición de combustible), la cual fue referida a cuatro estratos de la cama de combustibles: 1) capa de fermentación, 2) hojas y material leñoso caído menor a 7.62 cm, 3) material leñoso caído mayor a 7.62 cm, y 4) combustibles vivos. El aporte de cada uno de estos estratos varía según el tipo de vegetación y en algunos casos se puede encontrar ausente alguno de los estratos (Cuadro 32).

Cuadro 32. Mediana de la cantidad de biomasa (Mg m. s. ha-1) de cada categoría por Clase de Condición de Combustible (CCC), rango intercuartil (medida de dispersión), número de sitios que registran la categoría (n) y prueba de distribución normal de Shapiro Wilk (SW-P). Tomado de Morfín-Ríos *et al.*, 2008.

Clase de condición de combustible y Mediana categorías	Mediana	Rango intercuartil	n	SW-P (p<0.05)
<i>Bosque de pino</i>				
Fermentación	23.125	23.15	22	0.095*
Hojas y MLC <7.62cm	10.85	6.48	27	0.115*
MLC >7.62	10.46	23.22	26	0.001
Combustibles vivos	0.80	1.187	18	0.000
<i>Bosque de Oyamel</i>				
Fermentación	28.74	14.55	3	0.846*
Hojas y MLC <7.62cm	10.96	7.08	16	0.174*
MLC >7.62	21.53	23.49	16	0.703*
Combustibles vivos	3.09	4.12	7	0.696*
<i>Bosque de Táscate</i>				
Fermentación	--	--	--	--
Hojas y MLC <7.62cm	7.94	6.84	9	0.879*
MLC >7.62	0	0.89	9	0.000
Combustibles vivos	1.19	2.95	9	0.066*
<i>Bosque de coníferas veg sec²</i>				
Fermentación	2.72	7.29	9	0.001
Hojas y MLC <7.62cm	6.90	7.23	19	0.138*
MLC >7.62	0.47	5.41	19	0.000
Combustibles vivos	3.09	6.35	19	0.000
<i>Bosque de pino-encino y encino pino</i>				
Fermentación	15.19	5.97	9	0.774*
Hojas y MLC <7.62cm	7.87	2.11	13	0.361*
MLC >7.62	6.89	7.82	13	0.006
Combustibles vivos	0.871	2.87	8	0.072*
<i>Bosque de coníferas-latifoliadas veg sec²</i>				
Fermentación	2.72	7.29	9	0.001
Hojas y MLC <7.62cm	6.90	7.23	19	0.138*
MLC >7.62	0.47	5.41	19	0.000
Combustibles vivos	3.09	6.35	19	0.000
<i>Bosque de encino</i>				
Fermentación	16.29	18.35	4	0.500*
Hojas y MLC <7.62cm	9.51	5.91	12	0.573*
MLC >7.62	0.24	11.72	12	0.000
Combustibles vivos	2.20	4.25	6	0.469*
<i>Bosque mesófilo de montaña¹</i>				
Fermentación	11.93	11.36	5	0.409*
Hojas y MLC <7.62cm	2.02	0.79	5	0.082*
MLC >7.62	17.20	21.6	5	0.536*
Combustibles vivos	0.34	--	1	--

<i>Bosque de latifoliadas veg sec²</i>				
Fermentación	2.72	7.29	9	0.001
Hojas y MLC <7.62cm	6.90	7.23	19	0.138*
MLC >7.62	0.47	5.41	19	0.000
Combustibles vivos	3.09	6.35	19	0.000
<i>Selva alta</i>				
Fermentación	--	--	--	--
Hojas y MLC <7.62cm	6.05	1.1	6	0.765*
MLC >7.62	7.1	11.75	7	0.056*
Combustibles vivos	10.1	9.8	7	0.872*
<i>Selva mediana</i>				
Fermentación	--	--	--	--
Hojas y MLC <7.62cm	7.93	9.06	14	0.007
MLC >7.62	28.65	26.5	14	0.001
Combustibles vivos	--	--	--	--
<i>Selva alta y mediana veg sec</i>				
Fermentación				
Hojas y MLC <7.62cm	5.2	2.8	8	0.649*
MLC >7.62	11.15	5.85	8	0.092*
Combustibles vivos	5.9	2.45	8	0.869*
<i>Selva baja</i>				
Fermentación	--	--	--	--
Hojas y MLC <7.62cm	15.33	10.52	7	0.132*
MLC >7.62	25.41	38.89	7	0.031
Combustibles vivos	5.94	3.19	3	0.829*
<i>Selva baja veg sec</i>				
Fermentación				
Hojas y MLC <7.62cm	2.4	0.4	3	0.000
MLC >7.62	1.4	0.05	3	0.000
Combustibles vivos	2.7	1.7	3	0.261*

*Datos que presentan distribuciones normales.

¹ Para esta CCC el grupo de Hojas y MLC <7.62cm, solo contiene hojas y otros restos vegetativos; y en el MLC >7.62 contiene la totalidad del MLC.

² Se integró un mismo valor para las fases herbáceas-arbustivas de coníferas, coníferas-latifoliadas y latifoliadas.

Área quemada. Esta información se obtuvo de la Comisión Nacional Forestal, cuyas bases de datos presentan datos de tipo de incendio (superficial, de copa, subterráneo y mixto), tipo de ecosistema afectado clasificada como Templada (bosques), Tropical (selvas) y de Zonas Árida (matorral desértico); además se tienen los datos separados de acuerdo a cuatro cubiertas vegetales (renuevo, arbolado, matorrales y arbustos, y pastizal). Lo primero que se realizó fue una base con información de la superficie por tipo de vegetación que se encuentra en el estado de Chiapas; de esta base se excluyó la vegetación que se encuentra poco afectada por los incendios como selva de galería, humedales, vegetación de dunas costeras y zonas de agricultura. A las bases de datos de la CONAFOR se le asignó la clave del municipio, para los datos de 2001 a 2008. Estas dos bases de datos (vegetación por municipio e incendios forestales por municipio) fueron unidas. Ya con esta base de datos integrada se asignaron las superficies incendiadas de las categorías renuevo, arbolado, matorrales y arbustos, y pastizal, según el porcentaje del tipo de vegetación representado en cada municipio; dicha asignación se hizo de la siguiente manera: 1) la superficie de pastizal fue asignado a los pastizales presentes en cada municipio, si no había registro de pastizales se asignaba a la vegetación secundaria de matorrales, arbustos y hierbas; 2) las hectáreas de matorrales fueron asignadas a la vegetación secundaria de matorrales, arbustos y hierbas, en los casos en que no había dicha vegetación registrada para el municipio, esta se asignó a la vegetación primaria y secundaria arbórea; y 3) las categorías de renuevo y arbolado adulto fueron asignadas a la vegetación primaria y

secundaria arbórea, cuando no se encontraba esta vegetación, las hectáreas eran asignadas a la vegetación secundaria de matorrales, arbustos y hierbas.

En la Figura 9 se presenta la superficie total afectada por incendios para cada uno de los años de este periodo; el año con mayor afectación en el estado de Chiapas fue 1998 seguido por 2003 y 1997. En el año 1998 el país se vio fuertemente afectado por este tipo de disturbios, lo cual se observa en la gráfica en donde se dispara la superficie incendiada para dicho año, siendo más del doble de lo observado para 1997 que fue el segundo año con mayor superficie afectada por incendios. Además, en el Cuadro 33 y en la Figura 10, se muestra la superficie afectada por tipo de vegetación; los datos presentados en el Cuadro 32 son promedios de todo el periodo, mientras que en la Figura 9 se muestra la superficie total del periodo. Podemos observar que también, entre los diferentes tipos de vegetación hay una gran diferencia en cuanto a su afectación por incendios, siendo los pastizales los que presentan mayor superficie dañada por esta perturbación (61.52%), seguido de la vegetación secundaria de selvas altas y medianas (10.66%) así como de vegetación secundaria de bosques de coníferas-latifoliadas (8.18%).

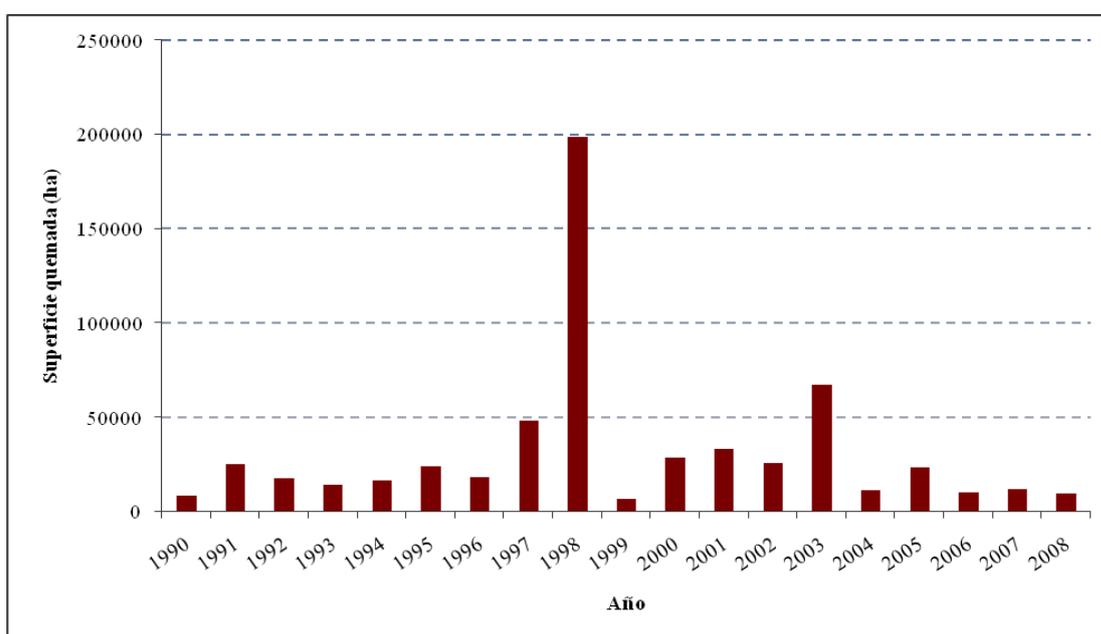


Figura 9. Superficie (ha) total anual afectada por incendios forestales en el estado de Chiapas, correspondiente al periodo 1990-2008.

Cuadro 33. Superficie promedio (ha, \pm DE) afectada por incendios forestales para cada tipo de cubierta vegetal y su correspondiente Clase de condición de combustible (1990-2008), con el porcentaje de superficie aportado por clase.

Tipo de vegetación INEGI 2006	Clase de condición de combustible	Superficie quemada (ha)	Superficie (%)
Bosque de coníferas	Bosque de Pino	470 (\pm 630)	1.50
	Bosque de Oyamel	0.62 (\pm 0.85)	0.002
Bosque de coníferas veg sec	Bosque de coníferas veg sec	1087 (\pm 1453)	3.48
Bosque de coníferas-latifoliadas	Bosque de pino-encino y encino pino	430 (\pm 576)	1.38
Bosque de coníferas-	Bosque de coníferas-	2,553 (\pm 3441)	8.18

latifoliadas veg sec	latifoliadas veg sec		
Bosque de latifoliadas	Bosque de encino	169 (± 226)	0.54
	Bosque mesófilo de montaña	407 (± 556)	1.30
Bosque de latifoliadas veg sec	Bosque de latifoliadas veg sec	1,914 (± 2591)	6.13
Selva alta y mediana	Selva alta	437 (± 759)	1.40
	Selva mediana	3,07 (± 4.53)	0.01
Selva alta y mediana veg sec	Selva alta y mediana veg sec	3,326 (± 5777)	10.66
Selva baja	Selva baja	31 (± 57)	0.10
Selva baja veg sec	Selva baja veg sec	1,185 (± 1924)	3.80
Pastizales	Pastizales naturales y cultivados	19,203 ($\pm 1,780$)	61.52
SUPERFICIE TOTAL		31,216	

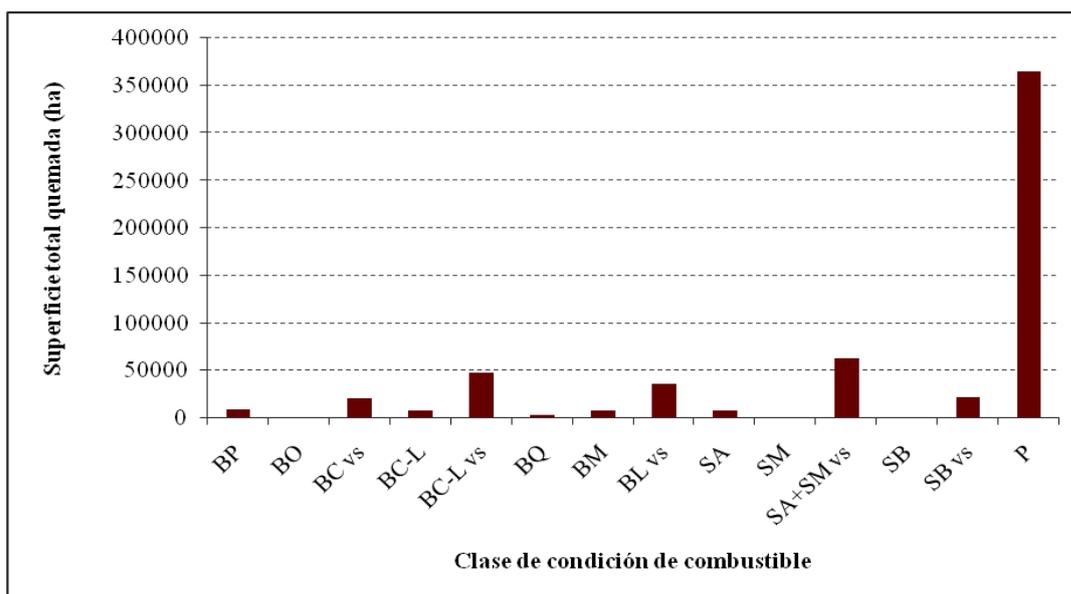


Figura 10. Superficie total (ha) afectada por incendios, de acuerdo a la Clase de condición de combustible, correspondiente al periodo 1990-2008. BP= bosque de pino, BO= bosque de oyamel, BC vs= bosque de coníferas con vegetación secundaria, BC-L= bosque de coníferas-latifoliadas, BC-L vs= bosque de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria, BQ= bosque de encino, BM= bosque mesófilo de montaña, BL vs= bosque de latifoliadas con vegetación secundaria, SA= selva alta, SM= selva mediana, SA+SM vs= selva alta y selva mediana con vegetación secundaria, SB= selva baja, SB vs= selva baja con vegetación secundaria, y P= pastizales naturales e inducidos.

Factor de consumo. Con base en los estratos de las clases de condición de combustible se obtuvieron los factores de consumo; dichos datos se tomaron de Morfín-Ríos y colaboradores (2008), quienes compilaron la información del software CONSUME3 (para bosques de coníferas, coníferas-latifoliadas y latifoliadas; Cuadro 34), de Kauffman *et al.* 2003 (para el caso de las selvas; Cuadro 35) y para el resto de las clases de condición de combustible se

consideraron los valores establecidos en los lineamientos del IPCC en la sección de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (IPCC, 2003).

Cuadro 34. Factores de consumo por Clase de condición de combustible y grupo de combustible obtenidos del software CONSUME 3. Tomado de Morfín-Ríos *et al.*, 2008.

Clase de condición de combustible	Factores de Consumo (sin dimensiones)			
	Horizonte de fermentación	Hojas MLC<7.62 cm	MLC>7.62cm	Combustibles vivos
Bosque de pino	0.60	0.93	0.55	0.91
Bosque de Oyamel	0.47	0.93	0.55	0.91
Bosque de táscate	--	0.93	0.55	0.91
Bosque de pino-encino y encino pino	0.56	0.93	0.55	0.91
Bosque de encino	0.45	0.93	0.55	0.91
Bosque mesófilo de montaña	0.62	0.93	0.78 ¹	0.91
Bosque de coníferas veg sec	0.53	0.93	0.55	0.91
Bosque de coníferas-latifoliadas veg sec	0.56	0.93	0.55	0.91
Bosque de latifoliadas veg sec	0.45	0.93	0.55	0.91

¹ Para el bosque mesófilo de montaña este grupo incluyó todo el MLC por la forma en que venía reportada la información de las categorías de combustibles. Se obtuvo un valor general de consumo para todo el MLC.

² Por no contar con cobertura arbórea, una capa desarrollada en el horizonte de fermentación y factores altos de consumo de combustibles vivos, se asume que estos combustibles se consumen en su totalidad.

Cuadro 35. Factores de consumo por Clase de condición de combustible y grupo de combustible obtenidos del IPCC 2003 y de Kauffman *et al.* 2003 para bosques tropicales. Tomado de Morfín-Ríos *et al.*, 2008.

Clase de condición de combustible	Factores de Consumo (sin dimensiones)			
	Horizonte de fermentación	Hojas y MLC<7.62 cm	MLC>7.62cm	Combustibles vivos
Selva alta ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
Selva mediana ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
Selva alta y mediana veg sec ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
Selva baja ²	--	0.98	0.91	1
Selva baja veg sec ²	--	0.98	0.91	1
Pastizales naturales y cultivados ¹				0.77

¹ IPCC 2003

² Kauffman *et al.* 2003

Factor de emisión. En el caso de los factores de emisión se consideraron los valores reportados por Andreae y Merlet (2001) quienes hicieron una revisión sobre las publicaciones de estos factores para el CO₂ y gases traza (CH₄, CO, N₂O y NO_x) en bosques (Cuadro 36). En la categoría de bosques tropicales se incluye a bosques templados, boreales y matorrales de la zona templada, en la de bosques extratropicales se considera a los bosques de coníferas, coníferas-latifoliadas, latifoliadas y matorrales, y en sabanas y pastizales a los pastizales naturales y cultivados.

Cuadro 36. Factores de emisión (g de m. s. por kilogramo) por tipo de vegetación y especie química (Andreae y Merlet 2001).

Tipo de vegetación	CO₂	CH₄	CO	N₂O	NO_x
Bosques extratropicales	1569	4.7	107	0.26	3
Bosques tropicales	1580	6.8	104	0.2	1.6
Sabanas y pastizales	1613	2.3	65	0.21	3.9

Una vez aplicada la ecuación general propuesta por el IPCC, se obtuvieron los resultados presentes en el Cuadro 37. Dichos valores son anuales (del periodo 2005-2008) por tipo de vegetación y especie química, en donde podemos ver que los pastizales, las selvas alta y mediana con vegetación secundaria y los bosques de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria tienen las mayores emisiones de CO₂, CH₄, NO, N₂O y NO_x. Así mismo, en la Figura 11 se muestran las emisiones totales por año de los gases traza, y en la Figura 12 las emisiones de CO₂; el año con mayores emisiones de GEI por incendios fue 1998, mientras que el año con menores emisiones fue el 1999; la variación interanual de los incendios es muy alta. Por otro lado, en la Figura 13 y Figura 14 se observan las emisiones totales en el periodo considerado pero en este caso se presenta por tipo de vegetación, siendo los pastizales, las selvas alta y mediana con vegetación secundaria y los bosques de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria los tipos de vegetación que contribuyen con la mayor parte de las emisiones de GEI (72.82%); la selva baja y las selvas alta y mediana son quienes menos aportan a las emisiones, y juntas aportan el 2.46% del periodo (Figura 14). El CO₂ es el GEI que presenta mayor aportación a las emisiones (9,112 Gg CO₂) seguido del monóxido de carbono (983 Gg CO₂ eq, Cuadro 7).

Cuadro 37. Emisiones anuales promedio de los gases de efecto invernadero (Mg) por tipo de vegetación, para el periodo comprendido entre los años 1990-2008 para el estado de Chiapas.

Tipo de vegetación INEGI 2006	Especie química (Mg)				
	CO₂	CH₄	CO	N₂O	NO_x
Bosque de coníferas	22,470	67	1,532	3.72	43
Bosque de coníferas veg sec	18,542	56	1,265	3.07	35
Bosque de coníferas- latifoliadas	13,773	41	939	2.28	26
Bosque de coníferas- latifoliadas veg sec	53,981	162	3,681	8.95	103
Bosque de latifoliadas	19,547	59	1,333	3.24	37
Bosque de latifoliadas veg sec	32,161	96	2,193	5.33	61
Selva alta y mediana	8,118	35	534	1.03	8
Selva alta y mediana veg sec	58,471	252	3,849	7.40	59
Selva baja	2,148	9	141	0.27	2
Selva baja veg sec	11,844	51	780	1.50	12
Pastizales naturales y cultivados	238,509	340	9,611	31.05	577
TOTAL del periodo	479,563	1,168	25,859	67.84	965

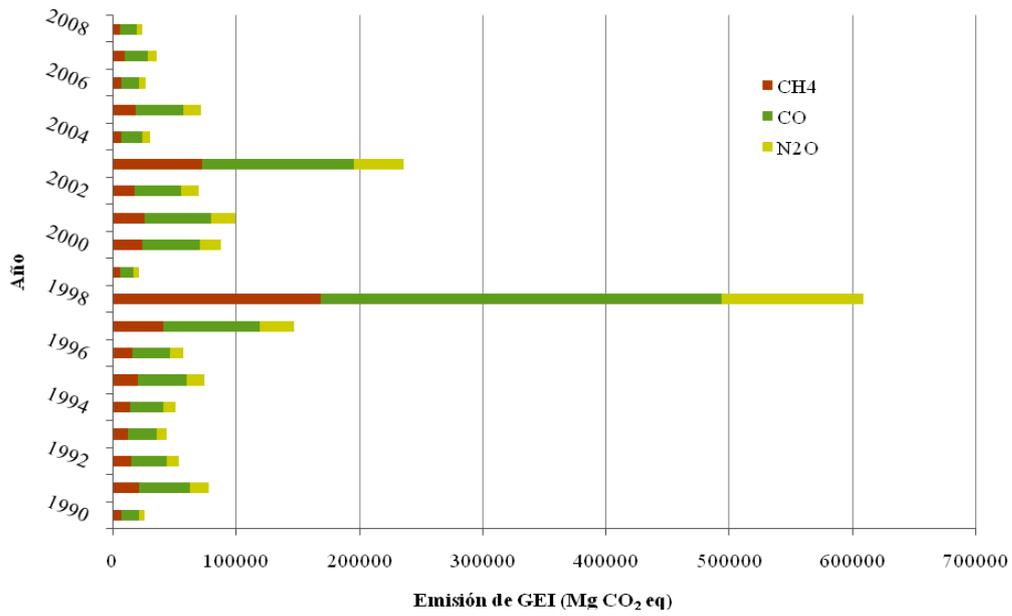


Figura 11. Emisiones totales de gases traza (Mg) por año, para el estado de Chiapas.

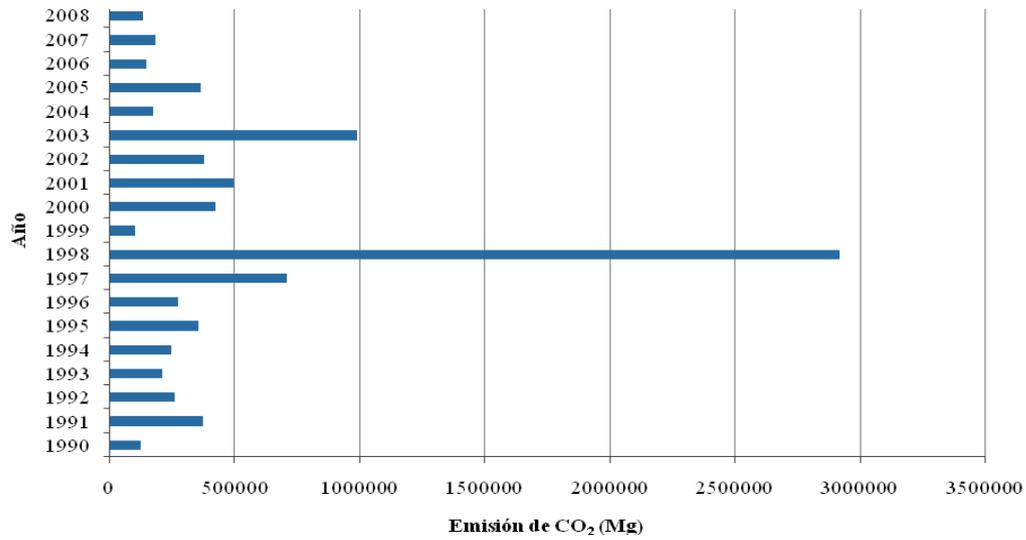


Figura 12. Emisiones totales de CO₂ (Mg) por año, para el estado de Chiapas.

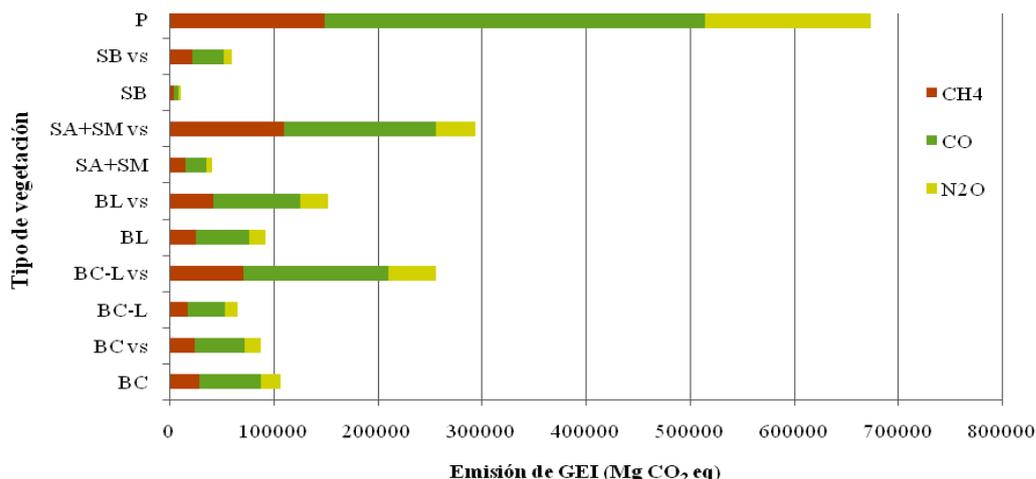


Figura 13. Emisión total de gases traza distintos al CO₂ (Mg CO₂ eq) derivados de los incendios forestales de 1990 a 2008 en el estado de Chiapas. BC= bosque de coníferas, BC vs= bosque de coníferas con vegetación secundaria, BC-L= bosque de coníferas-latifoliadas, BC-L vs= bosque de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria, BL= bosque de latifoliadas, BL vs= bosque de latifoliadas con vegetación secundaria, SA+SM = selva alta y selva mediana, SA+SM vs= selva alta y selva mediana con vegetación secundaria, SB= selva baja, SB vs= selva baja con vegetación secundaria, y P= pastizales naturales e inducidos.

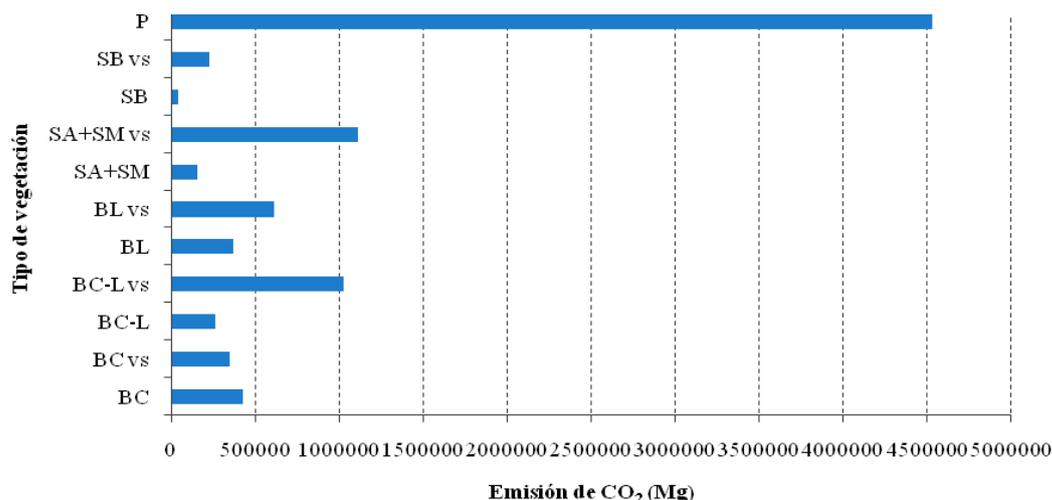


Figura 14. Emisiones totales de CO₂ (Mg de gases traza) derivados de los incendios forestales de 2005 a 2009 en Chiapas. BC= bosque de coníferas, BC vs= bosque de coníferas con vegetación secundaria, BC-L= bosque de coníferas-latifoliadas, BC-L vs= bosque de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria, BL= bosque de latifoliadas, BL vs= bosque de latifoliadas con vegetación secundaria, SA+SM = selva alta y selva mediana, SA+SM vs= selva alta y selva mediana con vegetación secundaria, SB= selva baja, SB vs= selva baja con vegetación secundaria, y P= pastizales naturales e inducidos.

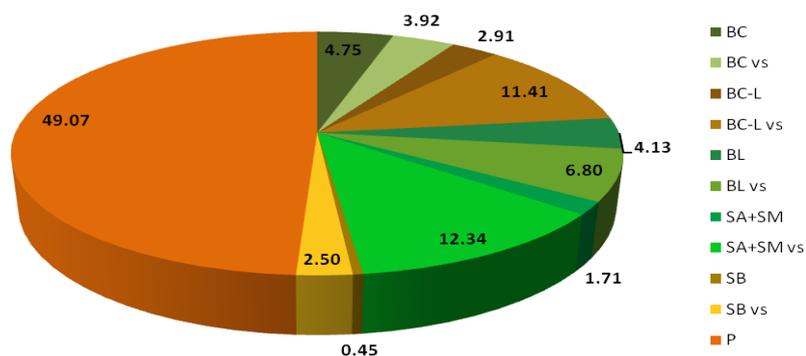


Figura 15. Emisiones totales de GEI por tipo de vegetación (%), causadas por incendios forestales en Chiapas. BC= bosque de coníferas, BC vs= bosque de coníferas con vegetación secundaria, BC-L= bosque de coníferas-latifoliadas, BC-L vs= bosque de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria, BL= bosque de latifoliadas, BL vs= bosque de latifoliadas con vegetación secundaria, SA+SM= selva alta y selva mediana, SA+SM vs= selva alta y selva mediana con vegetación secundaria, SB= selva baja, SB vs= selva baja con vegetación secundaria y P= pastizales naturales e inducidos.

Cuadro 38. Emisiones totales de GEI derivadas de incendios forestales para el estado de Chiapas, para el periodo de 1990-2008.

Tipo de vegetación INEGI 2006	GEI (Mg CO ₂ eq)			
	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O
Bosque de coníferas	426,939	29,415	58,231	19,102
Bosque de coníferas veg sec	352,307	24,273	48,052	15,763
Bosque de coníferas- latifoliadas	261,683	18,029	35,692	11,708
Bosque de coníferas- latifoliadas veg sec	1,025,630	70,663	139,888	45,889
Bosque de latifoliadas	371,389	25,588	50,655	16,617
Bosque de latifoliadas veg sec	611,052	42,100	83,343	27,340
Selva alta y mediana	154,233	15,267	20,304	5,271
Selva alta y mediana veg sec	1,110,950	109,970	146,252	37,969
Selva baja	40,805	4,039	5,372	1,395
Selva baja veg sec	225,040	22,276	29,626	7,691
Pastizales naturales y cultivados	4,531,673	148,621	365,231	159,297
Total	9,111,701	510,241	982,645	348,041

Cuadro 39. Emisiones anuales de los gases distintos al CO₂ (Gg) por tipo de vegetación.

Tipo de vegetación	Especie química				
	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x
Bosque de coníferas	121.961	0.366	8.329	0.020	0.234
Bosque de coníferas veg sec	183.432	0.528	10.699	0.026	0.300
Bosque de coníferas-latifoliadas	93.288	0.277	6.148	0.015	0.172
Bosque de coníferas-latifoliadas veg sec	298.481	0.877	17.641	0.043	0.495
Bosque de latifoliadas	56.074	0.166	3.677	0.009	0.103
Bosque de latifoliadas veg sec	321.417	0.936	18.757	0.046	0.526
Selva alta y mediana	68.286	0.296	4.448	0.009	0.068
Selva alta y mediana veg sec	391.742	1.684	24.860	0.048	0.382
Selva baja	154.825	0.666	10.198	0.020	0.157
Selva baja veg sec	294.657	1.195	13.608	0.026	0.209
Matorrales	859.558	2.925	54.978	0.125	1.323
Matorrales veg sec	72.045	0.216	4.503	0.011	0.126
Pastizales naturales y cultivados	1,536.369	2.130	50.073	0.162	3.004
Total	4,452.135	12.262	227.919	0.558	7.100

En los datos de emisiones totales, los pastizales, matorrales y, selva alta y mediana fueron los tipos de vegetación que registraron mayores emisiones a nivel nacional de gases distintos al CO₂, los cuales son responsables del 57% de las emisiones (Figura 16). Con respecto a la comparación anual, los años que registraron mayores emisiones de gases fueron 1998, 2003 y 1995, con una estimación de 1,612 Gg que representan el 38% de todo el periodo (Figura 17).

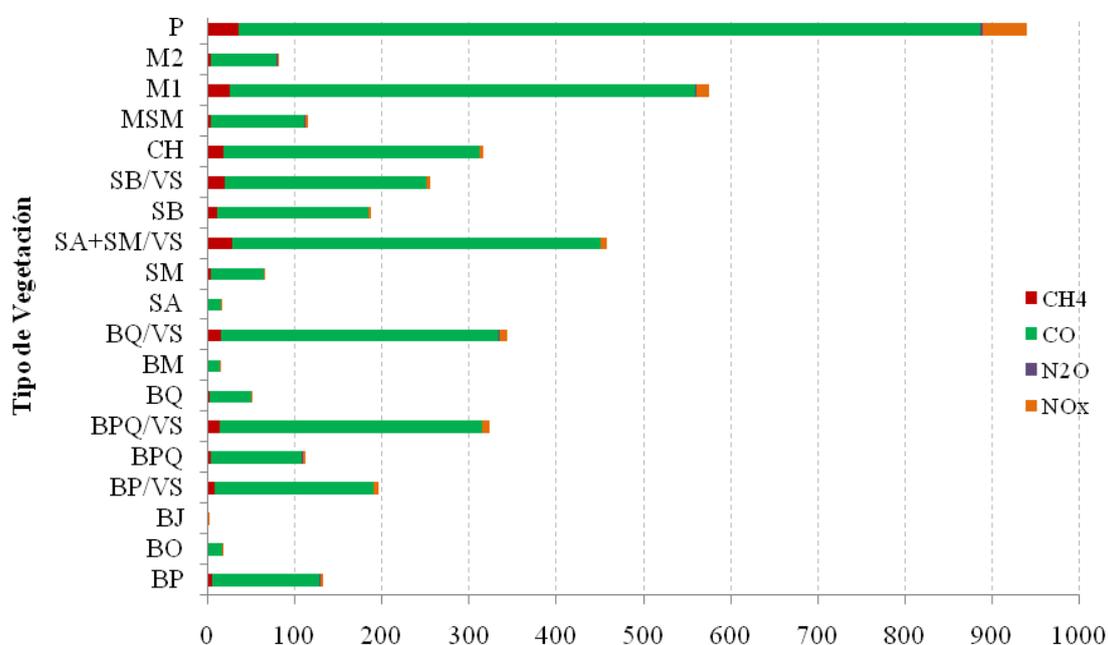


Figura 16. Emisiones totales de gases distintos al CO₂ (Mg de gases) derivados de los incendios forestales de 1990 a 2006. BP= bosque de encino, BO= bosque de oyamel, BJ= bosque de táscate, BP/VS= bosque de coníferas con vegetación secundaria, BPQ= bosque de coníferas-latifoliadas, BPQ/VS= bosque de coníferas-latifoliadas con vegetación secundaria, BQ= bosque de encino, BM= bosque mesófilo de montaña, BQ/VS= bosque de latifoliadas con

vegetación secundaria, SA= selva alta, SM= selva mediana, SA+SM/VS= selva alta y selva mediana con vegetación secundaria, SB= selva baja, SB/VVS= selva baja con vegetación secundaria, CH= chaparral, MSM= matorral submontano, Matorrales primarios y secundarios arbóreos, M2= matorrales secundarios herbáceos y arbustivos y P= pastizales naturales e inducidos.

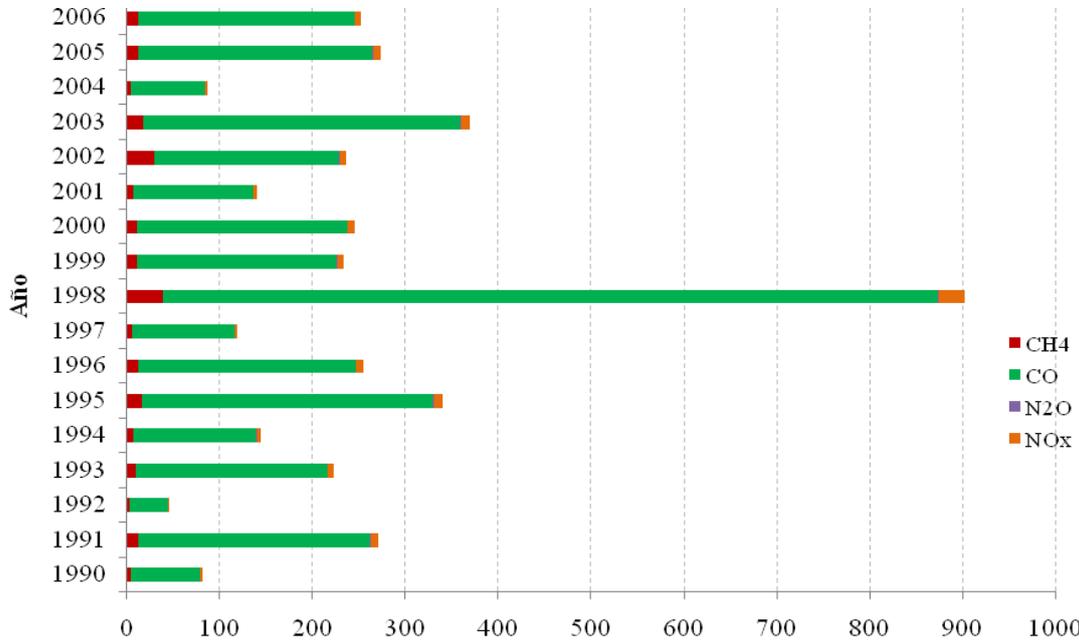


Figura 17. Emisiones totales de gases distintos al CO₂ (Mg de gases) derivados de los incendios forestales, por año.

Estos datos pueden presentar sobrestimaciones o subestimaciones porque no se contó con datos georreferenciados de las áreas afectadas por incendios y no existe el mismo criterio de reporte de áreas afectadas que correspondan a los tipos de vegetación aquí considerados. Por ejemplo, los bosques de coníferas son los tipos de vegetación de mayor afección por estas perturbaciones y si bien, sus emisiones son importantes a nivel nacional se encuentran por debajo de la selva baja que es más extensa en nuestro territorio, además que los únicos factores de consumo para éste tipo de vegetación son para tumba y quema (Kauffman *et al.*, 2003) por lo que el consumo de biomasa también es alto. En la medida en que se cuente con datos más específicos en cuanto a extensiones afectadas por tipo de vegetación que sean homologables, factores de consumo específicos a cada clase de cobertura y factores de emisión para el país, la incertidumbre asociada a estos cálculos será menor.

5. Conclusiones

El ritmo de cambio de uso de suelo hacia cubiertas no forestales, trae aparejado emisiones considerables de carbono producto de la combustión y descomposición de la biomasa vegetal removida de los bosques así como en la pérdida de carbono orgánico de los suelos. Asimismo, el manejo no sustentable de los bosques en los que la extracción domina sobre la regeneración y la reforestación implica emisiones adicionales de gases de efecto invernadero.

Actualmente hay mucho esfuerzo a nivel estatal dirigido a mejorar la calidad y cantidad de información necesaria para realizar los inventarios nacionales estatales de emisiones de GEI en el sector USCUSyS. Por ejemplo, a nivel nacional a partir del 2009 la CONAFOR incluye la medición de todos los reservorios de C en el Inventario Nacional Forestal y Suelos a nivel nacional para los 25,000 conglomerados establecidos entre 2004 y 2008, lo que permite por primera vez reportar los flujos de C en la materia muerta sobre el suelo y mantillo y estimar con más exactitud los flujos de C. También permite establecer una relación directa entre el C en biomasa y C en el suelo. Por otro lado, Chiapas está en el proceso de realizar inventarios forestales comunitarios, muchos bajo la coordinación de CONAFOR, COLPOS y ECOSUR, lo que permite la integración de la información estatal con la base nacional. Por otro lado, SEMARNAT está en el proceso de capturar todos los datos de los planes de manejo forestal autorizados en un formato único disponible en la página de internet, con el cual se puede disminuir sustancialmente la incertidumbre en la categoría Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales. SAGARPA está estableciendo un sistema de monitoreo para los pastizales y matorrales a nivel nacional con más de 500 sitios permanentes a nivel nacional, lo que permite cuantificar los flujos de C en Praderas que permanecen como Praderas. Adicionalmente se están estableciendo sistemas semi-automatizados de análisis y clasificación de imágenes satelitales, para generar mapas de cambio de uso de suelo periódicos con alta definición. De tal manera, aunque los niveles de incertidumbre en las estimaciones de emisiones de GEI en el sector USCUSyS son altos, por todo lo mencionado anteriormente se espera que éstos se puedan reducir en el corto plazo.

5.1 Cambios de Biomasa en Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales

El balance negativo de los años 1990s sugiere que los bosques estaban sufriendo un proceso de degradación como consecuencia de una tala que supera la capacidad de los bosques para producir biomasa. La tala no autorizada de madera se estima muy superior a los aprovechamientos de madera autorizados por lo que tiene un papel importante en el deterioro de los bosques y en las emisiones de carbono hacia la atmósfera. El establecimiento de plantaciones comerciales y de reforestación empieza a tener un papel significativo en la captura de carbono, por la acumulación de superficies reforestadas y en los últimos años se observa una reducción en el proceso de degradación de bosques.

5.2 Bióxido de carbono proveniente de los cambios de uso de suelo

El cambio de uso de suelo, como resultado de las actividades humanas, constituye hoy día el aspecto más importante entre los procesos de cambio global (Dale 1997). Se estima que cerca de la mitad de la cobertura vegetal del planeta, ha sufrido alguna transformación a causa de la deforestación, degradación o fragmentación (Daily 1995), generando a su vez nuevas alteraciones como por ejemplo, en los ciclos biogeoquímicos y en la pérdida de biodiversidad (Houghton 1994; Dale 1997).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la tasa de deforestación bruta no cambió mucho de los 90s a 2000s. La mayor parte de las pérdidas de bosques se debe a su conversión a Praderas y con niveles menores por la conversión a Tierras Agrícolas, que a la vez son las

fuentes de emisiones importantes.

5.3 Emisiones de gases distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal

Las emisiones de los gases distintos al CO₂ producto de la combustión de biomasa, en el presente inventario mostraron una reducción considerable respecto a las emisiones determinadas en el inventario anterior. Estos valores como son subproducto de otros análisis serán más precisos en la medida en que los otros datos de actividad mejoren.

5.4 Abandono de las áreas manejadas (PR->TF y TA->TF)

La reducción en la remoción de carbono por la recuperación de las áreas de manejo abandonadas representa un acercamiento más real a la realidad de la captura de carbono que está sucediendo en la recuperación de la vegetación arbórea.

5.5 Cambios en el carbono de los suelos minerales

Los suelos de la República Mexicana son emisores netos del gas efecto invernadero CO₂ en una magnitud de entre 10,948 y 9,137 Gg CO₂ por año para 1990-2002 y 2003-2008 respectivamente, con altos niveles de incertidumbre. Para mejorar la estimación de emisiones de carbono del suelo, se requiere más información directa entre el carbono en el suelo y carbono en la vegetación. Se espera poder disminuir sustantivamente esta fuente de incertidumbre cuando se tiene acceso a la información colectada en el INFyS a partir de 2009, durante la remediación de los sitios medidos entre 2004-2007, debido a que a partir de este año se está midiendo todos los reservorios de carbono, incluyendo COS, materia muerta sobre el suelo y mantillo.

En el caso del estado de Chiapas, en los meses siguientes se espera contar con la información de estimación de COS en laboratorio, asociadas a las mediciones de la biomasa aérea, por lo que se podrá estar en condiciones de realizar un ejercicio de valoración de la dinámica conjunta del carbono en el sistema suelo-vegetación.

6. Recomendaciones

1. *Mejorar las estimaciones sobre incrementos en biomasa.* De acuerdo con los análisis de incertidumbre, los datos de incremento volumétricos son una fuente importante de error en los cálculos de captura de carbono por lo que para mejorar las estimaciones es imperativo generar una base de datos nacional de los incrementos de madera en bosques con manejo, a partir de los planes de manejo forestal autorizados. Se requiere también mayor precisión en las tasas de incremento por año en los bosques con regeneración natural, ya que esto puede mejorar significativamente las tasas de captura. En este reporte se utilizaron datos extrapolados del INFyS. Ya se tiene una base nacional de ecuaciones alométricas de biomasa total que reduce la incertidumbre asociada a la estimación de biomasa por unidad de muestreo.
2. *Mayor precisión en la estimación de tala sin permiso.* La tala sin permiso juega un papel importante en las emisiones en Tierras Forestales reportadas en este estudio, pero esta tala tiene una gran incertidumbre (solo se tiene datos de un año particular) por lo que es necesario crear una metodología que no sólo conduzca a una mejor estimación sino que también permita entender su complejidad, con el fin de combatirla de una mejor manera.
3. *Estimación de biomasa mediante técnicas de interpolación.* Sería recomendable explorar otras técnicas de análisis espacial que permitan asignar información del contenido de biomasa de los sitios de muestreo a imágenes satelitales y extrapolarlos mediante técnicas

de interpolación de puntos.

Del ejercicio realizado en el modulo de suelos en esta aproximación sobresalen los siguientes puntos importantes para evaluar con objeto de disminuir el nivel de incertidumbres asociados a inventarios realizados en México:

8. Con relación a las bases de datos es importante realizar un ejercicio detallado para mejorar las estimaciones de la Densidad Aparente de los suelos, usando información de INEGI y CONAFOR 2009 y validarlas con otras observaciones de campo. Se recomienda utilizar y validar otras estrategias de homogeneidad espacial.
9. Es altamente recomendable que el esfuerzo del Inventario Nacional de la Comisión Nacional Forestal, en proceso, continua con la recolección de muestras de suelo, mantillo y materia muerta en los sitios de muestreo, para poder así contar con información simultánea de todos los reservorios de C de los ecosistemas terrestres. Ésta es una oportunidad única que no debe desaprovecharse.

En cuanto a los datos de carbono en suelos se recomienda:

1. Mayor número de sitios de muestreo en el Estado de Chiapas.
2. Mayor distribución de los sitios de muestreo
3. Temporalidad de los muestreos (repetición del muestreo en el mismo sitio en diferentes años, sitios pareados)
4. Mejor relación entre los valores edáficos y de vegetación por sitio (se debe aprovechar el trabajo del inventario forestal de CONAFOR)
5. Crear una base de datos de la fracción gruesas (> 2 mm) de los suelos para corregir estimaciones de COS
6. Establecer metodologías de escalamiento viables a partir de la información puntual para grandes áreas.

7. Reconocimientos

Quisiéramos expresar nuestros agradecimientos a CONAFOR, INEGI, SEMARNAT, INE por proporcionarnos la información para realizar este estudio. Al Gobierno Británico y a Conservación Internacional por el financiamiento de este estudio y a El Colegio de la Frontera Sur, Colegio de Postgraduados y El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática para las facilidades proporcionadas.

8. Referencias

- Aguilar, A., Alcántar, G. y Etchevers, J. 1994. Acidez del suelo y encalado en México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Alvarado, E. Datos no publicados. Datos de campo de los archivos del US. Forest Service, Pacific Wildland Fire Sciences laboratory, Seattle, WA.
- Alvarado-Celestino, E., J.E. Morfín-Ríos, E.J. Jardel-Peláez, E. Vihnanek, D.K. Wright, J.M. Michel-Fuentes, C.S. Wright, R.D. Ottmar, D.V. Sandberg y A. Nájera-Díaz. 2008. *Photo series for quantifying forest fuels in Mexico: montane subtropical forests of the Sierra Madre del Sur and temperate forests and montane shrubland of the northern Sierra Madre Oriental*. Pacific Wildland Fire Sciences Laboratory Special Pub. No. 1. Seattle: University of Washington, College of Forest Resources. 93 p.
- Andreae, M. O., P. Merlet. 2001. Emission of trace gases and aereosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 15, No. 4. Pp. 955-966.
- Arias, T., 2003. Forest resources for energy: environmental and social dimensions in four

- countries of Latin America. En línea.
www.oikos.unam.mx/laboratorios/Bioenergia/Reunion-2003/Arias_Teresa-Forest_Resources_For_Energy.doc
- Asbjornsen H., N. Velázquez-Rosas, R. García-Soriano y C. Gallardo-Hernández 2005. Deep ground fires cause massive above- and below-ground biomass losses in tropical montane cloud forests in Oaxaca, México. *Journal of Tropical Ecology*, 21:427-434.
- Banco Mundial-Gobierno de México, 1993. México, revisión de sector forestal y la conservación de los recursos naturales. México, DF. En línea,
www.conafor.gob.mx/procymaf/pdf/procy3.pdf; consulta 10/VII/2005.
- Batjes, N.H. 1997. A World data set of derived soil properties by FAO-UNESCO soil unit for global modelling, *Soil use and management*, 13: 9-16.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests : a primer. FAO Forestry Paper. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Brown, S., A.J.R. Gillespie, A.E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35:881-902.
- Cairns, M.A., P. K. Haggerty, R. Alvarez. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: a region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications*, 10(5): 1426-1441
- Cairns, M. A., H.W. Hao, E. Alvarado, P.K. Haggerty. 2000. Carbon Emissions From Spring 1998 Fires in Tropical Mexico. Pp 242-248. In: *Proceedings of The Joint Fire Science Conference and Workshop: Crossing Milenium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management*. Jun 15-17, 1999. Boise, Idaho. The University of Idaho. Vol. 1.
- Camp, A., H.M. Polous, R. Gatewood, J. Sirotnak y J. Karges. 2006. *Assesment of top down and bottom up controls on fire regimes and vegetation abundance and distribution patterns in the Chihuahuan Desert borderlands: A hierarchical approach*. Final Report to the Joint Fire Science Program. Yale University. School of forestry and environmental sciences. New Heaven, CT, USA.
- CEC.1997.Ecological regions of North America:Toward a common perspective. Commission for Environmental Cooperation. Quebec, Canada. 60 p.
- CONAFOR, 2003. Avances y perspectivas del sector forestal en el 2002. México, D.F.
- CONAFOR, 2004. Avances del sector forestal 2003. México, D.F.
- CONAFOR, 2004. Coordinación General de Producción y Productividad, Gerencia para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales "Superficie de plantaciones forestales comerciales: proyectos aprobados". México, D.F.
- CONAFOR, 2004. Revisión del sector forestal y conservación de recursos. México, D.F. (www.conafor.gob.mx/procymaf/pdf/procy3.pdf; consulta 3/IV/2006)
- CONAFOR, 2008. Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2004-2008). México.
- CONAFOR, 2009.
http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/secciones/demas/compendio2006/Reportes/D3_FORESTAL/D3_RFORESTA05/D3_RFORESTA05_03.htm. (1 de abril 2009)
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)- US. Forest Service (USFS). 2006. *Evaluación del Riesgo de Incendios Forestales por el Huracán "Wilma"2005, Quintana Roo*. CONAFOR. 57 pp.
- Crutzen, P.J., L.E. Heidt, J.P. Krasnec, W.H. Pollock y W. Seile. 1979. Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl, and COS, *Nature*, 282, 253-256.
- Dale, V.H. 1997. The relationship between Land-Use Change and Climate Change. *Ecological*

- Daily, G.C. 1995. Restoring value to the world's degraded lands. *Science* 269:350-354.
- Deeming, J.E., J.W.Lancaster, M.A. Fosberg, R.W. Furman y M.J. Schroeder. 1972. *National fire-danger rating system*. USDA Forest Service Research Paper RM-84.
- DeFries, Ruth S., R.A. Houghton, M. C. Hansen, C. B. Field, D. Skole, J. Townshend, 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *PNAS*, 99: 14256-14261
- Díaz, R. 2000. Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO₂. Tesis de maestría en Ingeniería Energética. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- Estrada, M.O. 2006. Sistema Nacional de Protección contra los Incendios Forestales. En: G. Flores G., D.A. Rodríguez T., O. Estrada M. y F. Sánchez Z. (eds.) *Incendios Forestales*. Mundi Prensa. México D.F. Pp. 185-213.
- Estrada C. I. 2006. *Identificación de áreas susceptibles de incendio forestal en el parque nacional "El Chico", Hidalgo*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- FAO, 2005. Primera revisión del Programa Estratégico Forestal 2025 y del Programa Nacional Forestal 2001-2006. Informe Final. México, DF.
www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/evaluaciones/evaluaciones/Informe%20Final_PEF_2025.pdf; consulta 3/IV/2006
- Fosberg, M.A. 1971. Climatological Influences on Moisture Characteristics Dead Fuel: Theoretical Analysis. *Forest Science*, 17: 64-72.
- Fulé, P.Z., W.W. Covington. 1994. Fire Regime Disruption and Pine-Oak Forest Structure in Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Restoration Ecology* Vol. 2 No. 4, pp. 261-272.
- García, E.-CONABIO, 1998a. Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México.
- García, E.-CONABIO, 1998b. Temperaturas mínima promedio. Escala 1:1 000 000. México
- Ghilardi, A. (en preparación). Evaluación multiescalar del uso de leña en México. Tesis Doctoral, CIECO, UNAM.
- Ghilardi, A., G. Guerrero, R. Drigo, O. R. Masera, 2004. Multiscale analysis of fuelwood "hot spots" using the wisdom approach: a case study for Mexico. 2nd World Conference on Biomasa for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.
- Hardy, C.C., R.E. Burgan y R.D. Ottmar. 2000. A database for Spatial Assessments of Fire Characteristics, Fuel Profiles, and PM₁₀ Emissions. En: Sampson R. N., Atkinson R. D. y J. W. Lewis (eds). *Mapping Wildfire Hazards and Risks*. Food Products Press, NY, USA.
- Harmon, M.E., D.F. Whigham, J. Sexton e I. Olmsted. 1995. Decomposition and Mass of Woody Detritus in the Dry Tropical Forests of Northeastern Yucatan Peninsula, México. *Biotropica*, 27(3): 305-316.
- Houghton, R. A., 1994. The worldwide extent of land-use change, *Bio-Science*, 44, 305-313
- Hughes, R.F., J.B. Kauffman, V.J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient accumulation in tropical evergreen secondary forest of the Los Tuxtlas region, Mexico. *Ecology* 80:1892-907.
- Hughes F., J.B. Kauffman, V.J. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of México. *Ecological Application*, 10:515-27.
- INE. 2006. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. INE. Mexico DF.

- INEGI, 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México DF.
- INEGI. 2002. Información Geográfica sobre edafología. Serie I escala 1:250,000. México.
- INEGI. 2005. Mapa de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal, Serie III, 2002; Capa Usvs3v,. Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática.
- INEGI. 2004. Información Nacional sobre Perfiles de Suelo Versión 1.2.
- INEGI. Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie I. México.
- INEGI. Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II. México.
- INEGI. Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III. México
- IPCC. 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- ITTO, 2005. Consecución del objetivo 2000 y la ordenación forestal sostenible en México. Yokohama, Japón www.itto.or.jp/live/Live_Server/1029/S-C39-5.doc; consulta 05/IV/2006.
- Jardel, E.J., E. Alvarado, J.E. Morfín-Ríos, F. Castillo-Navarro y J.G. Flores-Garnica. En prensa. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica (Ed.). *Impacto ambiental de incendios forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Guadalajara, Jalisco. Capítulo7.
- Jaramillo V.J., J.B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez, D.L. Cummings y L. J Ellingston. 2003 Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*, 6: 609-629.
- Jong, B.H.J., 2001. Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest management. *Forest Ecology and Management* 154: 85-104.
- Jong, B.H.J.; y M. Motolinía 2005 Revisión y armonización de las cartas de vegetación y uso del suelo forestal del país y su aplicación al cálculo de cambios en la cobertura vegetal. Informe Final.
- Kauffman J.B., M.D. Steele, D.L. Cummings, V.J.J aramillo. 2003. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology Management*, 176: 1-12.
- Lal, R. 2005. Climate change, soil carbon dynamics, and global food security. In: Climate change and global food security. Lal R., Uphoff, N., Stewart B. A. And Hansen, D.O. (Eds.). CRC Press. Boca Raton, Florida. p: 113-143.
- Lal R., Kimble J. and Follet R.F. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: Soil processes and carbon cycle. Lal R., Kimble J. and Follet R.F. Stewart B. (Eds.). CRC Press. Boca Raton, Florida. P: 1-8.
- Lawrence, D. y D. Foster, 2002. Changes in forest biomass, litter dynamics and soils following shifting cultivation in southern Mexico. An overview. *Interciencia* 27: 400-408.
- López G., Erna. 1999. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. Maestría en Conservación y Manejo de los Recursos Naturales. Título de tesis: Cambio de uso del suelo y crecimiento urbano en la ciudad de Morelia, Mich.
- LUCC Report Series No 5. 2000. Meeting in the Middle: the challenge of Meso-Level Integration. An international workshop on the harmonization of land use and Land Cover Classification. Ispra Italy.
- Maass et al. 2002. Aspectos funcionales del ecosistema de selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco. En Noguera Noguera FA, Vega-Rivera J H, García-Aldrete AN, Quesada-Avendaño

- M (eds) *Historia natural de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM. México, pp 525-542.
- Manson R. H., E.J.P. Jardel, M.E. Jiménez y C.A.S. Escalante. 2006. En prensa. *Perturbaciones del Hábitat por Causas Naturales y Desastres*. En: *Capital natural y bienestar social*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. CONABIO.
- Masera O, Guerrero G, Ghilardi A, Velásquez A, Mas JF, Drigo R, et al. 2005 Fuelwood Hot Spots in Mexico: A Case Study Using WISDOM. FAO, Rome, Italy.
- Masera, O. R., A. Ghilardi, R. Drigo, M. A. Trossero, 2004. Woodfuel integrated supply/demand overview mapping: wisdom. 2nd World Conference on Biomasa for Enegy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.
- Masera, O., A. Ghilardi, R. Drigo, M.A.Trossero, 2006. WISDOM: A GIS-based supply demand mapping tool for woodfuel management. *Biomass and Bioenergy* (en prensa).
- Masera, O., M. J. Ordoñez, R. Dirzo, 1997. Carbon emissions from mexican forests: the current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Morfín J.E., E. Alvarado, S.D.R. Pérez y J.E. Jarde. En preparación. *Conocimiento de los combustibles forestales en México*. UNAM, U de G y UW.
- Morales, A.H., J. Návar, y P.A. Domínguez. 2000. The effect of prescribed burning on surface runoff in a pine forest stand of Chihuahua, México. *Forest Ecology and Management* 137, 199-207.
- Navarrete, P.J.L. 2006. *Estimación del contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo: el caso de la región Purépecha, Michoacán*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 72 p.
- Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez y O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255 (2008) 2074–2084.
- Ottmar, R.D., M.F. Burns, J.N. Hall y A.D. Hanson. 1993. *Consume user's guide*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-304. Portland, Oregon: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 118 p.
- Ottmar, R.D.; R.E. Vihnanek, C.S. Wright, y G.B. Seymour. 2007. *Stereo photo series for quantifying natural fuels: volume IX: Oak/juniper types in southern Arizona and New Mexico*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-714. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 41p.
- Ottmar, R.D., R.E. Vihnanek y J.C. Regelbrugge. 2000. *Stereo photo series for quantifying natural fuels. Volume IV: pinyon-juniper, sagebrush, and chaparral types in the Southwestern United States*. PMS 833. Boise, ID: National Wildfire Coordinating Group, National Interagency Fire Center. 97 p.
- Ottmar, R.D., D.V. Sandberg, C.L. Riccardi y S.J. Prichard. 2007. An Overview of the Fuel Characteristic Classification System: Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research*. 37: pp. 2383-2393.
- Pérez, C.J.V. 2006. *Estimación del contenido de carbono en mantillo de diferentes tipos de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha, Michoacán, México*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 54 p.
- Presidencia de la República, 2004. Cuarto Informe de Gobierno. México, D.F.
- Prichard, S.J., R.D.Ottmar, G.K. Anderson, *Consume user's guide v. 3.0*. http://www.fs.fed.us/pnw/fera/products/consume/consume30_users_guide.pdf. (1 abril 2009)

- Puentes, V., 2002. Impactos del consumo de leña en el bosque de Santa Fe de la Laguna, Michoacán. Tesis licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Riccardi, C.L., R.D. Ottmar, D.V. Sandberg, A. Andreu, E. Elman, K. Kopper y J. Long. 2007. The fuelbed: a key element of the fuel Characteristic Classification System. *Canadian Journal of Forest Research*. 37: pp. 2394-2412.
- Riegelhaupt E. 1996.- La Dendroenergía en México. Proyecto FAO/MEX/4553(A) «Dendroenergía para el Desarrollo Rural». México. 12 p.
- Rodríguez, T.D.A., P.A. Sierra. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México*, 20(77): 197-218.
- Romero, D.L.P. 2008. *Diversidad y almacenes de carbono y nitrógeno en bosques tropicales caducifolios secundarios de la región de Chamela, Jalisco, con diferentes historias de uso*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 93 p.
- Rowell, A. y P.F. Moore, 1999. *Global Review of Forest Fires*. WWF/ UICN. Gland, Suiza.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 p.
- SAGARPA, 2003. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera.. Preparado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagr2b.html (consultado el 21 de junio 2006).
- Sandberg, D.V., R.D. Ottmar, y G. H. Cushon. 2001. Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire*, 10: 381-387.
- SARH, 1990. Estadísticas sobre reforestación 1960-1990. Informe interno de la Dirección General de Política Forestal de la Subsecretaría Forestal. México, D.F.
- SARH. 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico. México, D.F. pp81.
- SEMARNAP, 1999. Proyecto planeación territorial y deforestación. México, D.F.
- SEMARNAP-Subsecretaría de Aprovechamientos Forestales-Dirección General Forestal, 2000. Superficies bajo manejo. México, D.F.
- SEMARNAT, 1995-2002. Anuario de la producción forestal. México, D.F.
- SEMARNAT, 2000. Los recursos forestales de México. México, DF. www.semarnat.gob.mx/dgeia/produccion/general/inv1/inv1.shtml; consulta 3/IV/2006.
- SEMARNAT, 2001. Plan Estratégico Forestal 2025. México, D.F.
- SEMARNAT-CP. 2001-2002. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, a escala 1:250,000, Memoria Nacional, D.F., México.
- SEMARNAT-INE 2001. "IV. Actualización del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (1994-1998)" (p127-143) En México: segunda comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático-México. 374pp.
- SEMARNAT-Dirección General de Gestión Forestal y de Suelo, 2002. Aprovechamientos forestales nacionales. México, D.F.
- SEMARNAT-Chiapas, 2004. Programas de manejo forestal en ejecución. Tuxtla Gutierrez, Chiapas. En línea: www.semarnat.gob.mx/chiapas/pmf.shtml# ; consulta 7/VI/2005
- SEMARNAT-Michoacán, 2004. Autorizaciones de programas de manejo forestal (1996-2002). Morelia, Michoacán. En línea: www.semarnat.gob.mx/michoacan/; consulta 12/VI/2005
- SEMARNAT-Tamaulipas, 2004. Relación de autorizaciones de programas de manejo forestal. Ciudad Victoria, Tamaulipas.
- SEMARNAT-Tlaxcala, 2004. Predios bajo manejo forestal. Tlaxcala, Tlaxcala.

- SEMARNAT 2005. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. 379PP
<http://portal.semarnat.gob.mx/semarnat/portal>
- SEMARNAT 2009. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>. (1 de abril de 2009).
- SENER 2006. Balance nacional de leña. En línea:
<http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController?action=login>, fecha de consulta mayo 2006.
- Sheinbaum, C., O.R. Masera, 2000. Mitigating carbon emissions while advancing nacional development priorities. The case of México. *Climatic Change* 47: 259-282
- Stephens, S. L. 2004. Fuel Loads, snag abundance, and snag recruitment in an unmanaged Jeffrey pine-mixed conifer forest in Northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 199 (2004) 103-113.
- Torres, J. M., 2003. Análisis técnico del sistema de manejo conocido como Plan Piloto Forestal de Quintana Roo. En, Bray DB, Santos V, Armijo N. Investigaciones en apoyo de una economía de conservación en la zona maya de Quintana Roo. En línea:
www.fiu.edu/~brayd/publicacion_rustica.doc, consulta: 10/V/2006.
- UACH, 2004. Evaluación del programa nacional de reforestación: PRONARE 2003. Estado de México, México.
- UANL, 2004. Evaluación externa al PRODEPLAN. Ejercicio fiscal 2003. Linares, Nuevo León.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2002.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/related/fire rept.pdf> (1 de abril de 2009).
- UV, 2005. Evaluación externa del PRODEPLAN, Ejercicio fiscal 2004., México. En línea:
www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/evaluaciones/documentos_evaluacion.htm; consulta 3/IV/2006.
- Villers-Ruiz, M.L., Alvarado E. y J. Lopez-Blanco. 2001. *Spatial patterns of fuels and fire behavior at the "La Malinche" National Park in Central Mexico* In. Fourth Symposium on Fire and Forest Meteorology. November 13-15, 2001. Salt Lake City, Utah. November.
- Vink, A.P.A. 1975. Land use in advancing agriculture. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 392 p
- Whigham, D.F., I. Olmsted, E. Cabrera-Cano y M.E. Harmon. 1991. The impact of Hurriacan Gilbert on Trees, Litterfall, and Woody Debris in a Dry Tropical Forest in the Northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23(4a): 434-441.
- Wilkinson, L., L. Engelman, J. Corter y M. Corward. 2004. *Systat*. Inc. Richmond, CA
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th ed. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons. New York.