

A photograph of a man and a woman in a forest. The man, on the right, is wearing a white shirt and a backpack, and is using a yellow measuring tape to measure the diameter of a tree trunk. The woman, on the left, is wearing a blue and white striped shirt and is looking at the tree. The background is a lush green forest with many trees.

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE ARTE DE MRV PARA REDD+ A NIVEL NACIONAL Y EN LOS ESTADOS DE CHIAPAS Y CAMPECHE



Ecologic Development Fund (coordinación), 2014.

El proyecto ha sido realizado gracias a la donación del Fondo de Gobernadores sobre Clima y Bosque (Governor's Climate and Forests Task Force, GCF *por sus siglas en inglés*).

Índice

Lista de Figuras	1
Lista de Cuadros.....	2
Lista de Acrónimos.....	4
Introducción	6
1.1 Monitoreo, Reporte y Verificación para REDD+	7
1.2 Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación Nacional.....	8
1.3 Metodologías de cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional.....	9
1.3.1 Cálculo de factores de emisión a nivel nacional	12
1.3.2 Inventario Nacional Forestal y de Suelos	12
1.3.3 Mapeo de biomasa a nivel nacional.....	13
1.4 Estudios sobre ecuaciones alométricas existentes	16
2 Diagnóstico del estado de arte de MRV en Chiapas.....	20
2.1 El Programa de Acción ante el Cambio Climático del estado de Chiapas.....	20
2.2 Proyecto Recover	23
2.3 Estudios de flujos de carbono en el estado	25
2.4 Información de herbarios.....	27
2.5 Estudio de Factibilidad de REDD+ para el estado de Chiapas	28
3 Estado de Arte de MRV en el estado de Campeche.....	31
3.1 Estudios de estimación de biomasa en el estado de Campeche	31
4 Conclusiones	34
5 Bibliografía.....	36

Lista de Figuras

Figura 1: Estimaciones y remociones de emisiones de GEI para bosques	11
Figura 2: Características del Sistema Nacional de MRV (MRV Mexico, 2014).....	12
Figura 3: Incertidumbre asociado con el mapa de WHRC (Cartus et al., 2014)	14
Figura 4: Densidad de carbono en la biomasa leñosa aérea de los bosques y selvas en México (Cartus et al., 2014)	15
Figura 5: Primer Inventario de gases de Efecto Invernadero para Chiapas (Fuente: Conservación Internacional (coord.), 2011)	20
Figura 6: Emisiones y captura anuales en las diferentes categorías de uso de suelo actual e 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.	22
Figura 7: Mapas de deforestación multi-temporal (1990 – 1995, 1995- 2000, 2000 – 2005, 2005 – 2007, 2007 – 2009).	23
Figura 8: Mapa de biomasa de Chiapas, 2008. (Sirro et al., 2013)	25
Figura 9: Estimación del escenario de referencia de Gases de Efecto Invernadero del sector USCUS (Paz et al., 2012).	30

Lista de Cuadros

Cuadro 1: Emisiones de GEI para el Estado de Campeche.....	31
Cuadro 2: Estimaciones de biomasa ($Mg\ ha^{-1}$) reportadas para el estado de Campeche* o la Península de Yucatán+.....	32
Cuadro 3: Datos de biomasa en reportados por *Eaton & Lawrence (2009) y Aryal et al. (2014).	33

Autores:

Capítulo 1: MRV para REDD+ a nivel internacional y nacional

Felicia Line, Ecologic Development Fund

Miguel Ángel Castillo Santiago. Cooperativa AMBIO / el Colegio de la Frontera Sur.

Capítulo 2: Diagnostic del estado de arte de MRV en Chiapas

Felicia Line, Ecologic Development Fund

Sergio López Mendoza, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Capítulo 3: Diagnostico del estado de arte de MRV en Campeche

Ligia Esparza Olgún El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Campeche

Eduardo Martínez Romero. Investigaciones y Soluciones socioambientales A.C.

Lista de Acrónimos

CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
COP	Conferencias de las Partes
CMNUCC	Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DAP	Diámetro a la altura del pecho
ENAREDD+	Estrategía Nacional para REDD+
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GT-MRV	Grupo de Trabajo de MRV
IEF	Inventarios Estatales Forestal
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
NAMAs	Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación
REDD+	Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación y aumento de los almacenes de carbono, manejo forestal sustentable y conservación
SEMAHN	Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del Gobierno del estado de Chiapas

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SMAS Secretaría de Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable del
Gobierno del estado de Campeche

Introducción

El presente documento, anexo al informe final del proyecto “*Construcción de un sistema de monitoreo de factores de emisión adaptado a las condiciones locales de los estados de Chiapas y Campeche,*” tiene el objetivo de revisar la información existente a nivel nacional y estatal referente al Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el mecanismo Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación, así como aumento de los reservorios de carbono, manejo forestal sustentable y conservación (REDD+). Esto implica la estimación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que provienen del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) en México, y en los estados de Chiapas y Campeche.

Este diagnóstico se realizó a través de una revisión bibliográfica, y talleres en conjunto con los Grupos Técnicos de MRV de los estados de Chiapas y Campeche, y la Comisión Nacional Forestal. Se realizó con el objetivo de evitar la duplicación en la generación de nueva información, para asegurar que las metodologías y resultados estén anidados con el Sistema Nacional de MRV y para que el mismo pueda servir al proceso de retroalimentación de la información generada a nivel nacional.

1.1 Monitoreo, Reporte y Verificación para REDD+

Felicia Line, Ecologic Development Fund.

REDD+ está planteado como un mecanismo de pago por resultados, por lo tanto el Monitoreo, Medición, Reporte y Verificación (MMRV) de las reducciones de emisiones de CO_{2eq} es importante para asegurar transparencia en la contabilidad de las reducciones de emisiones. Los principios de MRV, o MMRV se derivan de los acuerdos en las Conferencias de las Partes de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

- En la Conferencia de las Partes (COP) 15 en Copenhague en 2009, la decisión 4 fomenta que los países desarrollen sistemas nacionales de monitoreo forestal “robustos y transparentes,” y si fuera apropiado que los sistemas subnacionales formen parte de los sistemas nacionales de MRV. Se recomienda que se utilicen metodologías de monitoreo en el terreno combinadas con teledetección (UNFCCC, 2009)
- En la COP 16 en Cancún año, decisión 1, se recomienda a los países que establezcan su escenario de referencia de emisiones de GEI o cobertura forestal a nivel nacional, o a nivel subnacional como medida intermedia. De la misma manera, se recomienda establecer sus sistema de monitoreo y reporte de las actividades REDD+, y si es apropiado, monitoreo y reporte como medida intermedia, de acuerdo a las circunstancias nacionales (UNFCCC, 2011).
- En la COP 17 en Durban se expandió el alcance del monitoreo más allá de emisiones de GEI y salvaguardas a Actividades Apropriadas de Mitigación (NAMAs) e identificación de necesidades para cumplir metas (debido a capacidades, financiamiento y tecnología), así como el cumplimiento de salvaguardas sociales (UNFCCC, 2012).

Por lo tanto, es importante que el diseño del sistema nacional de MRV se adhiera a los lineamientos internacionales. La política en Mexico apunta a que habrá un sistema nacional de MRV, y no será necesario a nivel subnacional. Sin embargo la

información que se genere a nivel subnacional podría anidarse y retroalimentar el sistema nacional de MRV.

1.2 Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación Nacional

En la Visión REDD+ de México (CONAFOR, Visión de Mexico sobre REDD+ 2010, 36) “el sistema de monitoreo, reporte y verificación ha sido identificado como un elemento central para asegurar la transparencia del régimen climático”. Es importante que el sistema sea consistente, transparente y efectivo con márgenes de error razonablemente bajos. Sin embargo, en México aún falta fortalecer capacidades de infraestructura y recursos humanos para el monitoreo del cambio anual en la cubierta forestal, la degradación forestal, y para medir los sumideros de carbono forestal (Brown et al, 2009).

Un sistema de MRV más preciso implica altos costos, pero si no se incrementa la precisión se dificulta la obtención de fondos de pago por resultados. La Visión REDD+ de México reconoce que aunque el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) es una herramienta importante de diagnóstico de los recursos forestales, aún no cumple con las necesidades para lograr una contabilidad lo suficientemente precisa para REDD+. Por lo anterior, se ha invertido en mejorar el Sistema de MRV paso por paso, a través del fortalecimiento de capacidades institucionales para lograr definición y consenso sobre niveles de referencia y diseño e instrumentación de un Sistema de MRV que otorgue certidumbre a las políticas nacionales e internacionales (CONAFOR, 2010).

La Ley General de Cambio Climático (2012) señala en el artículo 87 a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal, como la responsable del sector y por tanto como encargada de “integrar el registro de emisiones generadas por las fuentes fijas y móviles” con la integración del “sistema de monitoreo, reporte y verificación para garantizar la integridad, consistencia, transparencia y precisión de los reportes” (frac. IV) y “la vinculación, en su caso, con otros registros federales o estatales de emisiones” (frac. V).

El artículo segundo transitorio de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable reformado en 2012 atribuye al titular del Poder ejecutivo, el establecimiento del Sistema Nacional de MRV para REDD+ para el año 2015, tres años después de la entrada en vigor del decreto de la reforma de dicha ley. El INFyS deberá de comprender la información generada por esta Sistema Nacional de Monitoreo de acciones generadas en el marco de REDD+ (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2012 artículo 45, frac. IX).

El borrador de la Estrategia Nacional de REDD+ (ver. abril 2014, aún bajo difusión para consulta), en su quinto componente clave, el Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), menciona que derivado de los Acuerdos de Copenhague de la COP 15 y Cancún de la COP16, México deberá de establecer su Sistema Nacional de MRV. El sistema MRV deberá utilizar una combinación de metodologías de teledetección con sensores remotos y levantamiento de datos de inventarios del carbono forestal para estimar las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero relacionados con la deforestación y degradación. Se deberán de tomar en cuenta las guías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para el sector USCUS y los lineamientos de Buenas Prácticas, por la falta de lineamientos emitidos por parte de la CMNUCC, y recomienda una revisión cuidadosa de las escalas y metodologías para medir la deforestación y degradación.

Además, la Estrategia Nacional para REDD+ menciona la importancia de involucrar a las comunidades en la medición de sus recursos naturales, debido a que la mayoría de los bosques en México son de propiedad social (ejidos o comunidades). Para ello, es necesaria la participación comunitaria a través de un proceso de fortalecimiento de capacidades en la calibración y validación de datos y en el mejoramiento de estimaciones regionales de factores de emisión.

1.3 Metodologías de cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional

De acuerdo a la metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006) la metodología para estimar emisiones por cambios en tierra forestales, tier 2 o 3, requiere datos específicos a nivel nacional o subnacional, referentes a datos de actividad o factores de emisión. Además, el nivel de detalle puede mejorar si se utiliza una escala regional en vez de una nacional, o si se emplean subcategorías para reflejar diferencias ecológicas o de especies, clima, tipos de bosque, prácticas forestales o usos de la tierra (IPCC, 2006).

El MRV Nacional considerará tres componentes principales para lograr la contabilidad de las emisiones derivadas de la deforestación y degradación en el país (Ver Figura 1):

1. Un Sistema Operativo de Sensores remotos que permita la estimación de los **datos de actividad** (representación del terreno). Actualmente está desarrollándose el MAD-MEX, un sistema automático de detección de cambio (ver Gebhardt et al., 2014).
2. Un Inventario Forestal Nacional (IFN) para estimar **las reservas de carbono y cambios en las reservas de carbono**. Actualmente existe un Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INPyS) que se actualiza cada cinco años. Sin embargo, aún hay algunos puntos inaccesibles o sin información por lo que falta completar el inventario con más datos.
3. Un Inventario Nacional de Gases de Invernadero (IGEI) para **estimar y reportar las emisiones de GEI** antropogénicas por fuentes y absorciones por sumideros. (MRV Mexico, 2014).

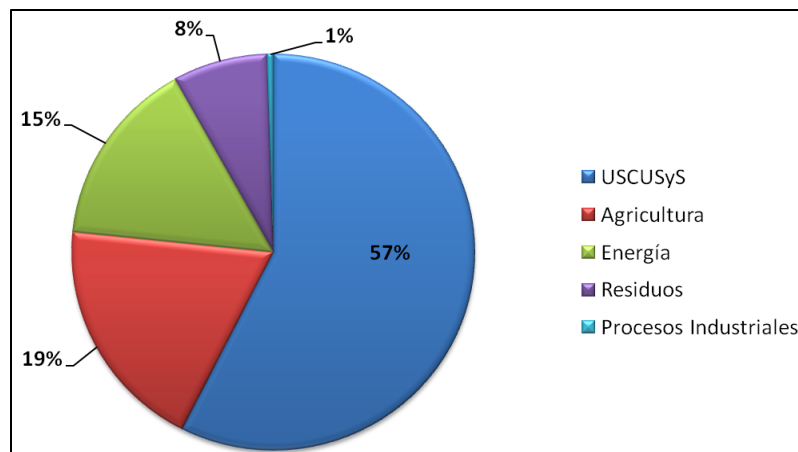


Figura 1: Estimaciones y remociones de emisiones de GEI para bosques

Además de estos tres pilares principales, el sistema de MRV también considerará y desarrollará:

- **Niveles de referencia (RL)** para evaluar el desempeño de México en la implementación del mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+).
- **Marco institucional** definido con autoridades designadas para la coordinación e implementación del mecanismo REDD+ que aseguren el cumplimiento de requerimientos y salvaguardas bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC).
- **Sistema multi-escala:** diseñado para medir, reportar y verificar las reducciones de emisiones por fuentes y absorción por sumideros a nivel nacional y subnacional relacionadas con el sector forestal y con especial énfasis en las actividades REDD+ (MRV México, 2014).

Las **características** del sistema nacional de MRV están resumidas en el siguiente diagrama:



Figura 2: Características del Sistema Nacional de MRV (MRV México, 2014)

1.3.1 Cálculo de factores de emisión a nivel nacional

El factor de emisión (FE) se define por coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por unidad de actividad, representados con una tasa de emisión promedio de determinado GEI, un aumento promedio en la reserva de carbono (IPCC, 2006), o la cantidad que se libera de determinado GEI por unidad de biomasa removida en función de la magnitud de las perturbaciones o actividades de manejo (Andrae y Merlet, 2001). Los cinco almacenes de carbono considerados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006) en el cálculo de emisiones generadas por el cambio de uso de suelo incluyen: biomasa viva (sobre y bajo el suelo), materia orgánica muerta (madera muerta y mantillo), y suelo (materia orgánica en el suelo).

1.3.2 Inventario Nacional Forestal y de Suelos

Actualmente, el Inventario Nacional Forestal y de Suelo (INFyS) es la fuente más confiable a nivel nacional para obtener datos relacionados a los factores de emisión, con más de 6,251 puntos de muestreo para selva alta-mediana en el país.

La metodología del diseño de las parcelas sigue la metodología del Programa del Inventario y Análisis del Servicio Forestal de los Estados Unidos, con una parcela circular de una hectárea (56.42 m de radio) con cuatro sub parcelas anidadas. El diseño de muestreo sigue una malla rectangular con distancias de 5 km entre los puntos de muestreo y hasta 20 km entre parcelas en regiones áridas (Cartus, 2014). Para selvas, se utilizan sitios rectangulares de 400m² para medir arboles con diámetro mayor o igual a 7.5 cm (CONAFOR, 2012).

Para biomasa viva, se miden 12 variables del árbol, y 2 estimaciones indirectas (modelos alométricos de biomasa y relación de biomasa aérea/subterránea). Del material leñoso caído, se miden 5 variables (Morfin, 2014).

Se han identificado algunos errores en relacionados con la identificación de especies de bosques tropicales y, en algunos casos, con las medidas de los árboles en puntos levantados en Chiapas y Campeche. Cartus et al (2014) reportan errores de 30% a 150% en las mediciones a nivel parcela. La CONAFOR planea hacer una re-medición de algunos sitios, con el fin de corroborar la información levantada, así como para hacer mediciones relacionadas al crecimiento.

1.3.3 Mapeo de biomasa a nivel nacional

Como parte del proyecto de la Alianza México REDD (MREDD), con el apoyo de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo (USAID), se contrataron a expertos del Woods Hole Research Center (WHRC) para elaborar un mapa de biomasa para México (Cartus et al., 2014) utilizando datos de LANDSAT (datos ópticos) para densidad del dosel, ALOS Palsar (radar), y mapas de uso del suelo. Se utilizó la metodología del enfoque de modelos ecológicos (Hurt et al., 2004, citado en Goetz et al., 2009) del enfoque directo de sensores remotos (Goetz et al, 2009). Se empleó el enfoque de “ecoregiones”, considerando similitudes en geomorfología, suelos, hidrología, clima, composición de especies y biodiversidad, produciendo 21 ecoregiones para México (Olson et al., 2001).

A continuación se presentan algunos de los principales retos. La banda L de ALOS Radar se satura con densidades de carbono de 100-150 toneladas por hectárea. A su vez,

la sensibilidad de las mediciones por efectos de clima y ambiente (i.e., precipitación y variaciones de humedad) tienen que ser incorporadas y calibradas. Para efectos del mapa de biomasa se utilizó el INFyS para calibrarlo, sin embargo la densidad de muestreo no fue suficientemente alta para calibrar el modelo a nivel macro. Se utilizó un algoritmo randomForest para modelar la relación entre el INFyS y las imágenes de sensores remotos, que tiene un potencial robusto y eficiente, y que ha sido aplicado en diferentes esfuerzos de mapeo en otras ocasiones. Los resultados muestran que el mapa subestima el carbono en biomasa aérea arriba de 50 toneladas de C/ha. En laderas el mapa tiene representatividad de la biomasa actual en el terreno. En los bosques tropicales de Calakmul y la Selva Lacandona, se puede ver que se sub-representan o se sobre-representan las estimaciones en campo.

La incertidumbre del mapa se ve reflejada a través de los siguientes aspectos: en las ecuaciones alométricas para convertir diámetro de los arboles a biomasa, en las imágenes de sensores remotos y en el modelo de minas de datos. En general el mapa de biomasa es más útil para áreas donde hay poca información de campo, y a la escala nacional (30m por 30m).

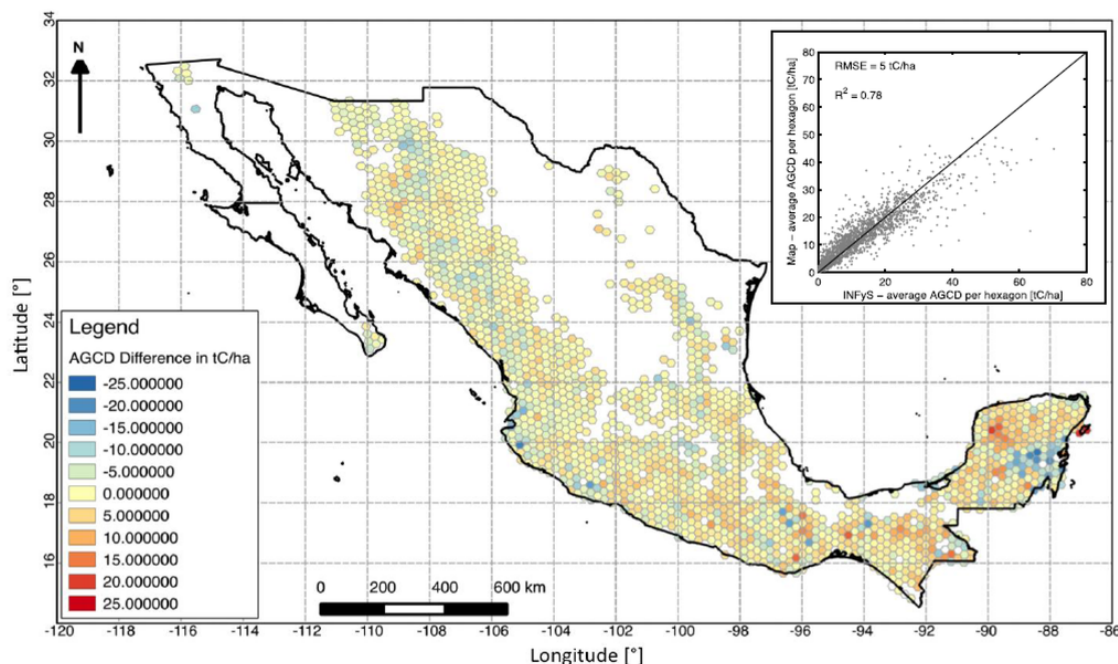


Figura 3: Incertidumbre asociado con el mapa de WHRC (Cartus et al., 2014)

[illegible]

15

1.4 Estudios sobre ecuaciones alométricas existentes

Miguel Ángel Castillo Santiago. Cooperativa AMBIO / El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristobal de las Casas.

Algunos de los trabajos reportados para el ajuste de ecuaciones alométricas para el Sureste de México incluyen el de Cairns et al. (2003) quienes desarrollaron modelos específicos de varias especies arbóreas y uno general para el bosque tropical seco de la Península de Yucatán. Hughes et al. (1999) publicaron un modelo aplicable para árboles con $DAP < 10$ cm del bosque tropical húmedo de Veracruz. Más recientemente Douterlungne et al. (2013) ajustaron modelos para cuatro especies arbóreas de rápido crecimiento, frecuentes en el bosque tropical húmedo. También se han modificado algunas de las ecuaciones anteriores para adaptarlas a otras condiciones, por ejemplo Urquiza-Haas et al. (2007) proponen una modificación a la ecuación genérica de Cairns et al. (2003) agregando un parámetro de densidad de la madera, para mejorar las estimaciones de los bosques perturbados; aunque no lo evaluaron con datos de biomasa medida en campo. La estructura de las ecuaciones referidas incluye como variables predictores (o variable x) al diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de los árboles. Cuando la medición de altura no se encuentra disponible, se emplean modelos que tienen como variable predictor únicamente el DAP.

En el estudio de Cairns et al. (2003), se desarrollaron dos tipos de modelos. El primero con varios modelos específicos en donde incluyeron a las especies más abundantes y el segundo con un modelo general para todas las leñosas del tipo de vegetación estudiado (bosque tropical seco maduro). En el primer caso se partió la muestra en dos, árboles grandes ($DAP \geq 10$ cm), y árboles pequeños, ($DAP < 10$ cm). Los modelos para los árboles grandes incluyen a las especies que se encuentran listadas a continuación: *Alseis yucatanensis* Standl., *Brosimum alicastrum* Sw., *Manilkara zapota* (L.) Royen, *Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni, *Pouteria unilocularis* (Donn. Sm.) Baehni, *Trichilia minutiflora* Standl. Los modelos específicos para los árboles pequeños incluyen: *Alseis yucatanensis* Standl., *Manilkara zapota* (L.) Royen, *Pouteria unilocularis* (Donn. Sm.) Baehni, *Trichilia minutiflora* Standl., *Piper* sp., *Talisia olivaeformis* Radlk., *Croton arboreus* Millsp., *Croton lundelii* Sw. y *Eugenia* sp.

La ecuación general de los modelos propuestos por Cairns et al. (2003) es la siguiente:

$$<AGB>_{est} = b_0 + b_1*(DAP^2)*Alt$$

Donde:

$<AGB>_{est}$ = la biomasa aérea estimada,

DAP = diámetro a la altura del pecho (medido a 1.3 m de altura, en cm),

Alt = la altura total del árbol (en m),

b_i = los parámetros estimados mediando la regresión lineal.

Ecuación 1: Estimación de biomasa a partir de Cairns et al. (2003)

El modelo alométrico general para las especies arbóreas del bosque seco se desarrolló combinando los datos de todas las especies, lo que resultó en la siguiente ecuación:

$$<AGB>_{est} = \text{Exp}\{ b_0 + b_1\text{Ln}(DAP^2*Alt) + FC\}$$

Donde *Exp* = valor *e* elevado a la potencia indicada entre paréntesis;

Ln = logaritmo natural o logaritmo con base *e*; y

FC = al factor de corrección para eliminar el sesgo introducido al usar una transformación logarítmica

Ecuación 2: Ecuación alométrica para bosques seco (Parresol, 1999).

En el trabajo de Douterlungne et al. (2013) se ajustaron ecuaciones para las siguiente especies: *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., *Guazuma ulmifolia* Lam, *Inga vera* Willd., y *Trichospermum mexicanum* (DC.) K. Schum, todas ellas especies pioneras de rápido crecimiento y adecuadas para restauración de áreas deforestadas. Estos autores proponen modelos polinomiales basados únicamente en el DAP, no consideradas en los datos originales.

$$\ln \langle \text{AGB} \rangle_{\text{est}} = b_0 + b_1 * \ln(\text{DAP}) + b_2 * \ln(\text{DAP})^2$$

Con $b_2 = 0$ en el caso de *O. pyramidale*, *G. ulmifolia*, y *T. mexicanum*

Ecuación 3: Ecuación alométrica propuesta por Douerlounge et al., (2013)

Relacionado con bosques secundarios, Urquiza-Haas et al. (2007) proponen la densidad de la madera como un modificador de la ecuación, sugiriendo el siguiente modelo generalizando el modelo de Cairns et al. (2003), para aquellas condiciones.

$$\langle \text{AGB} \rangle_{\text{est}} = \text{Exp}\{ b_0 + b_1 \ln(\text{DAP}^2 * \text{Alt}) + \text{FC} \} * (\rho_i / \rho_m)$$

Donde ρ_i es la densidad de la madera de la especie i , ρ_m es la densidad promedio de las especies empleadas en el ajuste del modelo de Cairns (op. cit.), a saber 0.72 gr/cm^3 .

Ecuación 4: Urquiza-Haas et al., (2013) modificando Cairns et al., (2003)

Por otra parte, en un intento por obtener ecuaciones generalizadas para los bosques tropicales, Chave et al. (2005) desarrollaron modelos alométricos para cuatro tipos de bosque tropical: bosques lluviosos, bosques húmedos o estacionales, bosques secos y manglares. Para este trabajo se compilieron datos de campo de México, Centroamérica y el Caribe, Sudamérica y Asia. Para México se emplearon los datos de la Península de Yucatán colectados por Cairns et al. (2003). Los autores evaluaron dos tipos de modelos, con altura del árbol y DAP, o sólo con DAP. Para ambos casos se incluyó la densidad de la madera como variable predictor, la cual resultó altamente explicativa para la estimación de biomasa. Los resultados de Chave et al. (2005) destacan la importancia de usar tres variables para estimar la biomasa aérea, la altura del árbol, el DAP y la densidad de la madera. Los modelos que incluyen estas tres variables de entrada resultan tener un menor error en la estimación. Sin embargo, si los datos de

campo disponibles no incluyen la altura, se propone el empleo de un modelo polinomial que solo requiere el DAP y la densidad de la madera como variables de entrada. No obstante, en este caso el error de estimación se incrementaría. La estructura de los modelos desarrollados por estos autores es la siguiente:

$$\langle \text{AGB} \rangle_{\text{est}} = \text{Exp}\{b_0 + b_1 * \text{Ln}(\rho * \text{DAP}^2 * \text{Alt})\}$$

Ecuación 5: Modelo con tres variables propuesta por Chave et al. (2005)

$$\langle \text{AGB} \rangle_{\text{est}} = \rho * \text{Exp}\{b_0 + b_1 * \text{Ln}(\text{DAP}) + b_2 * \text{Ln}(\text{DAP})^2 + b_3 * \text{Ln}(\text{DAP})^3\},$$

ρ se refiere a la densidad de madera para la especie en cuestión.

Ecuación 6: Modelo con dos variables propuesta por Chave et al. (2005)

En México la institución responsable de reportar las estimaciones de los contenidos de biomasa de los bosques es la CONAFOR. Sin embargo, de acuerdo al banco de ecuaciones alométricas de esta institución para la región sureste de México solo existe un grupo limitado de ellas. En general las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de la biomasa de los bosques a nivel nacional son aquellas que se publicaron en artículos científicos o tesis profesionales. Para los árboles de las selvas se utilizan las ecuaciones de Cairns et al. (2003) y Chave et al. (2005). En especies de rápido crecimiento de selvas (especies de vegetación secundaria) se emplean los modelos de Dousterlungne et al. (2013) y para las especies de los manglares, el trabajo de Day et al. (1987).

2 Diagnóstico del estado de arte de MRV en Chiapas

Autores:

Felicia Line, Ecologic Development Fund.

Sergio López Mendoza, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

2.1 El Programa de Acción ante el Cambio Climático del estado de Chiapas

Como parte del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas (Conservation International, 2011) se elaboró el primer inventario estatal de Gases de Efecto Invernadero (GEI) con año base 2005. Este inventario fue elaborado bajo las Directrices del IPCC (1996) para inventarios nacionales, con la Guía de Buenas Prácticas del IPCC (2000) y la guía de buenas prácticas para USCUS del IPCC (2003). En el año 2005 Chiapas emitió 28,161.08 Gg de CO₂e (28,161,080 toneladas de CO₂e). El principal sector emisor es el de Uso de Suelo Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUS), con un 57% o 16,182.08 Gg de CO₂e que provienen principalmente de la deforestación y degradación forestal para la transformación de las tierras forestales a tierras agrícolas y pastizales para uso ganadero.

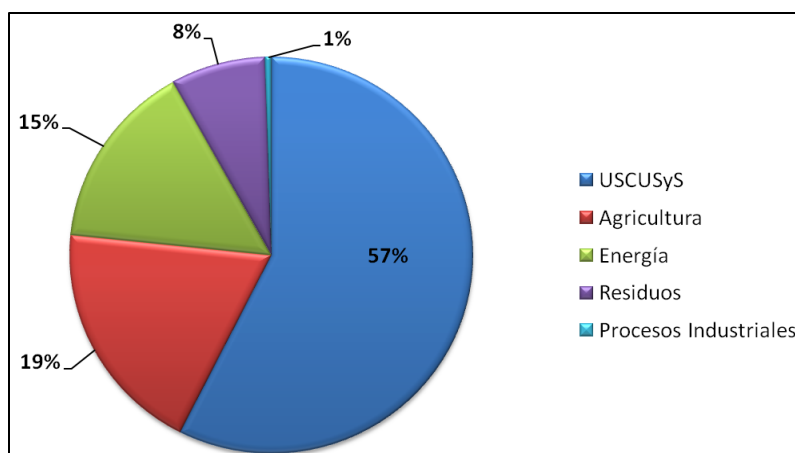


Figura 5: Primer Inventario de gases de Efecto Invernadero para Chiapas (Fuente: Conservación Internacional (coord.), 2011)

El cálculo de las emisiones de GEI se realizó con base en las Guías de Buenas Prácticas del IPCC (2003) con Tier 2 y 3, 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 (por arriba y debajo del suelo), contenido de carbono en los suelos forestales, factores de expansión, y datos de incrementos de biomasa, entre otros parámetros.
4. Actualizar las series históricas y bases de datos sobre producción y consumo de productos forestales, actividades de manejo forestal y reforestación.
5. Adaptar la metodología del IPCC a las condiciones particulares del estado de Chiapas (De Jong, 2010).

Se calcularon las emisiones de las categorías de cambio de uso de suelo y las categorías de reservorios (biomasa, materia muerta en el suelo, sobre el suelo y biomasa muerta) basado en criterios de disponibilidad de información, significancia de cambios y cambios esperados, generando resultados para los años 1998 a 2008. Dado que no existen datos suficientes para estimar los flujos de GEI en la biomasa muerta, se optó por considerar este reservorio en balance (emisiones = remociones).

Los resultados indican que el sector USCUS del estado aportó un total de $23,934 \pm 10,603$ Gg de CO_{2e} por año entre 1990 y 2002 (Figura 5) y $16,477 \pm 7,299$ Gg de CO_{2e} por año entre 2003 y 2008.

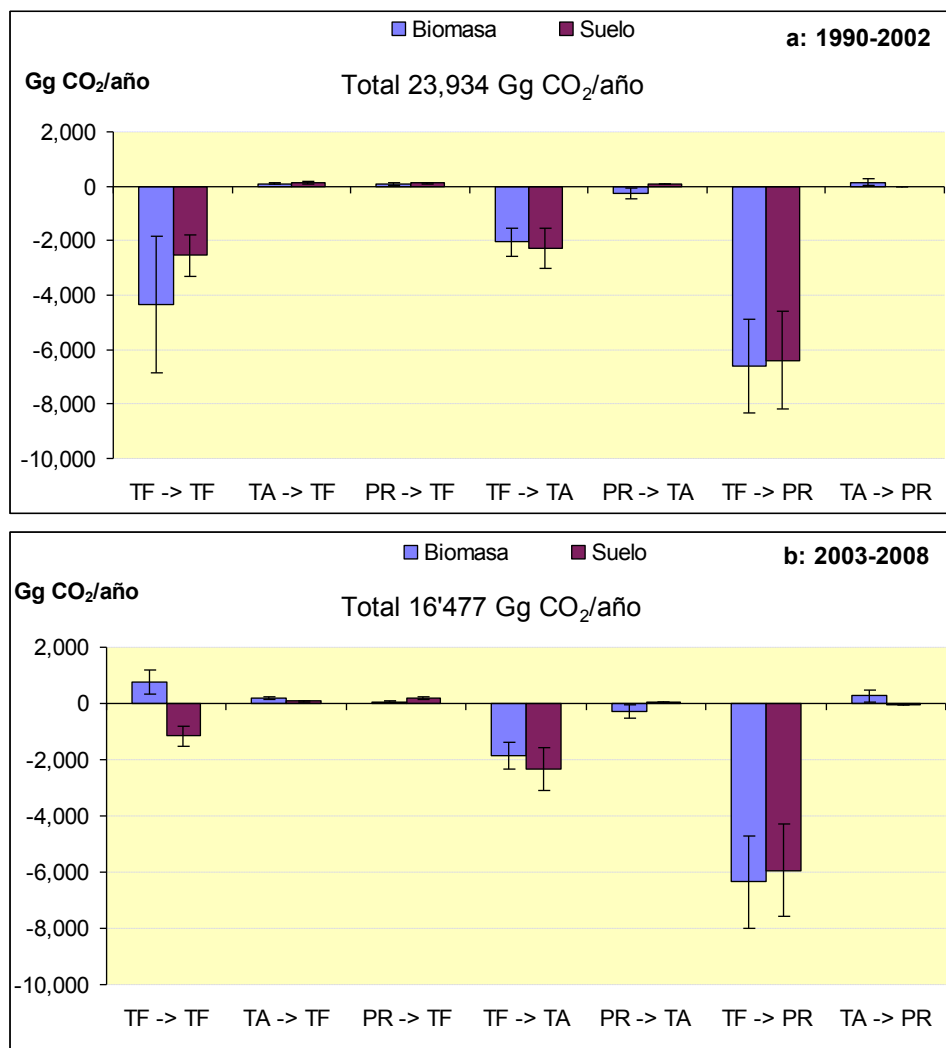


Figura 6: Emisiones y captura anuales en las diferentes categorías de uso de suelo actual e histórico para los periodos 1990-2002 y 2003-2008. Las líneas negras indican la incertidumbre en las estimaciones. Flujos negativos son emisiones, flujos positivos representan captura. TF = Tierras Forestales, TA = Tierras Agrícolas y PR = Praderas. Fuente: de Jong et al., (2010)

Se generaron mapas multi-temporales de la categoría “bosque” con resolución de píxel de 30m. Para analizar la degradación del bosque en los seis años de estudio, se definió la categoría “bosque degradado”, con un rango de cobertura arbórea de 10 al 30%, y se extrajeron los datos estadísticos correspondientes a nivel estatal y municipal. La superficie de “bosque” disminuyó aproximadamente 120,000 ha en todo el periodo de estudio (1990-2009), lo cual representa una reducción del 3.74% de la superficie inicial estimada. El balance global para el periodo de estudio (1990-2009) indica que la

superficie estatal de “bosque degradado” se redujo aproximadamente 99,000 ha. Esto representa alrededor del 20% de la superficie inicial estimada para el año 1990.

A partir de los mapas que se muestran en la Figura 6, se generaron matrices de cambio para los periodos 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2007 y 2007-2009. Esto se realizó a través de comparaciones cruzadas siguiendo la metodología empleada por De Jong et al., (2010).

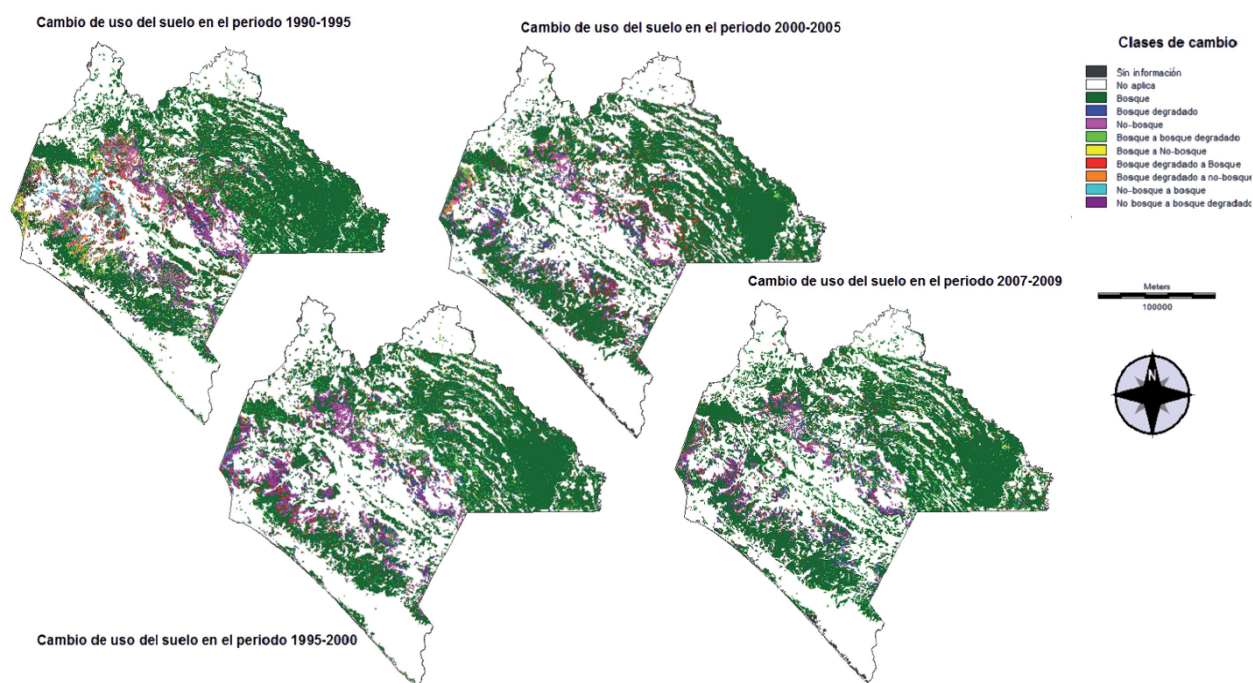


Figura 7: Mapas de deforestación multi-temporal (1990 – 1995, 1995- 2000, 2000 – 2005, 2005 – 2007, 2007 – 2009). Fuente: Paz et al., 2010.

De continuar con las tendencias de 1993 a 2007, se pueden llegar a deforestar 233,414 ha para el año 2016. Las áreas con mayor riesgos son la Región Fronteriza, Selva (Marqués de Comillas principalmente), Sierra y Altos (Conservation International, 2011).

2.2 Proyecto Recover

Como parte del Proyecto de la Unión Europea, “*Recover - for REDD and Sustainable Forest management*”, El Centro Tecnológico de Finlandia VTT desarrolló una serie de

productos para Chiapas con el apoyo del Colegio de Posgraduados (COLPOS) para la interpretación de datos de muy alta resolución, y la Escuela de la Frontera Sur (ECOSUR) con puntos de muestreo en campo (Hame et al, 2013).

Se generaron productos de mapas de cobertura forestal y uso de suelo para el estado de Chiapas utilizando datos ópticos (LANDSAT para los años 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010 y Rapideye para los años 2011 y 2012), radar (ALOS PALSAR), VHR y datos en sitio. Los 30 productos para el estado de Chiapas generados fueron Imágenes de mosaico, mapas de bosque y no bosque, mapas de la degradación forestal, mapas de biomasa aérea y productos estructurales para caracterizar la distribución espacial de los bosques en Chiapas (por ejemplo, productos para densidad de perforación y numero de parches de bosques por kilómetro cuadrado).

Para evaluar la incertidumbre se realizó un muestreo de dos etapas el cual fue aplicado durante 4 años para recolectar datos de muy alta definición. Este muestreo utilizó puntos de muestreo interpretados visualmente al azar a 50 x 50m seleccionados dentro de las imágenes de muy alta definición. La precisión para la clasificación de bosques y no bosques varió entre 81.5% a 87.9% cuando los puntos de referencia solamente aceptaron una clase de cobertura de suelo, y 75% a 83% cuando los puntos de muestro mixtos fueron considerados. Las precisiones de bosques y no bosque de los datos ópticos estuvieron en el mismo nivel que los datos de radar de ALOS PALSAR.

Los resultados arrojaron que el área de bosque para Chiapas varía según las clasificaciones entre 58.8% en 1990 a 52.4% en 2012 (Sirro, 2013). En el caso de biomasa, el RMSE (Residual Mean Square Error, por sus siglas en ingles) de predicción del modelo raíz cubica para densidad debajo de 200 t/ha fue 47.3 t/ha, y se incrementó a 59.4t/ha cuando todos los muestreos de los datos de prueba fueron incluidos. Las cantidades de biomasa para los áreas de estudio fueron desde 51 t/ha hasta 150 t/ha. Se comentó que el error fue mayor que Laos, por el terreno montañoso y dinámicas en cambio de uso de suelo, la falta de consistencia espacial en los puntos de muestreo (Häme *et al.* 2013).

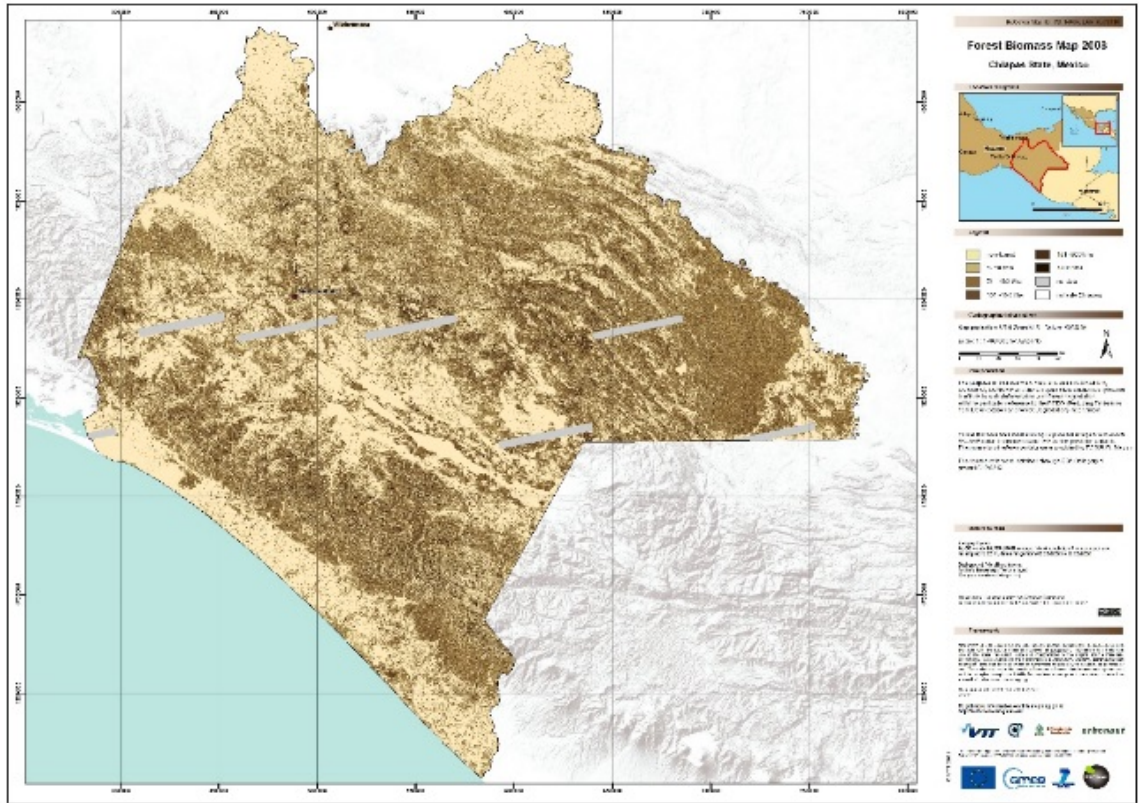


Figura 8: Mapa de biomasa de Chiapas, 2008. (Sirro et al., 2013)

2.3 Estudios de flujos de carbono en el estado

En el primer estudio, sobre flujos de carbono en el estado (De Jong et al., 1999)) se analizó el impacto de la fragmentación de la cobertura arbórea y el cambio de uso de suelo en la región que corresponde a Los Altos de Chiapas, comprendida por 34 municipios de la zona central del estado, completamente o en parte. Mediante parcelas de monitoreo en campo se generaron datos de carbono que después fueron asignados a las seis clases de uso de suelo y vegetación propuestas por el INEGI (bosques de encinos y de niebla, pino-encino, pino; degradados y fragmentados que incluye vegetación secundaria arbórea y arbustiva, tierras cultivadas y pastizales inducidos e introducidos) más los cuerpos de agua. Por medio del análisis de la información cartográfica digitalizada, para los mapas de uso de suelo y vegetación, se calculó la tasa de cambio de uso de suelo en un periodo de 16 años comprendido entre 1975 y 1991. Con base en los

resultados, se estimó que un total de 19.99×10^6 toneladas de carbono se liberaron a la atmósfera durante el periodo de estudio, equivalentes a aproximadamente 34% del acervo de carbono en la vegetación de 1975. Los Altos de Chiapas representan solo el 0.3% de la superficie de México, pero contribuyen con el 3% de las emisiones nacionales netas de carbono.

En el año 2000, De Jong y colaboradores publicaron otro estudio sobre flujos de carbono en la Selva Lacandona. Con base en mapas de uso de suelo/cobertura de suelo para la década de los 1970s e imágenes satelitales para la década de los 1990s se estimaron los cambios y se asociaron los flujos de carbono en 3 subregiones Selva Lacandona. El área total de bosque con dosel cerrado se redujo en 31%, mientras que los bosques secundarios se expandieron más de nueve veces, la vegetación arbustiva secundaria se multiplicó en casi seis veces, y las tierras cultivadas y los pastizales se expandieron entre 21% y 92% respectivamente. Las densidades promedio de C total fueron de 452 Mg C ha^{-1} , para bosque maduro cerrado, a 120 Mg C ha^{-1} para pastizales. Se estimó que para el reservorio total de C en 1976, las pérdidas por cambios en la cobertura y el uso de suelo corresponden a 24%, mientras que las regiones menos impactadas solamente perdieron el 3% durante el mismo periodo.

Recientemente (Orihuela-Belmonte, 2013) realizaron un estudio similar en vegetación secundaria con diferentes edades de recuperación (crono-secuencia) de parcelas dentro de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote, y en sitios aledaños. Los resultados muestran que el tiempo de recuperación de la vegetación está relacionada positivamente con la biomasa y carbono totales, mientras que la intensidad de uso de suelo está relacionada de manera negativa con la biomasa y carbono totales. Por otra parte, no se detectaron cambios significativos en el carbono almacenado en los suelos.

El estudio de De Jong (2013), analizando el INFyS (2004 -2007), muestra que las áreas de la Selva Lacandona y Calakmul contienen las densidades de biomasa más altas del país, probablemente por la intensidad de precipitación en estas áreas y por la menor frecuencia de perturbación humana. En su análisis se muestra que las perturbaciones humanas, como el uso de fuego, disminuye las densidades de biomasa hasta en un 24-

35% y los daños por el viento afectan de la misma manera las densidades de biomasa en la península de Yucatán.

2.4 Información de herbarios

Para el presente proyecto se consultaron las bases de datos de los herbarios Eizi Matuda de la UNICACH (HEM), de la Academia de Ciencias de California (CAS) y de Nueva York (NY). Desafortunadamente las colectas no tienen referencias geográficas explícitas, solamente cuentan con información que permite localizar de una manera aproximada el lugar de colecta de cada espécimen.

En total se colectaron 65 especímenes por parte del CAS, 43 del HEM y uno de NY. Del total de especímenes, se determinaron 55, 39 y una especie, respectivamente. Las especies con mayor frecuencia de colecta fueron *Pleuranthodendron lindenii*, *Hampea stipitata*, *Crossopetalum parvifolium*, *Iresine arbuscula*, *Miconia impetiolearis* var. *impetiolearis* y *Mosannonia depressa* subsp. *depressa* para el CAS; mientras que para el HEM fueron *Guarea glabra* y *Psychotria chiapensis*. En el caso del NY, solamente se reportó la especie *Clusia salvinii*. Actualmente se está trabajando en la depuración de la base de datos proporcionada por el herbario nacional (MEXU) bajo resguardo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Para la Selva Lacandona hay 382 registros de plantas colectadas, que incluyen árboles, arbustos, hierbas, lianas, epífitas y helechos. Actualmente se está trabajando en una depuración para obtener solamente las especies arbóreas. El segundo filtro incluirá la selección de registros que se encuentran dentro de la poligonal marcada para el área de estudio, con lo que se contará con una representación de la vegetación arbórea para el área.

De acuerdo con el INFyS (CONAFOR, 2012) para la Sierra La Cojolita se tienen registros del periodo del 2004 al 2007, en un primer inventario, y del 2009 al 2013 para un segundo periodo. En total se registraron 105 especies de árboles para el periodo 2004-2007, distribuidas en 1,066 árboles. Las especies con mayor abundancia en los muestreos fueron *Brosimum alicastrum*, *Guarea glabra*, *Heliocarpus appendiculatus*, *Sebastiania longicuspis*, *Alseis yucatanensis*, *Schizolobium parahyba*, *Trichospermum grewiifolium*, *Manilkara zapota*, *Spondias mombin* y *Quercus crassifolia*. Para el periodo 2009-2013 también se registraron 105 especies en total repartidas en 637

árboles. Las especies más abundantes en este periodo fueron *Brosimum alicastrum*, *Heliocarpus donnellsmithii*, *Croton glabellus*, *Dialium guianense* y *Saurauia kegeliana*.

2.5 Estudio de Factibilidad de REDD+ para el estado de Chiapas

Para el estudio de factibilidad de REDD+ para Chiapas (Paz et al., 2012) se construyó una propuesta de escenario de referencia de emisiones de GEI para Chiapas. Se siguió el mismo procedimiento que se reporta en Paz *et al.* (2010b), donde se obtuvieron mapas de deforestación y degradación forestal para los años: 1990, 1995, 2000, 2005, 2007 y 2009. El procedimiento que abordan dichos autores incluye el uso de imágenes satelitales y de un clasificador genérico de objeto para la generación de mapas de clases de cobertura del suelo. Estos mapas de clases constituyen el insumo base para la elaboración de los mapas de deforestación y degradación forestal. Para la integración de los mapas se emplearon imágenes LANDSAT de los sensores TM y ETM+.

Una herramienta utilizada para este trabajo fue el Sistema de Procesamiento de Imágenes Satelitales (SPIAS) desarrollado por (Paz et al., 2009) y (Medrano et al., 2011) que utiliza módulos orientados a compensar los efectos que tienen la atmósfera, la geometría de iluminación y el relieve topográfico.

Del procesamiento de imágenes con el SPIAS, utilizando un clasificador genérico que fue desarrollado por (Palacios, 2006), se obtuvieron imágenes de clases genéricas de objetos. Las imágenes de clases genéricas se utilizaron para elaborar mapas anuales de “clases de cobertura del suelo”. Con las imágenes resultantes de la reclasificación se construyeron mosaicos anuales con cobertura espacial en todo el estado de Chiapas. Para realizar este ejercicio se programó un algoritmo en lenguaje C++. El código se desarrolló para analizar píxel a píxel la información multi-temporal correspondiente a cada año de estudio y extraer el valor representativo de la serie de datos. Considerando los valores de la cobertura (%) asociada a las clases de cobertura del suelo, se definieron umbrales para generar los mapas anuales de deforestación y degradación forestal de la siguiente forma: No bosque: cobertura < 10%, Bosque degradado: cobertura 10-30%, Bosque: cobertura > 30%, Sin información.

Los mapas de “clases de cobertura del suelo” en Chiapas se intersectaron con los polígonos de las categorías Bosque y No bosque derivados de las series II, III y IV del INEGI. Una vez que se obtuvieron los mapas de deforestación y degradación forestal se generaron estadísticas de la superficie ocupada por las clases que se reportan en los mismos, considerando cuatro escalas de consulta: predios, municipios, subcuencas y estatal. Un elemento importante en este ejercicio fueron los mapas de clases de vegetación del INEGI (derivados de las series II, III y IV de uso del suelo y vegetación) que se emplearon para desglosar la superficie según las clases de vegetación presente en cada unidad de consulta.

Para armonizar la generación de escenarios de referencia estatal con el Programa de Acción ante el cambio Climático de Chiapas (PACCCH), las densidades del carbono (factores de emisión) de los usos del suelo de ese trabajo fueron utilizadas en el estudio de Paz et al., (2012). El inventario estatal de GEI del sector uso del suelo y cambio de uso del suelo (De Jong *et al.*, 2010) utilizó factores de emisión derivados de la información del INFyS de la CONAFOR en Chiapas. Dado que los muestreos del INFyS de la CONAFOR no tomaron muestras de suelo, el estudio utilizó la base de perfiles de suelo del INEGI-COLPOS para realizar estimaciones del carbono orgánico en el suelo (COS). Luego se analizaron los patrones multi-temporales a los diferentes niveles de agregación: municipios, subcuencas y estado. Los análisis fueron realizados en términos de t de CO₂ (t C x 44/12).

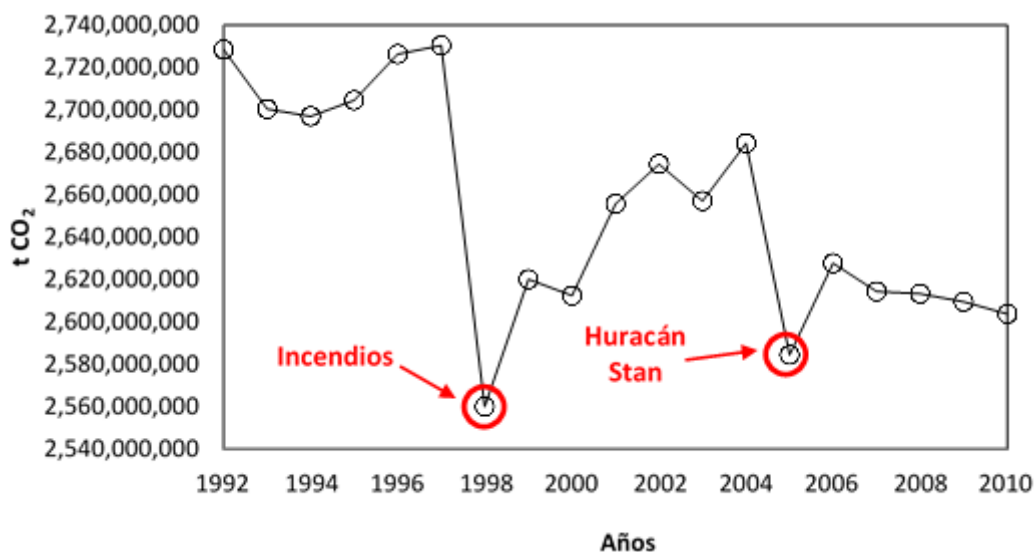


Figura 9: Estimación del escenario de referencia de Gases de Efecto Invernadero del sector USCUS (Paz et al., 2012).

En conclusión, Paz et al. (2012) observan que es posible realizar ejercicios de construcción de escenarios de referencia inerciales en términos más sofisticados, particularmente usando la fusión de imágenes satelitales de sensores pasivos (ópticos) y activos (radar y lidar), y que el enfoque utilizado en la aproximación mostrada es conservadora y permite obtener una primera estimación, multi-escala, de la evolución temporal de los almacenes de carbono en el estado de Chiapas.

Una limitación intrínseca de ligar datos de actividad y factores de emisión es la clasificación taxonómica usada en México por el INEGI, que muchas veces no tiene una asociación clara a clases de densidad de carbono o no es posible de diferenciarla usando sensores remotos.

Las incertidumbres asociadas a datos de actividad y factores de emisión no se pudieron realizar ya que no se contaba con estimaciones confiables de los datos de actividad multi-temporales.

3 Estado de Arte de MRV en el estado de Campeche

Ligia Esparza Olguín – El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche

Eduardo Martínez Romero – Investigación y Soluciones Socioambientales A.C.

De acuerdo al Inventario estatal de Gases de Efecto invernadero, Mendoza et al. (2012) estimaron que el Estado de Campeche emitió entre 14 y 24 mil Giga gramos (Gg) de CO₂ equivalente durante 2007 (Ver cuadro 1). La diferencia depende de la inclusión de los datos de emisión de PEMEX en los procesos industriales, identificando como principal sector de emisión de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura.

Cuadro 1: Emisiones de GEI para el Estado de Campeche. Fuente: Mendoza et al (2012)

Sector	Cantidad emitida de CO ₂ eq. (Gg)
Energía	1,429.57
Agricultura	1,053.86
Procesos industriales (con PEMEX)	216.56 (9,386.53)
Uso de Suelo, Cambio de uso de suelo y Silvicultura	11,464.20
Desechos	356.45

3.1 Estudios de estimación de biomasa en el estado de Campeche

En el caso del estado de Campeche se cuenta con el reporte de estimaciones del carbono contenido en especies leñosas (biomasa) provenientes de estudios de caso principalmente para la región de Calakmul. Los datos a nivel de estado se tienen a partir de estudios regionales para la Península de Yucatán, con quien comparte características fisiográficas y vegetales semejantes, por lo que se incluyen datos reportados para las selvas de Quintana Roo y Yucatán.

En el cuadro 2 se resume la información reportada por diversos autores en la que puede observarse que los valores de la biomasa para las selvas subperennifolias del estado oscilan entre 86.4 Mg ha⁻¹ y 163 Mg ha⁻¹, mientras que para las selvas subcaducifolias entre 69.2 Mg ha⁻¹ a 133.28 Mg ha⁻¹.

Cuadro 2: Estimaciones de biomasa (Mg ha⁻¹) reportadas para el estado de Campeche* o la Península de Yucatán+.

Vegetación	+Cairns et al. 2000	+Cairns et al. 2003	+de Jong 2013	*Santamaría 2014	*Read y Lawrence 2003	+Urquiza et al. 2007	+&Hernández-Stefanoni et al. 2014 (ton/ha)
Selva madura subperennifolia	111.2	225.0		119.4	118-163	191.9±4.5	270.27±16.12
Selva madura subcaducifolia				133.3			147.2±14.99
Vegetación secundaria de selva subperennifolia							
< 10 años				48.87	10-64.1		
>10 – 20 años				79.72	27.6-61	28.8±3.8	
> 20 – 30 años				100.19	60.5-97.6		
> 30 años		126±4.5				105.8±3.5	

En el caso de los datos que presentan su incertidumbre asociada, se trata siempre de estimaciones de la desviación estándar. Para Hernandez &Stefanoni et al., (2014) el equivalente en Mg ha⁻¹ sería 127.03 para selvas subperennifolias y 69.2 para selvas subcaducifolias.

Dos trabajos que destacan por estimar más de uno de los cinco reservorios de carbono (biomasa aérea viva, biomasa aérea muerta, hojarasca, suelo y respiración de raíces) en selvas subperennifolias maduras y vegetación secundaria de diferentes edades en Calakmul son los de Eaton & Lawrence (2009) y Aryal et al. (2014) (cuadro 4).

Cuadro 3: Datos de biomasa en reportados por *Eaton & Lawrence (2009) y Aryal et al. (2014).

Edad de la selva (años)	Contenido de carbono en cada uno de los reservorios (Mg ha ⁻¹)					
	Biomasa aérea viva	Respiración raíces	Hojarasca	Madera muerta	Suelo	Total
4	11.72±4.92 14.3*	3.28±1.23 3.0*	3.33±0.62 2.0	18.57±7.85 6.3*	54.86±24.5 3 246.3*	91.77± 6.98
10	28.92±12.4 9 14.1+	7.56±3.09 1.4*	3.57±1.09 2.9*	12.03±4.86 3.9*	53.26±15.10 211.2*	105.33±22.5 5
20	40.89±11.99 23.2	10.46±2.84 1.2*	5.07±1.12 2.6*	19.18±18.3 6 5.9*	50.30±33.2 0 222.6*	125.90±38.0 2
35	55.52±2.52	13.91±0.58	5.34± 1.48	12.25±7.50	68.42±29.8 1	155.44±30.5 4
SQM	99.56±20.8 3 60.9*	23.83±5.32 2.8*	5.62±1.47 3.4*	35.87±8.97 14.28*	66.79±34.7 0 321.9*	231.67±43.3 4

4 Conclusiones

La información generada para el establecimiento de un sistema de MRV de las emisiones de GEI a nivel nacional aún está siendo desarrollada y se espera que esté lista para el año 2015. Sin embargo, aún existe un nivel alto de incertidumbre en las estimaciones de los factores de emisión debido a la falta de puntos de verificación en campo, las limitaciones del INFyS, la dificultad de acceso a áreas de alta densidad de carbono y errores en la clasificación en tipos de vegetación y especies. Las ecuaciones alométricas aplicadas son generales y existen pocas ecuaciones específicas generadas para bosques tropicales. Se requiere una mayor verificación en campo de los datos generados de imágenes satélites, especialmente en áreas de bosque tropical, así como por las ecuaciones alométricas generales. Además, de acuerdo con el objetivo del Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación, se requiere una mayor vinculación con los estados y las comunidades en términos de generación de capacidades y retroalimentación de datos generados a nivel nacional, y la generación de modelos escalables a través de la experimentación metodológica y la integración del monitoreo a diferentes escalas.

En los estados de Chiapas y Campeche, ambos tienen un avance notable en términos de estudios realizados en torno a volúmenes de biomasa, emisiones de GEI y tasas de deforestación. Ambos estados cuentan con un primer Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero. Existe mayor información en términos de mapas de deforestación y degradación en el estado de Chiapas, sin embargo en el estado de Campeche existe más trabajo sobre volúmenes de biomasa. Sin embargo, los trabajos realizados han sido dispersos y falta sistematizar y anidar la información generada en el esquema del Sistema Nacional de MRV. Es necesario alinear esfuerzos de las ONGs, centros de investigación y los gobiernos nacionales y estatales para reducir la incertidumbre de la información generada en cada estado.

Por lo tanto, el documento, Guía Metodológica para la Estimación y Mapeo de la Biomasa en Selvas Tropicales: Lecciones aprendidas de Chiapas y Campeche, México

pretende generar un marco de metodologías y ejemplos trabajados para las zona de estudio que puedan ser replicados en otros estados o para escalar los esfuerzos a nivel estatal. El proceso de fortalecimiento de capacidades ha sido central al proceso, y se detallan las lecciones aprendidas relacionadas con la experimentación de la metodología para futuros proyectos.

5 Bibliografía

- Andreae, M.O. & Merlet, P. 2001. "Emission of trace gases and aerosols from biomass burning." *Global biochemical cycles* 15 (4): 955-966.
- Aryal D.R. 2014. Dinámica de carbono en diferentes etapas sucesionales de la selva mediana sub-perennifolia en Calakmul, Campeche. Tesis Doctoral. El Colegio de la Frontera Sur, Campeche. 135 pp.
- Baccini, A., Carvarlho, H., Cartus, O. 2014. "Uncertainty in Carbon Mapping." Presentation in
- Brown, S, Herold, M and Skutsch M. 2009. ". Chapter 3.5 in GOFC-GOLD: Recommendations for country capacity building. Report version for COP 15. ." Alberta, Canada.
- Cairns M.A., Olmsted I., Granados J. y Arguez J. 2003. "Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula." *Forest Ecology and Management* 186: 125-132.
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Fölster H., Fromard., Higuchi N., Kira T., Lescure J.P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riéra B., Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. *Oecology* 145:87-99
- Cartus, O., J. Kellndorfer, W. Walker, C. Franco, J. Bishop, L. Santos, and J. M. Michel Fuentes. 2014. "A National, Detailed Map of Forest Aboveground Carbon Stocks in Mexico. ." *Remote Sensing* 6: 5559-5588.
- CONAFOR. 2010. *Visión de Mexico sobre REDD+*. Zapopan, Mexico : Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. 2012. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Informe 2004-2009*. Mexico D.F. : CONAFOR, 212.
http://www.ccmss.org.mx/descargas/Inventario_nacional_forestal_y_de_suelos_informe_2004_.
- Conservation International (Coord.),. 2011. *Programa de Acción ante el Cambio CLimático del Estado de Chiapas*. Tuxtla Gutierrez, Chiapas: Conservation International.
- Day J.W., Conner W.H, Ley-Lou F., Day R.H, Machado-Navarro A. 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Términos, Mexico. *Aquatic Botany* 27(3):267-284
- De Jong, B. H. J., Cairns, M. A., Haggerty, P. K., Ramirez-Marcial, N., Ochoa-Gaona, S., Mendoza-Vega, J., Gonzalez-Espinosa, M. & March-Mifsut, I. 1999. "Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, Mexico." *Environmental Management*, 23 (4): 373-385.
- De Jong, B.H, Montero, V. M., Rojas Garcia, Olguien Alvarez, M., Cruz Arias, F., Paz Pellat, F., Ferrer, G., J., Castillo Santiago, M., A. 2010. *Establecimiento de una línea base de las emisiones actuales y futuras de Gases de Efecto Invernadero provenientes de Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU 1.1) Fase 1 Informe Final*. Tuxtla Gutierrez: Conservation International.

- De Jong, B.H.J. 2013. "Spatial distribution of biomass and links to reported disturbances in tropical lowland forest of southern Mexico." *Carbon Management* 4 (6): 601- 615.
- de Jong, B.H.J., Ochoa-Gaona S, Castillo-Santiago, M.A., Ramirez-Marcial, N., Cairns, M.A. 2000. "Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva Lacandona, Mexico." *Ambio* 29: 504-511.
- Douterlungne D., Herrera-Gorocica A.M., Ferguson B.G., Siddique I., y Soto-Pinto L. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para restauración. *Agrociencia* 47:385-397
- Eaton J.M. & Lawrence D. 2009. Loss of carbón sequestration potential after several decades of shifting cultivation in the Southern Yucatán. *Forest Ecology and Management* 258(6): 949-958
- . 2014. «Estrategia Nacional de REDD+.» 1 de Abril. Último acceso: 1 de Diciembre de 2014. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/bycc/redd-en-mexico/estrategia-nacional-redd-enaredd/>.
- Gebhardt, S., Wehrman, T., Muñoz Ruiz, M. M., Maeda, P., Bishop, J., Schramm, M., Kopeinig, R., Cartus, O., Kelldorfer, J., Ressler, R., Santos, L. A., Schmidt, M. 2014. "MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring." *Remote Sensing* 2014 (5): 3923-3943:.
- Goetz, S.J., Baccini, A., Laporte, N. T., Johns, T. 2009. "Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations:." *Carbon Balance and Management* 4 (2). doi:10.1186/1750-0680-4-2.
- Hame, T., Sirro, L., Cabrera, E., Ensle, F., Haarpaintner, J., De Jong, B., Paz, F., Pedrazzani, D., Reiche, J. 2013. *Recover: A concepto for Tropial Forest Assessment for REDD*. Helsinki, Finland. : Technical Research Centre.
- Hernández-Stefanoni J.L., Dupuy J.M., Johnson K.D., Birdsey R., Tun-Dzul F., Peduzzi A., Caamal-Sosa J.P., Sánchez-Santos G. and López-Merlin D. 2014. Improving Species Diversity and Biomass Estimates of Tropical Dry Forest Using Airborne LiDAR. *Remote Sensing* 6:4741-4763
- Hughes R.F, Kauffman J.B., Jaramillo V.J. 1999. Biomass, carbon and nutrient dynamic of secondary forest in a humid tropical region of México. *Ecology*, 80(6):1892-1907
- IPCC. 2003. *Good Practices Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry*. Hayama, Japan: Institute for Global Change Strategies.
- IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Japan : Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. 2012 Mexico, D.F.: Camara de Diputados del H. Congreso de la Union. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/259.pdf>.
- .Ley General de Cambio Climático. 2012 Mexico, D.F.: Camara de Diputados del Congreso de la Unión.

- Medrano, E., Ibarra, F., Palacios, L., Jiménez, I., y Paz, F. 2011. *SPIAS: un sistema para proceso de imágenes satelitales a escala de país*. En: F. Paz (ed.), *Memorias del III Simposio Internacional del Carbono en México*, . Toluca, Estado de Mexico: Programa Mexicano del Carbono.
- Mendoza-Vega J., Ku-Quej V., De-Jong B., Pool-Novelo L. 2012. Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero en el Estado de Campeche. Instituto Nacional de Ecología. 238 p. (Informe técnico) – Disponible en:: <http://www.ecosur.mx/component/academicpages/?id=229&Itemid=1487#sthash.kTnZ3NNn.dpuf>
- Morales F., Zepeda Francisco. 2007. *Tesis Doctoral "El impacto de la biotecnología en la formación de redes institucionales en el sector hortofrutícola de Sinaloa, México*.
- Morfin, J., Carrillo, O., Rangel, L., Mayorga, R. 2014. "Taller de Factores de Emisión, Grupo Tecnico Estatal de MRV." Zapopan, Mexico: Proyecto Fortalecimiento de Capacidades y Coooperacion Sur Sur.
- MRV Mexico. 2014. *Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur Sur*. Último acceso: 1 de diciembre de 2014. <http://www.mrv.mx/index.php/es/mrv-m/mrv-m-2.html>.
- MREDD+, Alianza. 2013. *Componentes MREDD+*. Accessed December 1, 2014. www.alianza-mredd.org.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, and G.V.N. Powell. 2001. "Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth." *Bioscience* 51: 933-938.
- Orihuela-Belmonte DE, de Jong BHJ, Mendoza-Vega J, Van der Wal J, Paz-Pellat F, Soto-Pinto L, Flamenco-Sandoval A. 2013. "Carbon stocks and accumulation rates in tropical secondary forests at the scale of community, landscape and forest type." *Agriculture Ecosystems & Environment* 171: 72-84.
- Palacios, L.A., Paz, F., Oropeza, J.L., Figueroa, B., Martínez, M., Ortiz, C., y Exebio. A. 2006. "Clasificador genérico de objetos en imágenes ETM+, ." *Agrociencia* 40: 613-626.
- Parresol, B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science*, 45(4):573-593
- Paz, F., Covalada, S., Ranero, A., Ugarte, X., Esquivel, E., Marin, M. I., Cuevas, Ro., de Jong B., Etchevers, J.,. 2012. *Estudio de Factibilidad para el mecanismo REDD+ en Chiapas*. Tuxtla Gutierrez: Conservation International.
- Paz, F., Marín, M.I., Medrano, E.R., Ibarra, F. y Pascual, F. 2010. *Elaboración de mapas multitemporales de bosque, a partir de imágenes LANDSAT, TM y ETM+ y análisis de*. Tuxtla Gutierrez: Conservation International.
- Paz, F., Palacios, L.A., Ibarra, L.F., Jimenez, I., & Medrano, E.R. 2009. *System for Processing ImAges from Satellites (SPIAS) and its use on MRV of REDD. Generation 2. General description and system modules (non technical version)*. . Texcoco: GRENASER-COLPOS.

- Read L., Lawrence D. 2003. Recovery of biomass following shifting cultivation in dry tropical forest of the Yucatan. *Ecol. Appl.* 13:85-97
- Santamaria Rojas S.L. 2014. Aboveground biomass and carbon stock of a médium stature semi-evergreen tropical forest in the Intensive Carbon Monitoring Site of Calakmul-Campeche,
- SEMARNAT. 2012. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. . Mexico D.F. : SEMARNAT.
- Sirro, L., Hame, T., Rauste, Y., Antropov, O., Hamalainen, J., Latva- Kayra. P., Paz., P., de Jong, B. 2013. *Comparison of optical and SAR data in tropical land cover clasification for REDD+*. Joensuu, Finland: VTT research centro of Finland.
- Urquiza-Haas T., Dolman P.M. y Peres C.A. 2007. Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. *Forest Ecology and Management*, 247:80-90
- UNFCCC, 2010. *Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its fifteenth session*. Disponible de:
<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11>
- UNFCCC. 2011. *Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its sixteenth session*. Disponible de:
<http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>
- UNFCCC, 2012. *Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session*. Disponible de:
<http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a02.pdf#page>