



**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA -CONCYT-
SECRETARIA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA -SENACYT-
FONDO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA -FONACYT-
FUNDACIÓN DEFENSORES DE LA NATURALEZA –FDN-**

INFORME FINAL

**DETERMINACIÓN DEL CARBONO SECUESTRADO Y LIBERADO EN LOS
BOSQUES NATURALES Y SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL PARQUE
NACIONAL SIERRA DEL LACANDÓN, PETEN, GUATEMALA.**

PROYECTO FODECYT No. 030-2009

**ING. JAVIER MÁRQUEZ
INVESTIGADOR PRINCIPAL**

GUATEMALA, ENERO 2013.



AGRADECIMIENTOS AL CONCYT

La realización de este trabajo, ha sido posible gracias al apoyo financiero dentro del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología –FONACYT -, otorgado por La Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología –SENACYT - y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONCYT-

OTROS AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a todos los involucrados en la ejecución de este proyecto de investigación, a el Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Fundación Oro Verde, Rainforest Alliance, Álvaro Vallejo y Steffen Lackman de Carbon Decisions International, por su valioso apoyo y asesoramiento en el desarrollo metodológico del inventario teniendo en cuenta las metodologías y estándares internacionales de carbono; al Dr. Castellanos, a la Inga. Alma Quilo y la Licda. Gabriela Alfaro por los análisis de cantidad de carbono, a Víctor Hugo Ramos, por su asesoría en la estratificación del inventario y a todo el equipo técnico y administrativo de Fundación Defensores de la Naturaleza en especial a la unidad del Parque Nacional Sierra de Lacandón por su apoyo logístico y humano para desarrollar el estudio, ya que sin él estos valiosos resultados no hubieran sido posibles.



INDICE

RESUMEN	6
SUMMARY	8
PARTE I	10
I.1 INTRODUCCIÓN	10
I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
I.3 OBJETIVOS E HIPOTESIS	16
I.4 METODOLOGÍA	17
I.4.5.3 <i>Diseño de muestreo</i>	21
I.4.5.4 Selección de las Unidades de Muestreo	21
I.4.5.5 Ubicación de las Parcelas en el Terreno	21
I.4.5.6 Parcelas de Inventario de Carbono	22
I.4.5.7 Información Registrada por Parcela	23
I.4.5.8 Medición de Parámetros Dasométricos	24
PARTE II	29
II. 1 MARCO TEÓRICO	29
<i>Zonas de Vida</i>	30
<i>Ecosistemas</i>	30
<i>Vegetación</i>	30
PARTE III	44
III. 1 RESULTADOS	44
III.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
PARTE IV	62
IV.1 CONCLUSIONES	67
IV.2 RECOMENDACIONES	68
IV.3 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
IV.4 ANEXOS	72
PARTE V	76
V.1 INFORME FINANCIERO	76

INDICE DE MAPAS

Mapa No. 1 Ubicación Geográfica del Parque Nacional Sierra del Lacandón.....	17
Mapa No. 2 Estratificación del Parque Nacional Sierra del Lacandón.....	20
Mapa No. 3 Parcelas de Inventario de Carbono en Parque Nacional Sierra del Lacandón	44
Mapa No. 4 Parcelas de Inventario de NO BOSQUE.....	45
Mapa No. 5 Parcelas de Muestreos de Productos No Maderables.....	46
Mapa No. 6 Mapa de estratificación del Parque Nacional Sierra del Lacandón.....	47
Mapa No. 7 Cambio de uso de la Tierra en el PNSL.....	61
Mapa No. 8 Parcelas en la Región de Referencia	65

INDICE DE TALBAS

Tabla No. 1 Especies Maderables de Valor Comercial en Parcelas Permanentes del PNSL.....	51
Tabla No. 2 Cálculo de Volumen de las especies de valor comercial por especie/parcela en nueve estratos del PNSL.....	52
Tabla No. 3 Cálculo de número de hojas aprovechables por hectárea.....	55
Tabla No. 4 Datos utilizados para el cálculo de existencias de carbono en las tipos de bosques .	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1 Extensión Territorial y Porcentual de los Estratos en el PNSL	20
Cuadro No. 2 Descripción de Dimensiones, Áreas y Componentes a Muestrear dentro de una Parcela de Carbono	23
Cuadro No. 3 Variables y Ecuaciones para la Determinación de Carbono en el PNSL.....	27
Cuadro No. 4 Equipo utilizado para establecimiento de parcelas de carbono.....	28
Cuadro No. 5 Resultados de Carbón Secuestrado en los distintos usos del suelo.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Configuración Espacial de las Parcelas de Muestreo de Carbono en el PNSL	22
Figura No. 2 Uso Correcto de la Cinta Diamétrica.....	24
Figura No. 3 Parcelas para muestreo de especies no maderables	46
Figura No. 4 Pasos para realizar el muestreo de carbono	48
Figura No. 5 Evaluación de incidencia de Incendios Forestales en el PNSL	60

RESUMEN

La pérdida global de los bosques aumenta los riesgos del cambio climático. Se ha estimado que la deforestación contribuye con el 20% de las emisiones anuales de CO₂ del mundo. Los bosques naturales sufren amenazas alarmantes para su conversión a otros usos de la tierra, prevenir este cambio de uso, brindará la oportunidad más inmediata para reducir la acumulación de CO₂ en la atmósfera, accediendo al creciente mercado voluntario de carbono, que sumó hasta el 2006, un total de 86.8 millones de toneladas métricas de CO₂e.

Guatemala, a través del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) posee un gran potencial para acceder a mercados voluntarios de carbono y mecanismos de reducción de emisiones por deforestación y degradación-REDD, con su cobertura forestal de más de dos millones de hectáreas (56.4% del área boscosa del país) dentro de áreas protegidas. Además, la posible inclusión de un tratado post Kyoto de los bosques naturales ha creado un nuevo mercado de emisiones evitadas (o deforestación evitada) originadas en el sector forestal.

El Parque Nacional Sierra del Lacandón-PNSL- al igual que el resto de la Biosfera Maya, sufre una intensa presión por nuevos asentamientos humanos (no legales), extracción de madera, incendios forestales, avance de la frontera agrícola, extracción de recursos naturales y culturales. Una de las estrategias identificadas por Defensores de la Naturaleza para detener el avance de la frontera agrícola en el PNSL es desarrollar un programa de servicios ambientales globales, basado en la fijación de carbono a través de la deforestación evitada, que permita contar con recursos financieros para invertir en las medidas de manejo del área a largo plazo.

Durante el presente proyecto de investigación se cuantificaron los valores de CO₂ secuestrado/emitados por 9 sistemas de uso de la tierra en el PNSL, así como se estimaron las emisiones de CO₂ por incendios forestales. Durante el proyecto se llevaron a cabo varias reuniones con Fundación Solar, Universidad del Valle de Guatemala, Rainforest Alliance, Consejo Nacional de Áreas Protegidas- CONAP-, con el fin de compartir experiencias y en donde se discutieron temas importantes como la metodología a utilizar para el levantamiento de los datos en el campo. Finalmente CarbonDecisions International, empresa encargada de realizar el diseño de un modelo de línea base para el norte de Guatemala, sugirió un cambio de metodología en donde se determinó que las parcelas debían ser rectangulares en vez de circulares, como se había propuesto a un inicio, por varias razones: 1) Son más eficientes en el PNSL, debido al tipo de bosque que posee, 2) mayor facilidad de establecer en zonas de alta pendiente y 3) permite homogeneidad con respecto a otros proyectos de vegetación.

Con la implementación del proyecto se obtuvo los siguientes resultados: a) Se cuantificó el carbono secuestrado, en tCO₂/hectárea, por los diferentes tipos de uso de la

tierra (bosques naturales, sistemas agroforestales, pastos y cultivos anuales) en el PNSL; b) se caracterizó el estado de las especies maderables de valor comercial; c) se caracterizó el estado de especies no maderables (Xate y Bayal); d) dinámica de incendios forestales con base a puntos de calor en el período de 2000-2008; y e) Se estimó las emisiones de CO₂, en tCO₂, producto de incendios forestales y cambio de uso de la tierra en el PNSL.

El proyecto contribuyó al levantamiento de la línea base sobre los valores de carbono secuestrado/emitado por los diferentes sistemas de uso de la tierra en el PNSL, base para el desarrollo de proyectos MDL y de Mercados Voluntarios de Carbono, para incentivar actividades productivas y mejorar las condiciones de vida de la población de ocho comunidades (793 familias y 3,802 personas). La protección de la biodiversidad existente es un aspecto adicional positivo del proyecto, ya que en el largo plazo se contribuirá a la protección de especies carismáticas como el jaguar, el tapir y la guacamaya. También, es un aporte a la conservación del patrimonio cultural, elementos que aumentan el atractivo para inversores de carbono.

SUMMARY

The overall loss of forests increases the risks of climate change. It is estimated that deforestation contributes 20% of annual CO₂ emissions in the world. Natural forests are threatened alarming for conversion to other land uses, preventing the change of use, provide the most immediate opportunity to reduce the accumulation of CO₂ in the atmosphere, by accessing the growing voluntary carbon market, which amounted to 2006 A total of 86.8 million metric tons of CO₂ e.

Guatemala, through the Guatemalan System of Protected Areas (SIGAP) has great potential to access the voluntary carbon markets and mechanisms for reducing emissions from deforestation and degradation-REDD, with its forest cover over two million hectares (56.4 % of country's forest area) within protected areas. Furthermore, the possible inclusion of a post Kyoto treaty of natural forests has created a new market of avoided emissions (or avoided deforestation) originated in the forest sector.

National Park Sierra del Lacandon-SLPA-like the rest of the Maya Biosphere, suffers intense pressure for new settlements (not legal), logging, forest fires, encroachment of agriculture, natural resource extraction and cultural. One of the strategies identified by Defenders of Wildlife to stop the advance of the agricultural frontier in the SLPA program is to develop a global environmental service, based on carbon sequestration through avoided deforestation, which allows for financial resources to invest in the area management measures the long term.

During this research project were quantified for CO₂ sequestered / issued by 9 systems of land use in the park area and estimated CO₂ emissions from forest fires. During the project conducted several meetings with Foundation Solar, Universidad del Valle de Guatemala, Rainforest Alliance, National Council of Protected Areas CONAP, in order to share experiences and where important issues were discussed and the methodology used to the lifting of the data in the field. Finally Carbon Decisions International, a company responsible for carrying out the design of a baseline model for northern Guatemala, suggested a change in methodology which determined that the parcels should be rectangular rather than circular, as proposed at the beginning, for several reasons: 1) They are more efficient in the SLPA, due to the type of forest you have, 2) easier to establish in areas of high slope and 3) allows homogeneity with respect to other vegetation projects.

With the implementation of the project the following results: a) quantify the carbon sequestered in tCO₂/ha, by different types of land use (natural forests, agroforestry systems, pastures and annual crops) in the SLPA, b) characterized the state of commercial timber species, c) characterized the state of non-timber (Xate and Bayal) d) forest fire dynamics based on hot spots in the period of 2000-2008 and e) was estimated CO₂ emissions in tCO₂, due to forest fires and changing land use in the SLPA.

The project contributed to the rise of the baseline on the values of carbon sequestered / issued by the different systems of land use in the SLPA, the basis for development of MDL and Voluntary Carbon Markets, to encourage productive activities and improve living conditions of people in eight communities (793 families and 3.802 people). The existing biodiversity protection is a positive aspect of the project, because in the long term contribute to the protection of charismatic species as jaguar, tapir and macaw. It is also a contribution to the conservation of cultural heritage, elements that increase the attractiveness to investors of carbon.

PARTE I

I.1 INTRODUCCIÓN

Investigaciones recientes indican que los bosques del mundo aun en pie, fijan por lo menos el 25 % del CO₂ proveniente de la combustión de combustibles fósiles. A partir de la 11ª. COP de la Convención Marco de Cambio Climático (CMCC) se inició la discusión de cómo incentivar en países en desarrollo, la “no emisión” de carbono a través de la reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD).

En la actualidad, para desarrollar estrategias REDD, los Gobiernos de países en desarrollo, necesitan conocer cuántas “emisiones evitadas” podrían proveer, y a que costo. Información consolidada de este tipo necesita el avalúo de escenarios para la integración del desarrollo económico y el cambio de cobertura forestal. Actualmente, este tipo de estimaciones no se encuentran disponibles, aunque se han realizado algunos avances en países de Mesoamérica como México y Costa Rica (World Agroforestry Centre 2008).

En Guatemala diversas instituciones han realizado mediciones del contenido de carbono en bosques latifoliados y sistemas agroforestales. La metodología implementada ha sido desarrollar inventarios forestales con medidas adicionales de hojarasca y suelo. Para todos los bosques muestreados se determinó que la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a sus reservas de carbono, debido principalmente al carbono contenido en los árboles (Fundación Solar, 2000).

Esta investigación se desarrolló en 9 diferentes estratos en el área del Parque Nacional Sierra del Lacandón, Petén, Guatemala. Los objetivos del estudio fueron a) Cuantificar y evaluar el stock de carbono de los diferentes usos de la tierra en el Parque Nacional Sierra del Lacandón (PNSL) el cual se encuentra sufriendo una intensa presión por nuevos asentamientos humanos (no legales), extracción de madera, incendios forestales, avance de la frontera agrícola, extracción de recursos naturales y culturales, b) Caracterizar y evaluar el estado de las especies vegetales con valor comercial en los bosques del PNSL para contar con información para posteriores estudios de valoración económica del recurso forestal; y c) Estimar las emisiones de CO₂ por incendios forestales en el PNSL, durante el período 2000-2008, con el fin de contar con una línea base para desarrollar proyectos de mitigación al cambio climático y mercados voluntarios de carbono enfocado en la reducción de emisiones por deforestación evitada.

La estratificación del PNSL se basó principalmente en 3 aspectos: a) Ecosistemas Forestales, b) Cobertura Forestal y c) Cicatrices de Fuego.

Se utilizaron parcelas rectangulares, y no circulares, como se había formulado en al inicio del proyecto, debido a varias razones: Son más eficientes en el Parque Nacional Sierra del Lacandón, debido al tipo de bosque que posee, pues presenta alta densidad de vegetación menor. Por otra parte son más fáciles de establecer en zonas de alta pendiente, debido a que únicamente debe realizarse una corrección de la longitud de la pendiente y también debido a que permite tener una mayor homogeneidad con respecto a otros proyectos de vegetación que se han llevado a cabo en el departamento.

Durante el trabajo de campo en el PNSL se realizaron un total de 102 parcelas permanentes de muestreo; 72 en estratos de BOSQUE y 30 en estratos de NO BOSQUE.

Durante el análisis del valor comercial de especies maderables, se identificaron 10 especies, distribuidas en 6 familias en 8 estratos en el PNSL. Dentro de los cuales las más abundantes fueron las especies *de Brosimum spp* (ramón), *Calophyllum brasiliense* (santa maría) y *Pseudobombax ellipticum* (amapola). Los estratos en donde se encontró la mayor cantidad de especies vegetales fueron a) Bosque Alto en Colinas No Quemado, con 8 especies y 165 individuos y b) Bosque Alto en Planicies No Quemado, con 8 especies y 154 individuos.

El muestreo de las especies no maderables (xate y bayal) se llevó a cabo mediante la metodología utilizada por RainForest Alliance. En total se realizaron 30 parcelas en la Zona Intangible del PNSL. Se realizó una revisión bibliográfica de los precios actuales del xate, por lo que se logró identificar el valor comercial de estas especies en el PNSL. En el caso del Bayal (*Desmoncus orthacanthos*), se encuentra dentro de la Categoría 1 del Listado de Especies Amenazadas –LEA- del CONAP, en donde se incluyen las especies que se encuentran en peligro de extinción y se prohíbe la libre exportación y comercialización de los especímenes extruidos de la naturaleza, por lo que no se existe información del costo de los tallos de esta especie.

La información obtenida durante este proyecto, será de gran utilidad, debido a que la comercialización de créditos de carbono, para mitigar el aumento del CO₂ y el calentamiento global puede ser una posibilidad para proveer de recursos financieros que puedan contribuir a manejar adecuadamente los recursos naturales y dándole un valor agregado al bosque como servicio ambiental en la fijación de carbono, recursos hídricos, biodiversidad y belleza escénica.

Este proyecto será el comienzo de un monitoreo integral en el Parque Nacional Sierra del Lacandón, en donde se espera obtener información del carbono secuestrado y al mismo tiempo realizar un monitoreo de la biodiversidad, identificando especies clave que nos den información sobre el manejo que se está realizando en el Parque y de esta forma mantener al mínimo los impactos negativos y que de esta forma logremos entender cómo cambia y funcionan los ecosistemas en el PNSL.

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.2.1 Antecedentes en Guatemala

Las actividades humanas están produciendo un exceso de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que están potencialmente calentando el clima de la tierra, este es un proceso conocido como Cambio Climático. Se estima que aproximadamente un 75 % de las emisiones de GEI provienen de la quema de combustibles fósiles, al igual que la deforestación contribuye ya que la quema de bosques libera CO₂ a la atmosfera.

Investigaciones recientes indican que los bosques del mundo aun en pie, fijan por lo menos el 25 % del CO₂ proveniente de la combustión de combustibles fósiles. En el sector de uso de la tierra y bosques se han identificado dos estrategias principales para acumular carbono. Estas estrategias pueden denominarse “fijación de carbono” y “no emisión de carbono” respectivamente. Actividades de fijación pueden incluir tratamientos silviculturales para aumentar el crecimiento, agroforestería, aforestación, reforestación, y restauración de áreas degradadas. La “no emisión” puede incluir actividades de conservación de biomasa y suelo en áreas protegidas, manejo forestal sostenible, protección contra fuegos y promoción de quemas controladas (Fundación Solar, 2000).

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), establecido por el Artículo 12 del Protocolo de Kyoto, como uno de los mecanismos para mitigar los efectos del Cambio Climático, no contiene una mención sobre proyectos de uso de la tierra y de bosques para la “no emisión” de carbono. Sin embargo a partir de la 11^a. COP de la Convención Marco de Cambio Climático se inició la discusión de cómo incentivar en países en desarrollo, la “no emisión” de carbono a través de la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación – REDD - (CISDL, 2006). Asimismo, se han desarrollado mercados voluntarios de carbono, que son iniciativas paralelas al MDL, pero un poco más flexibles en cuanto a que consideran iniciativas de agroforestería, manejo forestal sostenible y deforestación evitada.

Durante el año 2006 las operaciones de compra y venta del mercado voluntario de carbono crecieron dramáticamente, alcanzando un incremento del 80% respecto al 2005, por su alto potencial de contribución a la mitigación de los gases de efecto de invernadero, entre los cuales el sector forestal ha vendido cantidades relativamente bajas (Funsolar, 2008).

En la actualidad, los Gobiernos de países en desarrollo, necesitan conocer cuántas “emisiones evitadas” podrían proveer, y a qué costo. La información consolidada de este tipo necesita el avalúo de escenarios para la integración del desarrollo económico y el cambio de cobertura forestal, por su alto potencial de contribución a la mitigación. Actualmente, este tipo de estimaciones no se encuentran disponibles, aunque se han

realizado algunos avances en países de Mesoamérica como México y Costa Rica (WorldAgroforestry Centre, 2008).

Tanto Centroamérica como Guatemala tienen un alto potencial para desarrollar proyectos de MDL. Se estima que Guatemala, en materia de recursos forestales, podría llegar a fijar más de 89 millones de toneladas de carbono para el año 2012, verificables anual o periódicamente. Esta cifra es resultado de la suma del carbono fijado por proyectos de reforestación MDL y el PINFOR (IARNA-URL-IIA, 2006).

Sin embargo, Guatemala, a través del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) posee un gran potencial para acceder a mercados voluntarios de carbono y mecanismos de reducción de emisiones por deforestación y degradación-REDD. Se estima que del total de la cobertura forestal del país, un 56.4% (más de 2 millones de ha) se encuentra dentro de áreas protegidas (INAB, 2004), de esta cobertura un gran porcentaje se encuentra dentro de las zonas núcleo de estas áreas.

En el año 2000, la Universidad del Valle realizó mediciones del contenido de carbono en bosques latifoliados dentro de la Reserva de Biosfera Maya. La metodología implementada fue desarrollar un inventario de diámetros de árboles en parcelas de medición, con medidas adicionales de hojarasca y suelo. Para obtener los valores de carbono, se utilizaron ecuaciones de biomasa generales para regiones húmedas. El carbono total estimado tienen un rango de variabilidad de ± 70 tCO₂/ha.

Durante 1999, Fundación Solar realizó premuestras de carbono fijado por plantaciones de hule en Guatemala, para determinar el valor de fijación que tiene este sistema productivo. Asimismo, en conjunto con Winrock International, una ONG establecida en Estados Unidos, se realizaron inventarios de carbono a nivel de muestreo en los bosques maduros de la parte sur del Lago de Atitlán, en el departamento de Sololá y en sistemas cafetaleros del municipio de San Juan La Laguna, Sololá. Para todos los bosques muestreados se determinó que la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a sus reservas de carbono, debido principalmente al carbono contenido en los árboles (Fundación Solar 2000).

En 1996 la Fundación Defensores de la Naturaleza realizó un inventario de carbono en los bosques de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. En el 2002, se realizaron nuevas mediciones para actualizar y comparar los datos obtenidos en el primer muestreo. En el inventario realizado en el 2002, se estratificó el bosque por zonas de vida y también incluyó mediciones realizadas en parcelas en sistemas agroforestales y agrícolas, encontrándose un rango de 300 a casi 800 tCO₂/hectárea (FDN, 2002).

1.2.2 *Justificación del trabajo de investigación*

La pérdida global de los bosques aumenta los riesgos del cambio climático. Se ha estimado que la deforestación contribuye con el 20% de las emisiones anuales de CO₂ a nivel mundial.

Los bosques naturales almacenan mayores cantidades de carbono que las plantaciones forestales y provee mayores beneficios a la biodiversidad. Promover la protección de bosques, especialmente aquellos ya en etapas clímax de sucesión, evitará la emisión de carbono contenido en ellos que han sido acumulados durante decenas de años. Estos bosques sufren amenazas alarmantes para su conversión a otros usos de la tierra. Prevenir este cambio de uso, brindará la oportunidad más inmediata para prevenir la acumulación de CO₂ en la atmósfera.

Esta conservación de bosques se puede lograr a través de dos actividades diferentes pero vinculadas: a) establecer reservas para conservación estricta de bosques y b) promover y aumentar la agroforestería y productividad agrícola como medida para evitar la amenaza sobre los bosques debido a necesidades alimentarias y de combustibles (Fundación Solar, 2000).

El Parque Nacional Sierra del Lacandón-PNSL- es una de las siete zonas núcleos de la Reserva de Biosfera Maya-RBM. Se ubica al Suroeste de la RBM. Es un área de planicies inundables, llanuras, montañas calizas y valles intercolinarios, limítrofe con México y fue declarada como área protegida el 30 de enero de 1990, a través del Decreto no. 5-90. Defensores de la Naturaleza co-administra el PNSL desde 1999. El parque posee una enorme riqueza cultural y natural que incluye 338 especies vegetales, 213 especies de aves (incluyendo la guacamaya roja), 31 mamíferos (incluyendo al jaguar), 75 especies de reptiles y anfibios y 34 especies de peces (CONAP-FDN, 2005).

La tenencia de la tierra está caracterizada por propiedades privadas adquiridas por Defensores de la Naturaleza para la conservación en la zona intangible (41,000 ha. de bosque), tierras estatales (muchas ocupadas por comunidades) en las zonas de recuperación y uso especial y propiedades comunitarias-privadas (cooperativas y otras formas de propiedad privada) en la zona de uso especial.

Al igual que el resto de la Biosfera Maya, el PNSL sufre una intensa presión por nuevos asentamientos humanos (no legales), extracción de madera, incendios forestales, avance de la frontera agrícola, extracción de recursos naturales (cacería y xate) y culturales.

Una de las estrategias identificadas por Defensores de la Naturaleza para detener el avance de la frontera agrícola en el PNSL es desarrollar un programa de servicios

ambientales globales, basado en la fijación de carbono a través de la deforestación evitada.

El programa busca implementar acciones de reforestación; asimismo, contempla acciones de protección de masas boscosas a través de un programa de incentivos con nueve comunidades clave para la zona intangible del parque, las cuales pueden acceder a los convenios de cooperación, de acuerdo a la Política de Asentamientos Humanos en Áreas Protegidas, emitida por el CONAP en 1999.

La primera etapa para el desarrollo de este programa fue la cuantificación del stock de carbono fijado por los diferentes usos de la tierra (bosques naturales, sistemas agroforestales, pastos y cultivos anuales) en el PNSL. El presente proyecto cuantificó los valores de CO₂ secuestrado por los diferentes sistemas de uso de la tierra en el PNSL, así como se realizaron estimaciones de las emisiones de CO₂ por incendios forestales, todo esto con el objetivo de contar con una línea base para desarrollar proyectos de mitigación al cambio climático y mercados voluntarios de carbono enfocado en la reducción de emisiones por deforestación evitada.

I.3 OBJETIVOS E HIPOTESIS

I.3.1 OBJETIVOS

I.3.1.1 GENERAL

Determinar, cuantificar y evaluar los valores de carbono secuestrado/emitado en los diferentes sistemas de uso de la tierra y estimar las emisiones por incendios forestales ocurridos del dos mil al dos mil ocho (2000-2008) en el Parque Nacional Sierra del Lacandón-PNSL.

I.3.1.2 ESPECÍFICOS

- Cuantificar y evaluar el stock de carbono (tCO₂/hectárea) en los diferentes usos de la tierra (Bosques Naturales, sistemas agroforestales y cultivos anuales) en el PNSL
- Caracterizar y evaluar el estado de las especies vegetales con valor comercial en los bosques del PNSL.
- Estimar y evaluar las emisiones de CO₂ en tCO₂, por incendios forestales y cambios de uso de la tierra en el período de 2000-2008 en el PNSL.

I.3.2 HIPÓTESIS

La cuantificación de los valores de carbono secuestrado en los diferentes sistemas de uso de la tierra y la estimación de las emisiones por incendios forestales ocurridos en el PNSL permitirán el acceso a mercados voluntarios de carbono y la promoción de actividades agroforestales en beneficio de las comunidades, como medidas de mitigación a los efectos adversos del cambio climático.

I.4 METODOLOGÍA

I.4.1 Localización Geográfica

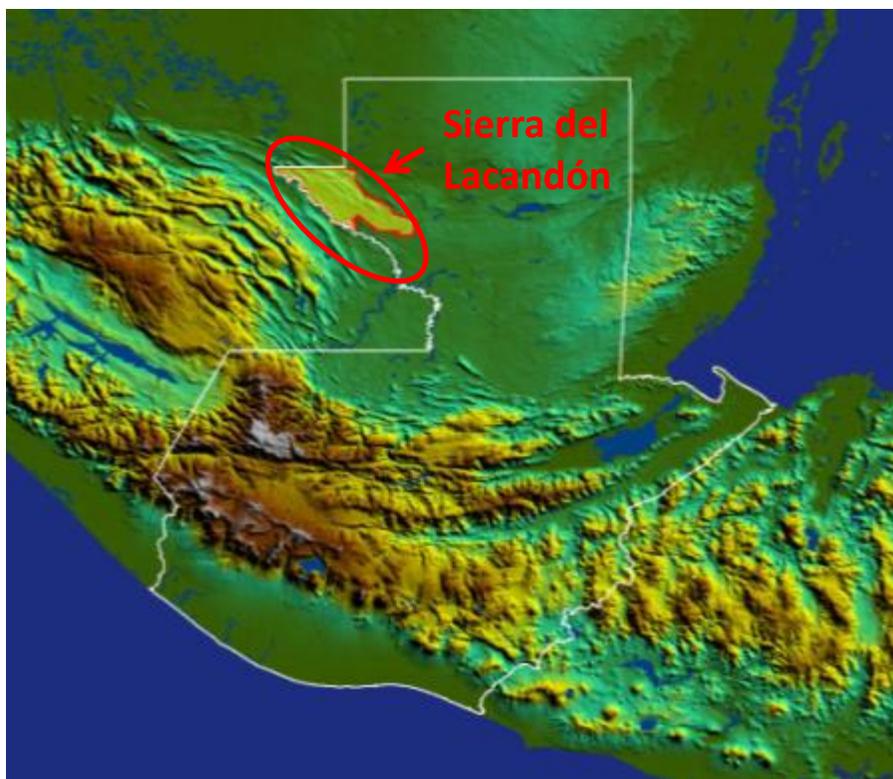
El proyecto se desarrolló en el Parque Nacional Sierra de Lacandón (PNSL), el cual es una de las siete zonas núcleos de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), ubicada en el norte del departamento de Petén.

El PNSL se ubica en el Suroeste de la RBM, pertenece al municipio de La Libertad; limita al Oeste y al Noroeste con los estados mexicanos de Chiapas y Tabasco. Comprende una extensión territorial aproximada de 202,865 hectáreas y constituye después del Parque Nacional Laguna del Tigre el parque de mayor extensión en Guatemala.

La particularidad climática de la Sierra del Lacandón, en términos relativos al resto de la RBM, es su elevada precipitación. Se han tenido registros de una precipitación anual mínima de 1,481 mm (1,968) y una máxima de 2,527 mm (1981). La humedad relativa promedio se encuentra entre el 80% y 85%, con un gradiente de humedad de mayor a menor que va del Sur-Oeste a Nor-Este (MAGA 2001).

La temperatura media anual es de 26°C con base en datos de los años de 1993 y 1998 (INSIVUMEH).

Mapa No. 1 Ubicación Geográfica del Parque Nacional Sierra del Lacandón.



Fuente: FDN/CONAP 2012

I.4.2 *Las Variables*

I.4.2.1 *Variables dependientes*

Stock de carbono (tCO₂/hectárea) encontrado en los diferentes estratos

I.4.2.2 *Variables independientes*

Estratificación en los diferentes uso del suelo del PNSL

I.4.3 *Indicadores*

Concentración de stock de carbono (tCO₂/hectárea) expresado en medidas en las parcelas de los diferentes estratos del PNSL

I.4.4 *Estrategia Metodológica*

I.4.4.1 *Población y Muestra*

I.4.4.1.1 *Población*

Mosaico compuesto por los diferentes tipos de usos de suelo dentro del Parque Nacional Sierra de Lacandón (202,865 ha)

I.4.4.1.2 *Muestra*

Parcelas permanentes de muestreo establecidas en el Parque Nacional Sierra del Lacandón (50mx20m)

I.4.5 El Método

I.4.5.1 Cuantificación de CO₂ secuestrado por tipos de uso de la tierra

Como primer paso para la ejecución del proyecto se cuantificó el stock de carbono (tCO₂/hectárea) fijado por los diferentes tipos de uso de la tierra en el PNSL, enfocándose en bosques naturales, sistemas agroforestales, pastos y cultivos anuales.

Se utilizó la metodología de Winrock Internacional para monitoreo de carbono, debido a que es una metodología con la que Defensores de la Naturaleza ha trabajado para cuantificar el stock de CO₂ en los bosques y sistemas de uso de la tierra de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. Asimismo, esta metodología ha sido utilizada por la Fundación Solar y la Universidad del Valle de Guatemala para muestreos en sistemas agroforestales en el Altiplano de Guatemala y en bosques latifoliados de la Reserva de Biosfera Maya (Fundación Solar, 2000). Esta metodología aplica métodos forestales estándar y los principios de inventarios forestales, ciencia del suelo y levantamientos ecológicos para medir y analizar biomasa y que también puede ser aplicada para medir la fijación de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra (Fundación Solar, 2000).

El tipo de muestreo que se recomienda para inventarios de carbono es el muestreo estratificado al azar (Schlegel, B., J. Gayoso and J. Guerra, 2008). Según Freese (1970) en el muestreo estratificado se divide una población en subpoblaciones (estratos) de tamaño conocido, y se escoge una muestra simple al azar de dos unidades, por lo menos, de cada población. Este procedimiento ofrece la ventaja de que al muestrear por subpoblaciones, es más eficaz desde el punto de vista administrativo.

I.4.5.2 *Estratos, Número y tamaño de parcelas de muestreo*

La estratificación se refiere a la división de cualquier paisaje heterogéneo en distintas secciones (o estratos) basados en un factor común de agrupación, en este caso el factor de agrupación es el stock de carbono en la vegetación (Sourcebook, 2009).

Los diferentes stocks de carbono que existen en diferentes tipos de bosques y ecoregiones dependen de factores físicos (régimen de precipitación, temperatura, suelo, topografía), factores biológicos (Composición de especies, edad, densidad) y factores antropogénicos (Perturbación histórica, intensidad de tala) (Sourcebook, 2009).

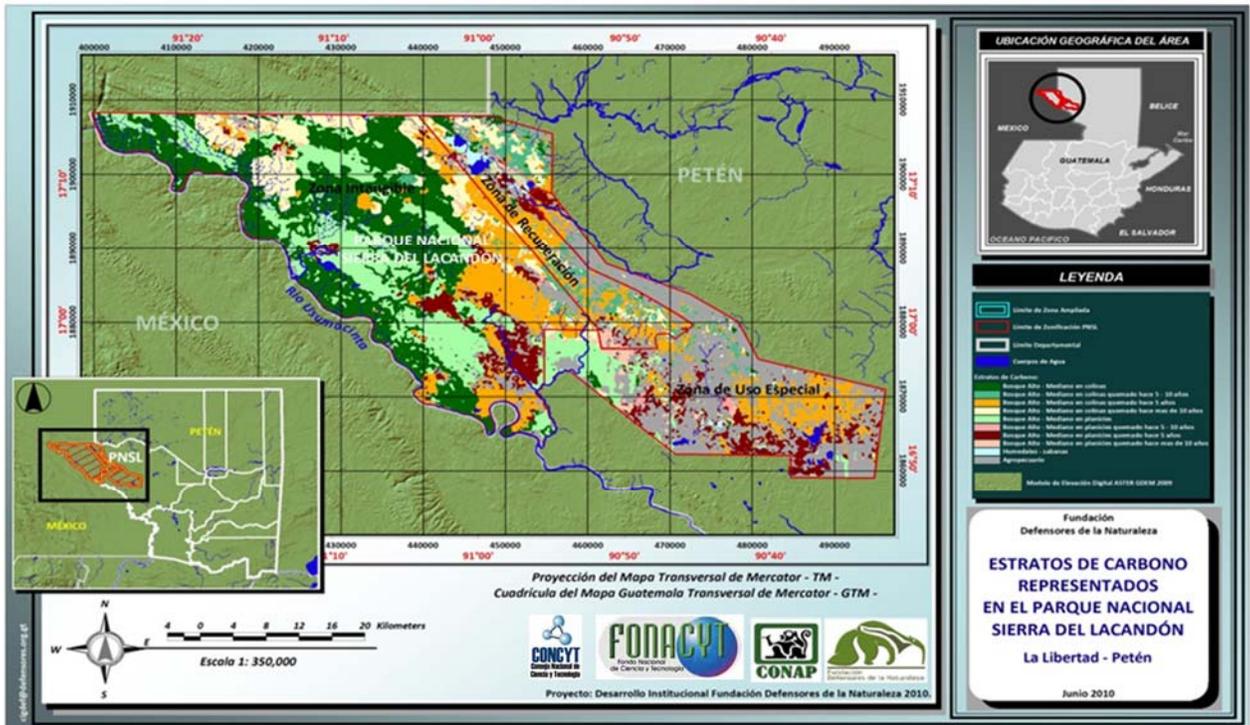
La estratificación de la región de referencia favorece aspectos fundamentales ya que determina el stock de carbono por cada tipo de estrato, facilita la determinación de las emisiones reducidas establecidas basado en la tasa de deforestación ubicada y por su composición establece los cambios en los reservorios de carbono de bosque a no bosque en un mismo estrato, así mismo en los procesos de degradación. Debido a la explicación

anterior la estratificación del PNSL está basada en criterios que podrían afectar la disponibilidad de los stocks en la línea base como lo son clima, relieve, tipo de bosque y efectos del fuego, los mapas temáticos para realizar esta estratificación fueron:

- Cicatriz de Incendios
- Ecosistemas Forestales
- Cobertura Forestal

Como resultado de la interpolación de mapas temáticos, la estratificación de los reservorios de carbono en el PNSL se presenta en el mapa No. 2 y se detallan en el Cuadro No. 1.

Mapa No. 2 Estratificación del Parque Nacional Sierra del Lacandón



Fuente: FODECYT 030-2009

Cuadro No. 1 Extensión Territorial y Porcentual de los Estratos en el PNSL

Estratificación	Ha	%
Bosque Alto - Mediano en colinas No Quemado	46864.72	23.40
Bosque Alto - Mediano en planicies No Quemado	32500.58	16.23
Bosque Alto - Mediano en planicies quemado hace 5 años	15618.7	7.80
Bosque Alto - Mediano en colinas quemado hace 5 años	31527.37	15.74
Bosque Alto - Mediano en planicies quemado hace 5 - 10 años	900.88	0.45
Bosque Alto - Mediano en colinas quemado hace 5 - 10 años	6815.46	3.40
Bosque Alto - Mediano en planicies quemado hace más de 10 años	3933.83	1.96
Bosque Alto - Mediano en colinas quemado hace más de 10 años	15400.12	7.69
Total del PNSL	200271.03	

Fuente: FODECYT 030-2009

I.4.5.3 Diseño de muestreo

El proyecto en el PNSL es un proyecto de carbono forestal bajo el formato REDD, el cual debe monitorearse a través del tiempo, por lo que las parcelas establecidas son de orden permanente.

Para el diseño del muestreo se tomó de base el esquema, **sistemático-estratificado**, este consiste en dividir a una población en grupos, llamados estratos, que son más homogéneos que la población como un todo, los cuales son seleccionados de una manera ordenada, la cual depende del número de elementos incluidos y el tamaño de la muestra.

I.4.5.4 Selección de las Unidades de Muestreo

Las unidades de muestreo son parcelas de área fija y su ubicación fue seleccionada de forma sistemática no homogénea.

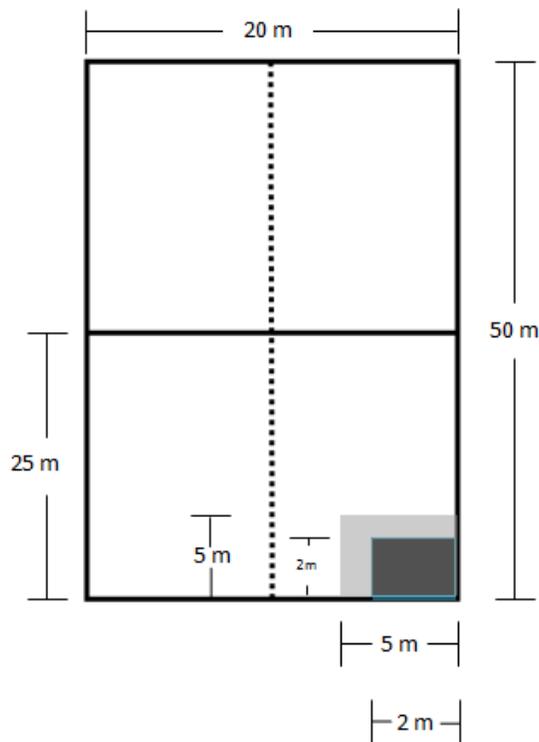
I.4.5.5 Ubicación de las Parcelas en el Terreno

Para la ubicación de las parcelas en terreno se utilizó un equipo de Global Positioning System (GPS), con un sistema de coordenadas UTM 15 (North) y una proyección de mapa NAD 27. El marcaje de la parcela permanente se realizó de forma subterránea utilizando tubos PVC y varillas metálicas con el objetivo de que esta no posea un tratamiento diferenciado en el área del proyecto.

I.4.5.6 Parcelas de Inventario de Carbono

Las parcelas de carbono en el PNSL son del tipo rectangular tomando en cuenta la estructura arbórea que presenta el área y los reservorios de carbono a medir, éstas se establecieron de forma rectangular; dentro de ellas se evaluaron de forma especializada suelo, hojarasca, maleza (vegetación menor), arbustos y árboles, estos se puede visualizar en la Figura No. 1.

Figura No. 1 Configuración Espacial de las Parcelas de Muestreo de Carbono en el PNSL



Las dimensiones de las parcelas y el tipo de actividad correspondiente a cada anillo se describen en el Cuadro No. 2.

Cuadro No. 2 Descripción de Dimensiones, Áreas y Componentes a Muestrear dentro de una Parcela de Carbono

Sub-Parcela	Dimensiones		Área	Actividades
1	L ¹ = 2m	2m	N ² = 4m ²	Suelo y Hojarasca
2	L= 5m	5m	N= 25m ²	Maleza
3	L= 10m	25m	N= 250m ²	Arbustos y Arboles
4	L= 20m	50m	N= 1000m ²	Arboles
5	Tr ³ = 50 m		50m	Madera Muerta Yacente

I.4.5.7 Información Registrada por Parcela

Para extraer la información proporcionada por las mediciones realizadas en las parcelas se utilizaron dos tipos de plantillas de recolección de datos, a continuación se detalla la información que contiene cada plantilla:

1. Árboles y Arbustos Vivos; y Muertos en Pie. FDN-001
 - Identificación del Proyecto y/o Estudio
 - Identificación de la Parcela por Estrato
 - Coordenadas de Ubicación “X” y “Y” de la Parcela
 - Dimensión de la Parcela de Arboles
 - Dimensión de la Parcela de Arbustos
 - Diámetro Mínimo
 - Fecha de la Medición
 - Persona a Cargo del Levantamiento de la Parcela
 - Numero de Árbol
 - Nombre Común de la Especie
 - Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) en centímetros
 - Estado
 - S = Sólido
 - I = Intermedio
 - R = Podrido
 - Altura Comercial (HC) en metros
2. Arbustos (Destructivo), Hojarasca y Madera Muerta FDN-002
 - Identificación del Proyecto y/o Estudio

¹ L = Largo

² N= Ancho

³Tr= Transecto

- Identificación de la Parcela por Estrato
- Coordenadas de Ubicación “X” y “Y” de la Parcela
- Fecha de la Medición
- Persona a Cargo del Levantamiento de la Parcela
- Muestre de Arbustos y Vegetación Menor (Destructivo)
 - Límite de diámetros medidos en centímetros
 - Tamaño de la parcela
 - Peso fresco y unidad de medida
 - Peso húmedo de la muestra y unidad de medida
- Muestreo de Hojarasca
 - Límite de diámetros medidos en centímetros
 - Tamaño de la parcela
 - Peso fresco y unidad de medida
 - Peso húmedo de la muestra y unidad de medida

- Madera Muerta en el Suelo
 - Longitud del transecto
 - Límite de diámetros medidos
 - Numero de madera muerta
 - Diámetro de la madera muerta en centímetros
 - Estado de la Densidad de la madera (S, I, R)
- Observaciones de la Parcela

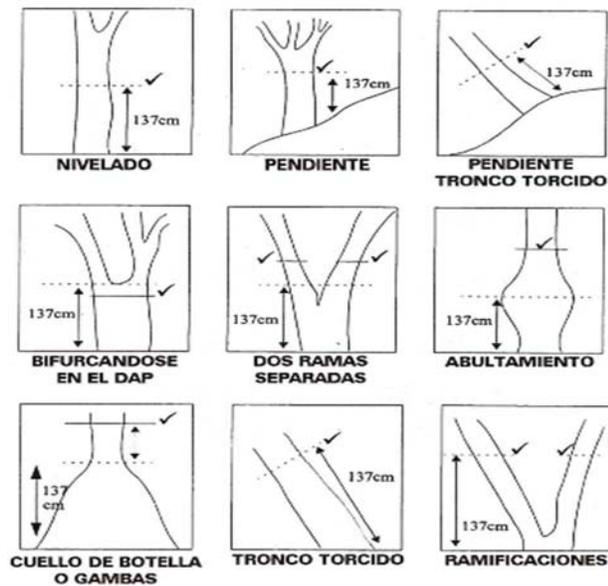
I.4.5.8 Medición de Parámetros Dasométricos

Las actividades se inician con la elaboración del transecto de madera muerta y la instalación de las parcelas rectangulares. El procedimiento comprende:

- El inventario de arbustos (≥ 5 cm de DAP), se realiza en dirección norte en la totalidad de la sub-parcela tres.
- El inventario de árboles (≥ 10 cm de DAP), se realiza en dirección norte en la totalidad de la sub-parcela tres y cuatro.

La medición del diámetro a la altura del pecho –DAP-, se realizó con cinta dimétrica, la Figura No. 2. Indica los procedimientos para la correcta toma de datos.

Figura No. 2 Uso Correcto de la Cinta Diamétrica



Fuente: (Fundación Solar 2000)

La medición de altura se realizara tomando en cuenta la altura comercial por el método de estimación ocular, debido a que es el utilizado en los procesos de inventarios forestales en Guatemala, esta estimación no tendrá ninguna influencia en el proceso de cálculo de los reservorios de carbono ya que este se realizara utilizando formulas basadas en diámetro.

I.4.5.9 *Caracterización del estado de las especies maderables de valor económico*

Un inventario de carbono también es útil para mejorar el monitoreo de las especies maderables de valor comercial, y otras medidas de manejo como por ejemplo, muestrear poblaciones de fauna, diversidad biológica, y tasas de reproducción de otros productos no maderables (Fundación Solar 2000).

En ese sentido se realizó una caracterización del estado de las especies maderables de valor económico. La información a recopilar durante la fase de campo del inventario de carbono fue: Especie, DAP, altura, estado y tipo de bosque. Posteriormente, como trabajo de gabinete se estimó el área basal para especies con DAP mayor o igual a 10 cm. y volumen promedio por hectárea de cada especie con DAP mayor o igual a 25 cm (Pineda, 2001).

I.4.5.10 *Caracterización del estado de especies no maderables (Xate y Bayal)*

Al igual que para especies maderables, se realizó una caracterización del estado de especies no maderables, con énfasis en Xate (*Chamaedorea* spp.) y Bayal (*Desmoncus* spp.). La información a recopilar en el campo fue la siguiente: Especie, tipo de planta, número de hojas vivas, número de hojas aprovechables y altura. Posterior a la fase de campo se calculará el número de hojas aprovechables por hectárea para Xate y el número de tallos aprovechables por hectárea para Bayal, con esta información se establecerá el valor de mercado de ambas especies.

I.4.5.11 *Dinámica de incendios con base a puntos de calor 2000-2008*

Como parte de la estimación de emisiones de CO₂ por incendios forestales en el período de 2000-2008 en el PNSL, se realizó un análisis de la dinámica de incendios forestales. Como primer paso se recopiló la información disponible en CEMEC⁴ y otras fuentes, se analizó y depuró la información recopilada, se realizó un análisis por medio de SIG.

I.4.5.12 *Estimación de emisiones de CO₂ por Incendios Forestales*

Para estimar las emisiones de CO₂ (tCO₂) producto de incendios forestales en el PNSL, se realizó un análisis de gabinete de las áreas quemadas en el período de 2000 a 2008 respecto al tipo de bosque afectado, con base a la información del monitoreo de incendios forestales generada por el CEMEC. El muestreo en campo de las áreas quemadas se realizó en la etapa del inventario de carbono, y la información recopilada sirvió para estimar la pérdida de biomasa, luego se realizó una estimación de las emisiones de CO₂ por tipo de bosque afectado por incendios.

I.4.6 *Técnica Estadística*

Los cálculos que se realizaron para estimar el stock de carbono fijado por los diferentes tipos de uso de la tierra (Bosque natural, sistemas agroforestales, pastos y cultivos anuales) son los siguientes:

Las estimaciones de los reservorios de carbono se realizaron, utilizando la herramienta para el cálculo de carbono V.0.6, desarrollado por CarbonDesicions International en el 2010.

El Cuadro No.3 detalla la lista de variables, su descripción, valor o ecuación y su referencia bibliográfica

⁴Centro de Monitoreo y Evaluación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas

Cuadro No. 3 Variables y Ecuaciones para la Determinación de Carbono en el PNSL

Variable	Descripción	Valor/ecuación	Referencia bibliográfica
BAS	Biomasa arriba del suelo (kg de materia seca por árbol) para maderas de bosque húmedo tropical.	$BAS = \text{Exp}[-2.289 + 2.649 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) - 0.021 \cdot (\text{Ln}(\text{dap}))^2]$ dap = diámetro a la altura de pecho.	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japón. 595p.
BASp	Biomasa arriba del suelo (kg de materia seca por individuo) para palmas del género Chrysophylla.	$BASp = 0.182 + 0.498 \cdot \text{ht} + 0.049 \cdot \text{ht}^2$ ht = altura total.	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japón. 595p.
Vc	Volumen comercial, considerando los defectos del fuste y medido sobre corteza desarrollado por FAO para el departamento de Petén, Guatemala.	$Vc = 0.0567 + (0.5074 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{hc})$ hc = altura comercial	Contreras, José Francisco, 1999. Plan General de Manejo Concesión Forestal San Andrés. Documento en formato Acrobat. Flores, Petén, Guatemala. 35p.
Cflit	Fracción de carbono de hojarasca por defecto	0.37	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japón. 595p. (Chapter 3.2, p 3.35)
RS_trf	Proporción raíz/tallo para "Tropical rainforest"	0.37	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories, the AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Uses) sector.
RS_df	Tropical moistdeciduousforest, biomasa <125 t-C/ha	0.20 (0.09 - 0.25)	
	Tropical moistdeciduousforest, biomasa >125 t-C/ha	0.24 (0.22 - 0.33)	
RS_tdf	Proporción raíz/tallo para "Tropical dryforest"	0.56 (0.28 - 0.68)	
		0.28 (0.27 - 0.28)	
RS_tsh	Proporción raíz/tallo para "Tropical shrubland"	0.4	
RS_tms	Proporción raíz/tallo para "Tropical mountainsystems"	0.27 (0.27 - 0.28)	

WD	Densidad promedio de la madera ($\text{g/cm}^3 = \text{t-d.m./m}^3$)	0.6	Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. For the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1997. FAO Forestry Paper - 134. ISBN 92-5-103955-0.
C_CO2	Conversión de carbon a dióxido de carbono	3.66666667	
CFtr	Fracción de carbono de árboles por defecto	0.5	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japón. 595p.

Fuente: CarbonDesicions 2010

I.4.7 Instrumentos a utilizar

Para levantar el inventario de carbono se utilizó el siguiente equipo:

Cuadro No. 4 Equipo utilizado para establecimiento de parcelas de carbono

Equipo
Mapas y/o fotografías aéreas
Lápices, marcadores, sacapuntas
Listones para marcar linderos de parcelas
Formularios de campo por parcela
Equipo para lluvia
Equipo de primeros auxilios
Bolsas de tela para muestras de hojarasca, vegetación y suelo
Engrapadora para sellas bolsas de muestras
Cilindros para muestras de suelo
Cinta métrica 30 m
Cinta diamétrica
Brújula
Clinómetro
Balanzas en gramos para muestras
Tijeras para podar
Pala pequeña para muestra de suelo
Cubeta para muestra de suelo
Cilindros de PVC para muestras de suelo

PARTE II

II. 1 MARCO TEÓRICO

Antecedentes del Parque Nacional Sierra del Lacandón

El Parque Nacional Sierra del Lacandón fue establecido para conservar en estado natural una muestra representativa de los ecosistemas y diversidad genética de las especies de flora y fauna que se encuentran en la región, así como proteger los vestigios de la cultura Maya del área de la Sierra del Lacandón (Herrera y Paiz, 1999).

La base legal para la declaratoria y manejo de áreas protegidas en Guatemala está fundamentada por el Decreto 4-89 "Ley de Áreas Protegidas" declarada por el Congreso de la República. Este decreto crea el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) como ente rector de los recursos naturales y culturales de las áreas protegidas del país. El 30 de enero de 1990, el Congreso de la República declaró, mediante el Decreto 5-90, el Parque Nacional Sierra del Lacandón el cual constituye a su vez zona núcleo dentro de la Reserva de la Biosfera Maya (Herrera y Paiz, 1999).

Para el año 1999, el CONAP firmó un convenio de co-administración con la Fundación Defensores de la Naturaleza para la administración y manejo del PNSL. Los planes de trabajo anuales desde ese año han sido elaborados e implementados con base en el Plan Maestro vigente y los criterios de zonificación interna que éste define (FIPA, 2002).

Zonas de Vida

Dentro del PNSL se encuentran dos zonas de vida según Holdrige: Bosque húmedo sub-tropical cálido y Bosque muy húmedo sub-tropical cálido; siendo la primera la más representada dentro del PNSL con 197,746 has.

Bosque húmedo subtropical cálido [bh-S(c)]

Se caracteriza por tener un clima generalmente cálido y húmedo con variaciones anuales de temperatura y precipitación. Estas condiciones permiten que se desarrolle una selva tropical siempre verde de latifoliadas (CDC-CECON, 1995).

Bosque muy húmedo subtropical cálido [bmh-S(c)]

Esta zona de vida está muy poco representada en el PNSL. Se caracteriza por tener una precipitación que varía entre 1,587 a 2,066 mm, con un promedio de 1,826 mm; la evapotranspiración se registra entre 80 y 1,600 mm. Algunas de las especies vegetales representativas son: *Orbignya cohune*, *Terminalia amazonia*, *Brosimum alicastrum*, *Lonchocarpus sp.*, *Virola*, *Cecropia peltata*. (Fuente SIG/MAGA)

Ecosistemas

Según INAB (2001), existen 9 ecosistemas terrestres y dos acuáticos (ríos y cuerpos de agua lénticos); en relación a los primeros, los más representados para el PNSL son: bosque latifoliado húmedo de colinas (78,807.36 ha), arbustales con latifoliadas (50,978.70 ha) y bosque latifoliado húmedo denso de bajura (47,723.624).

FIPA (2002), con base en la información generada por INAB (2001), reporta que: a) el PNSL presenta casi el 100% de la cobertura del ecosistema de bosque latifoliado muy húmedo de bajura a nivel de las zonas núcleo y de la RBM; b) el ecosistema de ríos presenta una cobertura de más del 90% con relación al resto de las zonas núcleo comparado con el 10% a nivel de toda la RBM, constituido principalmente por el Río Usumacinta; c) los ecosistemas de arbustales con latifoliadas y el bosque latifoliado húmedo de colinas presentan una cobertura mayor del 60% dentro del Parque, comparado con las restantes zonas núcleo y alrededor del 35 y 40%, respectivamente, a nivel de la RBM para ambos ecosistemas.

Vegetación

Hasta la fecha, se han realizado dos clasificaciones de la vegetación del PNSL, reportando seis asociaciones dendrológicas, cinco comunidades y seis asociaciones vegetales (APESA, 1993; Castañeda, 1998). Asimismo, durante los años 2000 y 2001 fue realizado un estudio de la vegetación relacionada a los cenotes del área del río Macabillero (Morales y Flores, 2001) (Ver Anexo 6).

Las seis asociaciones dendrológicas reportadas por APESA (1993) son: a) Son, Ramón, Oreja de Mico, Chechén Blanco; b) Zapotillo hoja fina; c) Ramón Blanco, Son, Chechén Blanco, Tzol; d) Canchán, Papaturo, Aceituno; e) Guapaque, Ramón, Son; y f) Guapaque, Santa María, Ramón Blanco (Ver Anexo 5).

Asimismo, estos autores registran las siguientes comunidades naturales basadas en la diversidad de especies: a) Bosque muy diverso en karst (más de 200 especies de árboles por hectárea) que cubre el 6.5% del Parque; b) Bosque medianamente diverso en karst, lomas y llanuras (entre 100 y 200 especies por hectárea) en el 71.5% del Parque; c) Bosque poco diverso en karst o en llanuras (menos de 100 especies por hectárea) en un 3% del Parque; d) Bosques en diferentes etapas de sucesión; y e) Humedales palustres y ciénagas.

Las seis asociaciones vegetales reportadas para el PNSL por Castañeda (1998) son las siguientes:

- Asociación vegetal en áreas inundables (comunidades Pucté y San Juan), que como su nombre lo indica, son inundables durante casi toda la estación lluviosa;
- Asociación vegetal en cimas de cerros (comunidades Chechén Negro y Zapotillo hoja fina), con un relieve bastante ondulado y ubicadas en las cimas de los cerros de las sierras de la Ribera y Lacandón, y pequeños cerros situados entre los valles;
- Asociación vegetal en valle intercolinar (comunidades tamarindo, barillo-chicozapote y ramón blanco) que incluye áreas pequeñas ubicadas entre las colinas;
- Asociación vegetal en sierra del Lacandón (comunidades som-sufricay, cedrillo hoja ancha y ramón negro-som-sufricay);
- Asociación vegetal en sierra de la Ribera (comunidad zapotillo hoja fina-ramón) ubicada en la sierra de la Ribera del río Usumacinta;
- Asociación vegetal de sabana, comprendida entre las lagunas El Guayacán y el Repasto; se caracteriza por áreas mayoritariamente planas, con perturbación humana, pastizales naturales y pocos árboles separados entre sí, al grado que sus copas no se entrecruzan.

Asimismo, en la clasificación ecológica realizada por Castañeda (1998) se muestra un listado de las especies vegetales distribuidas dentro del PNSL.

En relación a la vegetación de los cenotes del área del río Macabilero, Morales y Flores (2001) reportan, a partir de 3,005 registros, que se distribuyen 338 especies pertenecientes a 70 familias, de las cuales las más diversas fueron: Orchidaceae, Bromeliaceae, Araceae y Rubiaceae, con 60, 17, 15 y 8 especies respectivamente. Asimismo, los mismos autores señalan que en abundancia de géneros también fue Orchidaceae la primera con 21 géneros, seguida de Rubiaceae con 8 y Bromeliaceae con 7; el género más diverso fue *Tillandsia* con 12 especies.

En cuanto a la distribución vertical, Morales y Flores (2001) registran que el estrato con mayor riqueza de especies fue el arbóreo con 138, seguido por el epífito, y arbustivo con 122 y 30 especies respectivamente. Para los estratos herbáceo, emergente, sumergido

y flotante, se reportaron en su orden nueve, once, uno y tres especies; además de once especies epípetras, doce trepadoras y una planta saprófita. En relación a la flora acuática, registran cuatro especies de plantas estrictamente acuáticas y 14 que pueden recibir el calificativo de plantas acuáticas anfibias.

Es importante destacar, que Morales y Flores (2001) señalan la existencia de cuatro especies de plantas no reportadas anteriormente para Guatemala y posiblemente tres nuevos registros para la ciencia.

El Cambio Climático

Durante las décadas de 1970 y 1980, fue creciendo en los foros internacionales la toma de conciencia sobre la problemática mundial. En 1987, la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, conocida como Comisión Brundtland, concluyó que el “desarrollo sustentable satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus necesidades”. Ante la necesidad de conocer mejor los cambios que se estaban produciendo en el sistema climático global, las Naciones Unidas crearon, en 1988, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), constituido por reconocidos expertos y científicos provenientes de todas las regiones del planeta que realizaron sucesivos informes donde alertan sobre el aumento de la temperatura de la superficie terrestre. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) surgió como respuesta al incremento de la evidencia científica sobre la posibilidad de un cambio climático global, derivado del aumento sustancial en la concentración atmosférica de gases (PNUD 2008).

El Cambio Climático puede ser definido como cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables. La tierra está cubierta por una capa de gases que deja penetrar energía solar la cual calienta la superficie de la tierra. Algunos de los gases en la atmósfera llamados gases de efecto invernadero (GEI), impiden el escape de este calor hacia el espacio. Este es un efecto natural que mantiene la tierra a una temperatura promedio arriba del punto de congelación del agua y permite la vida tal como la conocemos. Pero las actividades humanas están produciendo un exceso de gases que están potencialmente calentando el clima de la tierra (Márquez 2000; IPCC 2002).

En 1997, como resultado de la Tercera Reunión de las Partes (COP 3) se aprobó el Protocolo de Kioto, entre las partes establecieron metas a cumplir por los países desarrollados y en vía de desarrollo; este protocolo tiene como objetivo alcanza la meta de reducción de emisiones de seis gases causadores del efecto invernadero que son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbono (HFC) y perfluorocarbono (PFC) (Miranda et al 2006; PNUD 2008).

La Captación y Almacenamiento de dióxido de Carbono (CAC) constituyen procesos consistentes en la separación del CO₂ emitido por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo. La CAC es una de las opciones de la cartera de medidas de mitigación para la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (IPCC 2005).

Los bosques se diferencian de modo significativo en su capacidad de absorber y almacenar C. Los factores que influyen los índices de absorción de carbono son: temperatura, precipitación, densidad de masa, suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índice de crecimiento y edad. Los bosques densos tienen mayor capacidad de almacenar C que los bosques abiertos y las zonas arboladas. Los bosques que no han sufrido perturbaciones pueden almacenar más C que los bosques degradados. Los bosques húmedos en cambio, contienen más C que los bosques en zonas áridas o semiáridas y los bosques maduros almacenan mayores cantidades de C que los bosques jóvenes (Ciesla 1996).

El Dióxido de Carbono y Efecto Invernadero

La tierra en forma natural está cubierta por gases que permiten la entrada de la energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra. Algunos de los gases en la atmósfera, llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), impiden el escape de este calor hacia el espacio. Este es un efecto natural que mantiene a la tierra con una temperatura promedio arriba del punto de congelación y permite la vida tal como la conocemos.

Las actividades humanas han producido un exceso de GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) que están calentando la tierra. Las concentraciones atmosféricas de CO₂ ha aumentado en un 30% desde los tiempos pre-industriales, mientras que la temperatura global promedio ha aumentado entre 0.3 y 0.6 grados centígrados (Begon et al 1996; Alexander et al 1998; Beaumont 1999, Tattenbach&Pedroni 1999).

Los ecosistemas vegetales son de suma importancia para el ciclo global del carbono porque almacenan grandes cantidades de éste en la vegetación y el suelo, y lo intercambian con la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición (Ramírez et al 1994). Además estos se constituyen en fuente de carbono para la atmósfera cuando sufren alteraciones provocadas por el hombre o por causas naturales, por ejemplo: actividades de conversión de bosque a otros usos no forestales (Ramírez et al 1994).

La tala y quema de las masas forestales, permite la liberación del carbono almacenado en la biomasa y con la degradación de los suelos se libera parte del carbono almacenado en el mismo. Todas las plantas y animales realizan el proceso de respiración, proceso que

causa disminución del O₂ e incremento del CO₂ atmosférico (Hall & Rao 1994). Cuando una planta muere o una parte de ella, el carbono fijado en los tejidos es liberado a la atmósfera en forma de dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición (Begon et al 1996; Finegan & Delgado 1997). Por otro lado, los bosques en crecimiento se convierten en sumideros al registrar una absorción neta de CO₂ de la atmósfera, en la biomasa y en el suelo (Brown 1996).

Todas las plantas y animales realizan el proceso de respiración, proceso que causa disminución de O₂ e incremento de CO₂ atmosférico (Hall y Rao 1994). Cuando una planta o una parte de ella muere, el carbono fijado en los tejidos es liberado a la atmósfera en forma de dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición (Beagon et al 1996; Finegan y Delgado 1997).

La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra en la zona del trópico, constituyen una fuente significativa de dióxido de carbono atmosférico. La magnitud de esta fuente adicional es comúnmente estimada entre 8% y 47% de la que se produce de los combustibles fósiles (Beagon et al 1996; Brown 1997b; Alexander et al 1998). La deforestación contribuye al aumento del CO₂ en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico, y por la liberación de CO₂ a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida parte de la materia orgánica en el suelo (Hall y Rao 1994).

Fijación de Carbono

El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agrícolas (Brown et al 1984b; Segura 1997). La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO₂ de la atmósfera producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles. En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y las prácticas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de “sumideros de carbono” (Cuellar et al 1999).

Referente a la mitigación de Gases de Efecto Invernadero por parte del recurso forestal, se utilizan varios términos como fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción.

Para efectos del presente proyecto de investigación existen dos conceptos que pueden ser de mucha ayuda para comprender lo referente a la fijación del carbono:

Stock de carbono: Se refiere a la capacidad de un ecosistema de mantener una determinada cantidad promedio de carbono por ha (Ramírez et al 1994). Para su cuantificación se toman en cuenta varios criterios como: bosque o vegetación, densidad de la madera, datos de biomasa basados en volúmenes por hectárea de inventarios forestales (Segura 1997). El carbono almacenado se expresa en t C ha⁻¹.

Carbono Fijado: Se refiere a la capacidad de una unidad de área cubierta por vegetación para fijar carbono en un período determinado (Segura 1997), es decir por encima de la cantidad actualmente almacenado. El carbono fijado es una forma temporal de almacenamiento.

Papel de la cobertura forestal y sistemas agroforestales en el almacenamiento y fijación de carbono

Se han llevado varias investigaciones donde se sugiera que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución significativa en controlar los niveles de CO₂ en la atmosfera. Otras actividades de uso de la tierra que pueden contribuir a este fin son: la conservación de bosque en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación, agricultura y agroforestería (Ducan et al 1999; Fisher et al 1999).

La alternativa más viable de ampliación de sumideros de GEI es la forestación de nuevas áreas de tierra que presentan características favorables para ello. Las variables a considerar para elevar al máximo la fijación de carbono incluyen: las especies de árboles a plantar, las tasas de crecimiento y la longevidad de las mismas, las características del sitio a forestar, los períodos de rotación y la duración y uso de los productos forestales a extraer. La forestación y la reforestación son las únicas actividades elegibles para el MDL.

Los Bosques y plantaciones como sumideros de carbono

Únicamente los bosques que tienen un crecimiento neto, son capaces de una absorción neta de dióxido de carbono (Begon et al 1996; Finegan y Delgado 1997), y por lo tanto, contribuir a la reducción de dióxido de carbono atmosférico. Los bosques secundarios también contribuyen a la fijación de CO₂; su potencial para fijar carbono dependerá del potencial de la vegetación para desarrollarse y la tasa de producción de biomasa. En general, los bosques secundarios que se desarrollan en tierras utilizadas anteriormente para la actividad ganadera crecen más lentamente, quizás por la compactación y calidad de los suelos escogidos para la actividad ganadera o por efectos de la degradación y pérdida de fertilidad, que los bosques secundarios establecidos en tierras agrícolas con pocos años de uso, lo que repercute en la cantidad de biomasa y la capacidad para fijar carbono (Finegan y Delgado 1997).

Sistemas agroforestales y fijación de carbono

Los sistemas agroforestales y silvopastoriles pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. De hecho, la agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos insumos que minimicen la alteración de los suelos y plantas, enfatizando la vegetación perenne y el ciclaje de nutrientes, contribuyendo a almacenar carbono a largo plazo (Kursten y Burschel 1993).

Los Sistemas Agroforestales ayudan a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales de carbono ya existentes, reduciendo la presión sobre los bosques. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales pueden llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios, y si la madera de los árboles es procesada, un 50% de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición (Dixon 1995; Stella 1999).

Sistemas silvopastoriles

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbustos), e interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), todos ellos bajo un sistema de manejo integral (Somarriba 1992; Pezo e Ibrahim 1996).

Los sistemas ganaderos y de pasturas tradicionales se mencionan como uno de los usos del suelo que más aportan CH₄ y CO₂ a la atmósfera (Ciesla 1996; Abarca 1996). Los sistemas silvopastoriles ofrecen una alternativa sostenible al aprovechar las ventajas de varios estratos de la vegetación. Además al aumentar la biomasa no solo se crean sumideros de carbono en forma de árboles y productos maderables, sino que se aumenta la biodiversidad animal y vegetal, ayudando a evitar el agotamiento de los recursos naturales ya existentes (Sánchez 1999; López 1998).

Valoración económica de la fijación y almacenamiento de carbono

El mantenimiento de reservas de carbono en los bosques se ha convertido en un servicio ambiental reconocido globalmente, que puede tener un valor económico considerable para países en vías de desarrollo (Dixon et al 1994).

La valoración de los servicios ambientales ha sido un tema de importancia en los últimos años. Los profesionales y los gobiernos hoy comprenden que para calcular medidas alternativas de inversión se requiere la determinación de valores monetarios de costo-beneficio, tanto directos como indirectos de diferentes acciones. La valoración económica ha pasado de mediciones de los impactos directos provocados por las actividades a incorporar el concepto de contabilidad de los recursos naturales (Dixon et al 1994).

A nivel mundial se han generado discusiones sobre la valoración de los servicios ambientales y la concientización de la sociedad para retribuir económicamente y compensar a los propietarios de los ecosistemas que aportan servicios ambientales (Gregerson et al 1999). Los debates giran en torno a: Como cuantificar los servicios, cómo valorar los servicios, en cuáles sistemas se pagan los servicios, etc. La complejidad de las interacciones dentro de un ecosistema hacen casi imposible poder medir y valorar cada bien por separado, como la conservación de la biodiversidad, la producción y protección del recurso hídrico, belleza escénica natural para fines científicos y turísticos (Montenegro y Abarca 1999; Otárola y Venegas 1999).

En caso contrario se encuentra el servicio ambiental de fijación de carbono, pues este puede ser cuantificado en forma física y por componente dentro de un ecosistema (árbol, planta, materia orgánica en el suelo, suelo, raíces, etc.). Esto hace posible conocer la cantidad de carbono almacenado por un ecosistema y por tanto posibilita realizar negociaciones por este servicio.

Estimación de Carbono

Monitorear la fijación de Carbono requiere una serie de inventarios para cuantificar los cambios a lo largo del tiempo. Frecuentemente, los inventarios utilizan parcelas permanentes de medición (PPM) como un medio para obtener datos estadísticamente más confiables y reducir costos para llevar a cabo el monitoreo. Estas parcelas permiten evaluar eficientemente los cambios en la fijación o almacenamiento de C (Márquez 2000).

El propósito del inventario es estimar la cantidad de madera, y eso es insuficiente para hacer la estimación de la cantidad total de C, entonces se convierten los volúmenes relevados en el inventario siguiendo varios pasos: a. convertir volúmenes verdes de un inventario a la biomasa en peso seco, b. estimar el peso de C en la biomasa, c. estimar la biomasa y cantidad de C por ha. y d. usar un factor de expansión de biomasa para incluir otros componentes (Husch 2001).

Bonos de Carbono

Los bonos de carbono (“créditos de carbono”) son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI), los bonos de carbono también ayudan a la agricultura para una mejor producción.

Este sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora del sistema operativo de WALAS de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir dióxido de carbono como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado.

Un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono, permite mitigar la generación de gases de efecto invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

Las reducciones de Gases de Efecto Invernadero se miden en toneladas de dióxido de carbono equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de dióxido de carbono que se deja emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países del Anexo 1 del Protocolo de Kioto (Industrializados).

La institución encargada de entregar estos bonos son las Naciones Unidas, el requisito que tienen que cumplir las empresas para poder recibirlos es demostrar nuevas inversiones en tecnologías menos contaminantes. Este mecanismo tiene tres pasos:

- Realizar estudios para determinar el niveles de reducción de gases
- Realizar una presentación a la ONU
- Entrega de certificados (en caso de aprobación).

Comercio de Emisiones

Fue creado en 2003 bajo una Directiva de la Unión Europea que supone el comienzo del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones de gases de efecto invernadero (SECE), el cual consiste en una restricción sobre las cuotas de emisión a los países que intenten vender más cuotas de emisión de las permitidas y su mayor objetivo es lograr una mejor redistribución de las emisiones entre las naciones industrializadas. Dicha restricción consiste en la prohibición de la venta de dióxido de carbono hasta que se restauren los niveles exigidos teniendo un plazo de 30 días para ello.

Los países industrializados establecieron este sistema de compra venta de emisiones de gases de efecto invernadero puesto que les permite a aquellos que han reducido sus emisiones más de lo comprometido, vender los certificados de emisiones excedentarios a los países que no hayan alcanzado a cumplir con su compromiso. Entre las partes podrán negociar todas las emisiones de los GEI procedentes de las cuotas de emisión asignadas por Kioto, las emisiones procedentes de la Aplicación Conjunta y de los Mecanismos de Desarrollo Limpio.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) está regido por las Partes del Protocolo a través de la Junta Ejecutiva, este mecanismo ofrece a países industrializados la posibilidad de diferir tecnologías limpias a países en vías de desarrollo, mediante inversiones en proyectos de reducción de emisiones o sumideros, recibiendo a cambio certificados de emisión que servirán como suplemento a sus reducciones internas, dichas reducciones deberán ser verificadas y certificadas por entidades independientes.

Para obtener la certificación de las emisiones, tanto el país industrializado como el país en desarrollo receptor del proyecto, deberán demostrar una reducción en el tiempo de emisiones real mensurable y prolongada.

Este mecanismo tiene una especial sensibilidad dado que puede contribuir a reducir emisiones futuras en los países en desarrollo y potenciar la capacidad de transferencia de tecnologías limpias.

La Aplicación Conjunta (AC) se refiere a que un país industrializado (gobierno, empresas u organizaciones privadas) a través de la AC podrá invertir en otro país industrializado y operar en un proyecto encaminado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o incrementar la absorción por los sumideros. En este sistema existen una serie de requisitos que deben cumplirse debidamente para poder hacer uso de este mecanismo, y en cualquier caso, los proyectos deberán someterse a su certificación por

entidades independientes. Los beneficios para el inversor serían: ser acreedor de certificados para reducir emisiones a un precio menor del que le habría costado en su ámbito nacional y los beneficios para el receptor serían ser beneficiado de inversión y tecnología.

Parcelas de inventario de carbono

Schlegel et al (2001) mencionan que la unidad de muestreo que se utiliza es una parcela de tipo temporal; sin embargo, en sitios donde se pretendan llevar a cabo proyectos de carbono, con el objetivo de hacer un monitoreo de éste a través del tiempo se establecen parcelas de muestreo permanentes. Se sugiere utilizar un muestreo al azar estratificando la población, ya que éste entrega estimaciones más precisas para un presupuesto limitado. Cada estrato, en que se subdivide la población puede ser definido para un presupuesto limitado. Cada estrato, en que se subdivide la población puede ser definido por el tipo de vegetación, tipo de suelo o topografía.

El tamaño y la forma de las parcelas de muestreo es una compensación entre exactitud, precisión, tiempo y costo para la medición. Hay dos tipos de parcelas: a) parcelas individuales de un tamaño fijo o b) parcelas concéntricas o anidadas que contienen pequeñas subunidades de diferentes formas y tamaños.

Las parcelas individuales pueden ser preferibles para los sistemas con baja variabilidad, como las plantaciones de monocultivo y las parcelas anidadas se componen de varias parcelas completas (típicamente de dos a cuatro, dependiendo de la estructura del bosque), cada uno de ellos debe ser considerado como independiente por lo que es recomendable utilizarla en bosques con mucha variabilidad de especies. Las parcelas pueden adoptar la forma de círculos o rectángulos anidados.

Círculos funcionan bien si se tiene acceso a equipos de medición a distancia, porque entonces el límite real de alrededor de la parcela no será necesario marcar; de lo contrario puede ser más eficaz utilizar parcelas rectangulares que se marcan con cintas métricas. Cuando los árboles alcanzan el tamaño mínimo (medido por el DAP) de una parcela anidada, que se miden y se incluirán. Cuando se supera el tamaño máximo de DAP, la medición del árbol en que anidan se detiene y comienza en la jerarquía inmediatamente superior. La experiencia ha demostrado que este tipo de parcelas representan un balance razonable entre esfuerzo y precisión (Pearson et al 2005).

Biomasa

Es aquel material orgánico biodegradable y no fosilizado originado por plantas, animales y microorganismo; incluye productos, subproductos y residuos y desechos de la agricultura, forestería e industrias afines; así como las fracciones orgánicas y no fosilizadas de los desechos industriales y municipales. La biomasa también incluye los gases y líquidos recuperados de la descomposición de materiales orgánicos biodegradables y no fosilizados (Salinas & Hernández 2008).

La biomasa arbórea es la cantidad total de materia orgánica viva de la parte aérea de los árboles (hojas, ramas, tronco, corteza) expresada en t de peso seco al horno/unidad de área (árbol, ha, región, país); es la cantidad de C almacenado en el bosque (Brown 1997; FAO 1998).

La biomasa en un bosque es el resultado de la diferencia entre la producción a través de la fotosíntesis y el consumo por la respiración, y procesos de cosecha (Bennaceur et al 2005).

La biomasa forestal cumple un papel importante en el cambio climático, sirve como sumidero y a la vez es fuente de los GEI. Con el cálculo de la biomasa se obtiene un valor aproximado de la cantidad de C almacenado, porque existe una estrecha relación entre la biomasa y el C (2:1) (Ciesla 1996).

La fracción de carbono de la biomasa tiene un valor por defecto de 0.5; aunque en niveles metodológicos superiores hay un margen de variación en función de las especies, de los componentes de un árbol o de un rodal (tallo, raíces y hojas) y de la edad del rodal (IPCC 2003).

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente. Para la determinación indirecta se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica. Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho, la altura comercial y total, el crecimiento dimétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Fonseca et al 2009).

Según Salinas & Hernández (2008) son importantes la biomasa aérea total y del fuste:

- Biomasa aérea total (BT), se refiere al peso seco de material vegetal del árbol sobre el suelo, incluyendo fuste, corteza, ramas y hojas.
- Biomasa de fuste (BF), se refiere al peso seco del fuste. Corresponde a la biomasa del fuste comercial del árbol, desde el tocón hasta la primera bifurcación o inicio de la copa.

Deforestación en Frontera y avance de la frontera agrícola

En la actualidad, la deforestación es uno de los problemas ambientales más graves junto a la pérdida de biodiversidad, la contaminación del agua y del aire y el cambio climático. El estado de conservación de los bosques influye sobre algunos problemas relevantes de los ecosistemas. Los bosques tienen una gran importancia como sumideros de dióxido de carbono en el escenario actual de calentamiento global, como focos de

biodiversidad y de conservación de la misma, como forma de proteger los suelos de la erosión, como almacén de agua, etc. Los bosques no solo son un importante sumidero de dióxido de carbono sino que su destrucción que, en muchas ocasiones se produce por quema controlada, produce entre el 20 y el 25% de los gases de efecto invernadero.

La deforestación es uno de los problemas ambientales que más posibilidades de análisis presenta desde el punto de vista de la teledetección.

El mercado de emisiones de dióxido de carbono, la producción de biocombustibles a gran escala y el aumento de la población y la globalización son fenómenos económicos que plantean interrogantes a medio y largo plazo sobre los bosques y pueden tener repercusiones muy importantes y sin precedentes en los mismos. En otro sentido, la educación, la acción de organismos internacionales y la cooperación con los países menos desarrollados, en un mundo globalizado, se plantea como una posibilidad de contrarrestar la deforestación.

Estudios Recientes

Investigaciones científicas sobre las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) durante los últimos 10 años predicen que el cambio climático tendrá impactos negativos ambientales, sociales y económicos a nivel global. Los impactos pueden incluir el aumento del nivel de los mares, erosión costera, cambios dramáticos en patrones climáticos, aumento de enfermedades tropicales, la pérdida acelerada de biodiversidad, y la desertificación (PNUMA-SEMARNAT, 2004).

Las existencias de carbono en los bosques naturales representan una fuerte cantidad de gases de efecto de invernadero (CO₂) que se encuentra fijada de la atmosfera y que debido a los fuertes procesos de deforestación que se sufren en las áreas naturales están siendo re-incorporadas a la atmosfera contribuyendo al problema mundial del calentamiento global (FDN, 2002). La pérdida global de los bosques aumenta los riesgos del cambio climático. Se ha estimado que la deforestación contribuye con el 20% de las emisiones anuales de CO₂. Los bosques naturales almacenan mayores cantidades de carbono que las plantaciones forestales y provee mayores beneficios a la biodiversidad.

América Latina poseía 960 millones de hectáreas para el año 2000, que constituían el 25% de la cobertura forestal mundial y cerca del 40% de la biodiversidad terrestre mundial, siendo un alto porcentaje de estos bosques los “bosques húmedos latifoliados” (PNUMA-SEMARNAT, 2004), los que cubren gran parte de la Sierra del Lacandón. Aunque América Latina solo emitía el 18% de las emisiones mundiales de CO₂, su contribución por cambio de uso de la tierra era del 47.3% del total mundial (PNUMA-SEMARNAT, 2004).

La deforestación y las emisiones que esta acarrea han formado parte importante de los debates científicos y políticos desde el inicio de las negociaciones de la CMCC⁵ y el Protocolo de Kyoto. Todos los países que firmaron la Convención estuvieron de acuerdo en proteger y conservar las reservas de carbono, con inclusión de los bosques, pero hasta la fecha ello ha tenido poco efecto (CAN, 2007).

El IPCC⁶ ha aprobado métodos estándar para cuantificar la deforestación. Incluir la deforestación en un plan de deforestación puede aumentar considerablemente la carga de vigilancia y, en consecuencia, las actividades de fortalecimiento de la capacidad. La fotointerpretación y análisis de imágenes de satélite se puede utilizar para vigilar la cobertura forestal y demostrar la deforestación de manera viable, esto no ocurre con la degradación, para la cual se necesitan más mediciones sobre el terreno.

Las tasas de deforestación se pueden cuantificar mediante una variedad de instrumentos de fotointerpretación y SIG combinados con estudios sobre el terreno. Es preciso cuantificar la biomasa de los bosques para calcular las emisiones. La exactitud de las mediciones de las tasas de deforestación y de la biomasa de los bosques depende de la capacidad tecnológica y del monitoreo de los bosques, que varían mucho entre los países tropicales (CAN, 2007).

En los últimos 10 años se han desarrollado diversos proyectos para cuantificar el potencial de carbono de bosques tropicales en especial respecto a la confiabilidad de la cuantificación del carbono que los mercados globales exigen. Varias de estas experiencias han recurrido a mediciones físicas para obtener los valores de fijación. Estos esfuerzos han medido el potencial de fijación de carbono usando métodos de inventarios forestales. Tanto estimar como medir el potencial de fijación es un proceso válido y a la fecha, ambos han producido resultados exitosos en el sentido de que proyectos preparados con ambos métodos han sido considerados aptos para recibir financiamiento (Fundación Solar, 2000 y 2008).

Winrock International ha desarrollado investigaciones en el nivel técnico para cuantificar los beneficios de la fijación de carbono en proyectos de uso de la tierra. El sistema aplica métodos forestales estándar y los principios de inventarios forestales, ciencia del suelo y levantamientos ecológicos para medir y analizar biomasa. El programa incluye los métodos necesarios para levantar un inventario de carbono en sistemas de uso de la tierra con el objetivo de medir y obtener resultados de fijación. Los métodos son útiles para planificar esfuerzos de monitoreo que inician con la obtención de valores de fijación pero que contempla un seguimiento a las fuentes de carbono para observar su comportamiento a través del tiempo.

Actualmente los incendios forestales causados por el hombre están presentes en todos los ecosistemas vegetales del mundo. Se estima que anualmente se pierden entre 10 a 15 millones de hectáreas de bosques en regiones boreales y templadas, mientras que 20 a 40 millones se pierden en regiones tropicales. La actividad agrícola, reconversión agrícola y

⁵Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

⁶Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático por sus siglas en inglés.

habilitación de grandes extensiones aplicando quemas han sido los responsables de este daño.

Las pérdidas son difíciles de cuantificar. Solo en el sureste de Asia se estima que los daños directos ocasionados por incendios forestales en la región superan los 4, 500 millones de dólares anuales en promedio en los últimos 10 años. Adicionalmente está presente el impacto negativo sobre la salud humana por enfermedades respiratorias derivadas de las emisiones por incendios, tal como ha ocurrido en México, Honduras, Guatemala y el sureste de Estados Unidos.

Una de las mayores consecuencias ocasionadas por los incendios forestales son los efectos sobre el cambio climático. El cambio de uso del suelo por deforestación, y la combustión de enormes cantidades de biomasa han provocado la emisión de gases efecto invernadero. La mayor parte de la biomasa consumida por incendios forestales proviene de bosques tropicales y boreales, y preferentemente en países en vías de desarrollo.

En la actualidad se cuenta con diversos métodos para la cuantificación de la deforestación y el monitoreo de superficies quemadas por incendios forestales, valiéndose principalmente de datos satelitales de gran resolución.

En el año 2003, Wildlife Conservation Society (WCS), International Resources Group (IRG) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) realizó un monitoreo de incendios forestales y una estimación de superficies quemadas en la Reserva de Biosfera Maya, 2003. El monitoreo se realizó utilizando puntos de calor extraídos de imágenes del sensor MODIS de NASA y procesados por la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO) de México. La evaluación de superficies quemadas fue realizada utilizando imágenes LANDSAT ETM+ fechadas casi al final de la temporada de incendios (WCS, IRG, CONAP, 2003)

Esta información así como la generada en los años subsiguientes será utilizada por el proyecto para estimar las emisiones de CO₂ por incendios forestales en el PNSL durante el período 2000-2008. Puntos de calor del sensor MODIS serán utilizados para realizar el análisis de la dinámica de incendios a través de SIG. Posteriormente la evaluación y muestreo de superficies quemadas respecto al tipo de bosque, permitirá estimar las emisiones de CO₂ producto de incendios forestales en el PNSL.

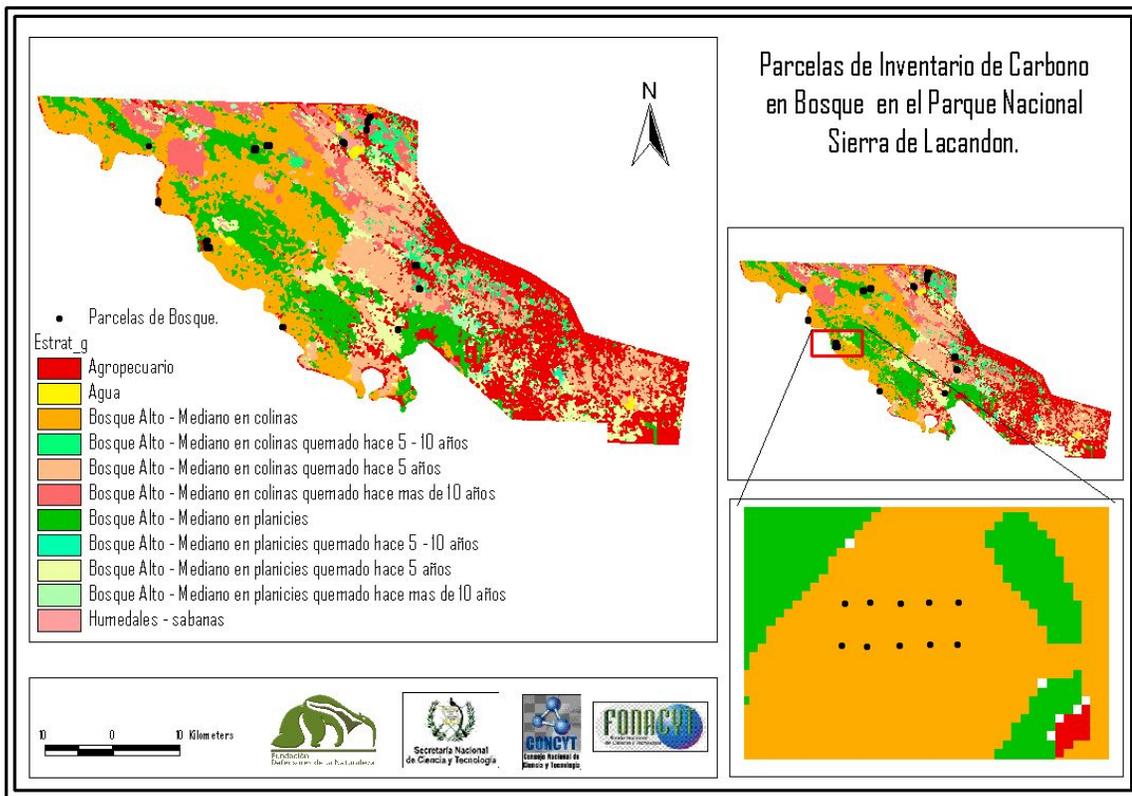
PARTE III

III. 1 RESULTADOS

El estudio tuvo como objetivo principal el de Cuantificar los valores de carbono secuestrado/emitido en los diferentes sistemas de uso de la tierra y estimar las emisiones por incendios forestales ocurridos en 2000-2008 en el Parque Nacional Sierra del Lacandón-PNSL. Las parcelas que se tenían contempladas en el protocolo de investigación eran concéntricas, pero después de varias reuniones con expertos, se llegó a la conclusión, que las parcelas debían ser rectangulares, ya que existe mayor facilidad para la toma de datos en áreas con mayor pendiente, permite llevar a cabo un transecto para la toma de datos de madera muerta y debido a que son más eficientes en bosques densos como los que existen en el Parque.

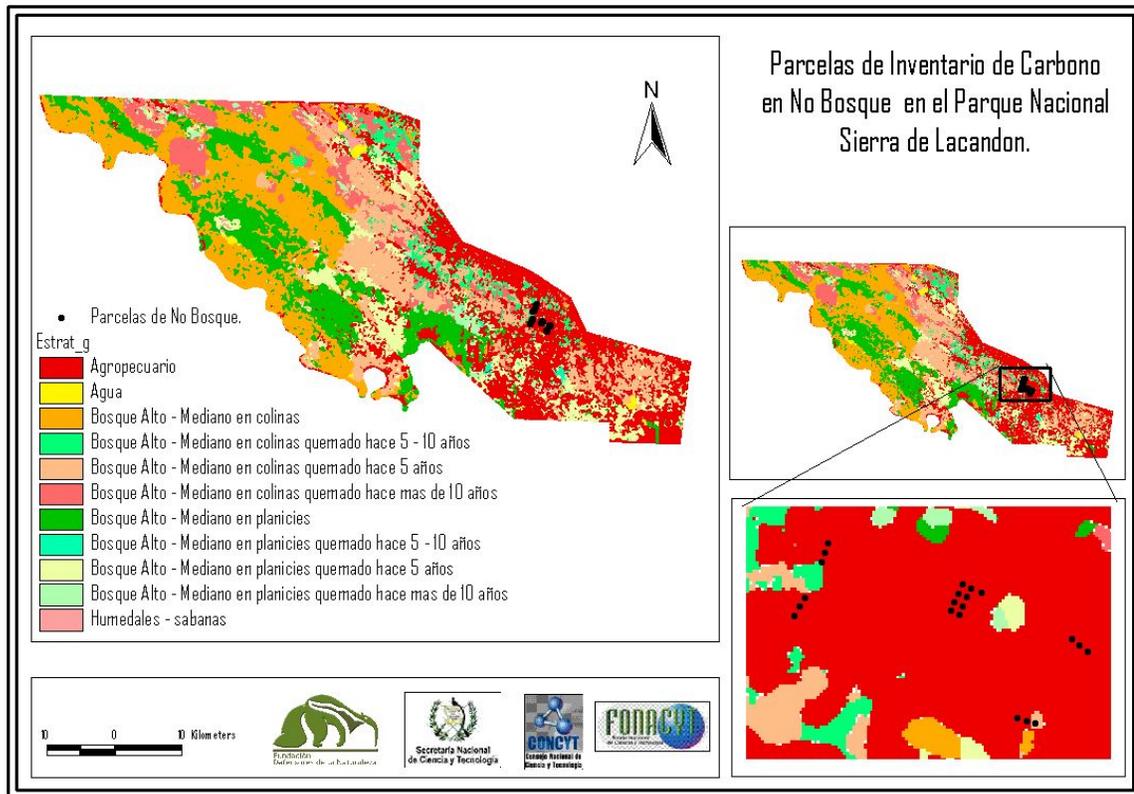
Durante 12 meses de muestreo se establecieron un total de 102 parcelas permanentes; 72 parcelas en BOSQUE y 30 parcelas en estratos de NO BOSQUE, en 9 estratos identificados en el Parque basados en ecosistemas forestales, cobertura forestal y cicatrices de fuego.

Mapa No. 3 Parcelas de Inventario de Carbono en Parque Nacional Sierra del Lacandón



Fuente: FODECYT 030-2009

Mapa No. 4 Parcelas de Inventario de NO BOSQUE



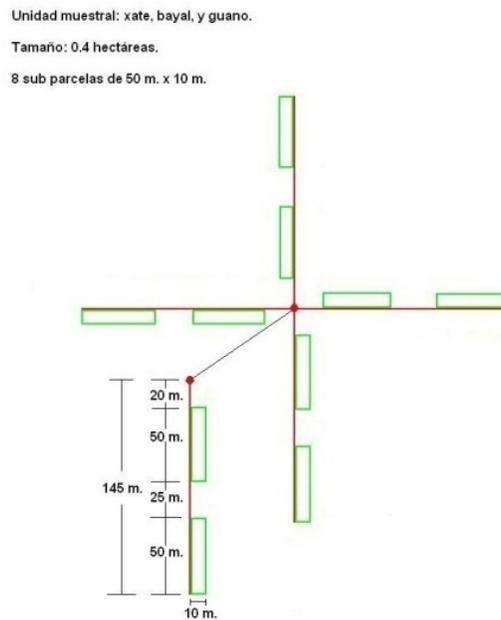
Fuente: FODECYT 030-2009

Los análisis de las muestras de suelo y hojarasca, se realizaron en el Laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala. Los resultados de estos análisis se presentan a continuación.

Al realizar el muestreo de carbono, se identificaron 10 especies de valor comercial para el PNSL en 8 estratos. Para el muestreo de xate y bayal, se utilizó la metodología utilizada por Rainforest Alliance (RA) y se establecieron 30 parcelas integradas de estas especies importantes económicamente en el PNSL.

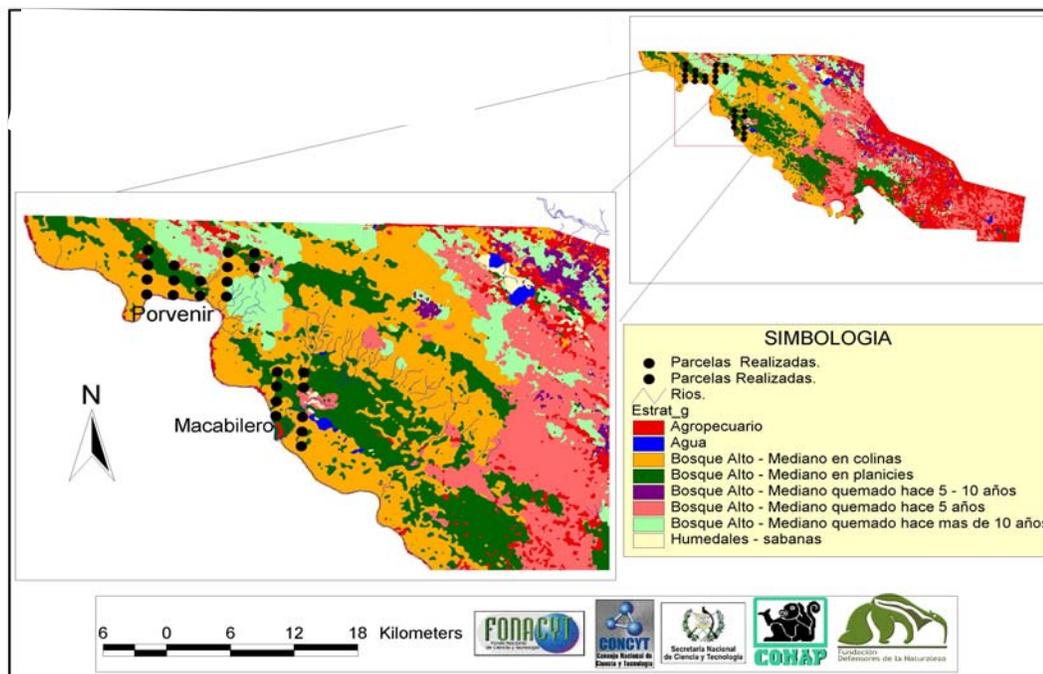
Para caracterizar el estado de las especies no maderables (xate y bayal) se utilizó la metodología utilizada por RainForest Alliance, el cual consiste en realizar parcelas de 0.4 ha, la cual se subdivide en 8 sub-parcelas de 10x50 m, las cuales se distribuyen hacia los cuatro puntos cardinales. 4 sub parcelas se encuentran más cercanas al punto central y éstas se encuentran a 20 metros de distancia del punto central. Las siguientes sub-parcelas inician 25 metros después de finalizadas las primeras parcelas sobre la brecha. En total se establecieron 30 parcelas.

Figura No. 3 Parcelas para muestreo de especies no maderables



Fuente: Rainforest Alliance, 2010

Mapa No. 5 Parcelas de Muestreos de Productos No Maderables

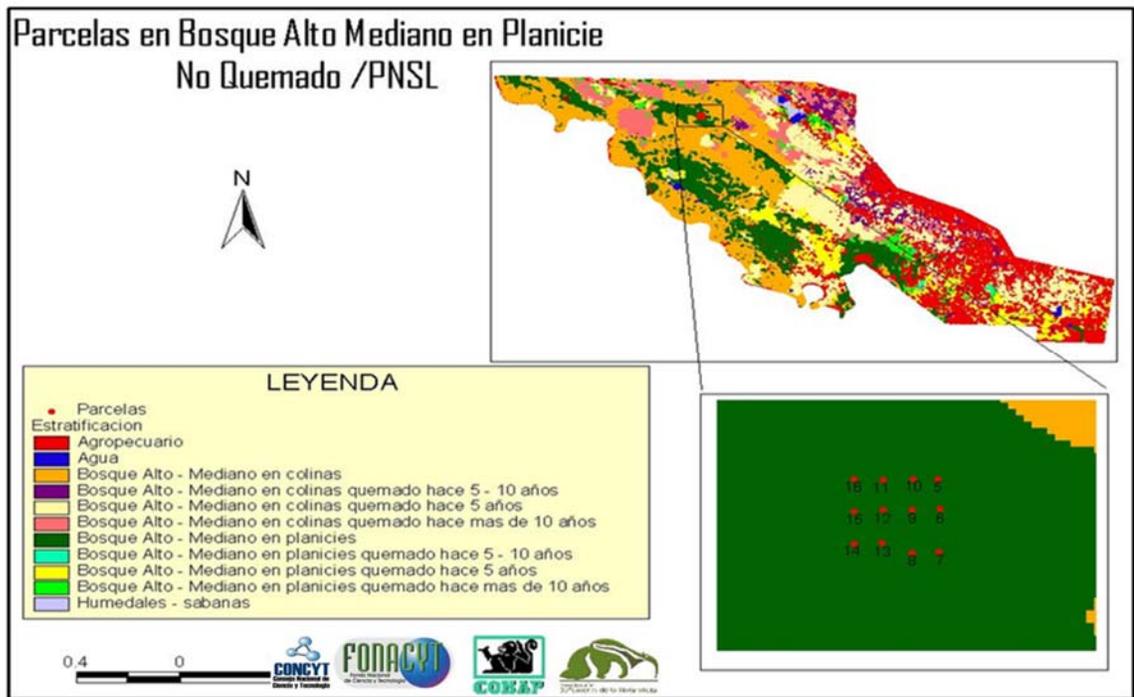


Fuente: FODECYT 030-2009

- **Cuantificar el stock de carbono (tCO₂/hectárea) de los diferentes usos de la tierra (Bosques Naturales, sistemas agroforestales y cultivos anuales) en el PNSL**

Para realizar la cuantificación del stock de carbono en los diferentes usos de la tierra en el PNSL, se llevaron a cabo varias actividades. Dentro de éstas, se solicitaron los mapas de tipos de uso de suelo, ecosistemas, cicatrices de fuego y tipos de bosque, al Centro de Monitoreo y Evaluación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CEMEC-. Con esto se desarrolló un mapa de estratificación del Parque Nacional Sierra del Lacandón, que sirvió como base para la planificación de la construcción de las parcelas de carbono.

Mapa No. 6 Mapa de estratificación del Parque Nacional Sierra del Lacandón



Fuente: FODECYT 030-2009

El procedimiento que se llevó a cabo para obtener las muestras de stock de carbono fue el siguiente:

Antes de iniciar la gira de campo, en el mapa de la estratificación del PNSL, se colocan los puntos en donde se quieren establecer las parcelas permanentes de carbono, luego estos puntos se introducen al GPS, para facilitar la búsqueda de los puntos en el parque.

Luego, se señala el centro de la parcela con tubo PVC y una varilla de hierro enterrada, para dejar una marca que facilitará el monitoreo de estas parcelas. A partir del punto se mide la parcela y subparcelas, se pesa la hojarasca, se toma la muestra de suelo, se miden los árboles y madera muerta (si hay en el transecto). Luego las muestras de suelo se guardan en bolsas papel kraft y ziploc para su traslado hacia la Universidad del Valle de Guatemala para su análisis (Figura No. 4).

Figura No. 4 Pasos para realizar el muestreo de carbono



Fuente: FODECYT 030-2009

Los resultados de los análisis de captura de carbono en las parcelas son los siguientes:

Cuadro No. 5 Resultados de Carbón Secuestrado en los distintos usos del suelo

Fuente:

Estrato	Resultados por estrato (t-C/ha)										Total por estrato (Toneladas de Carbono)
	Árboles (>10 cm)	Latizales (5-10 cm)	Vegetación menor	Total arriba suelo	Raíces	Hojarasca	Madera muerta en pie	Madera Muerta Yacente	Suelo	Total	
BACNQ	154.7	7.3	2.8	164.8	161.1	6.1	1	2.9	29.5	365.4	17124368.69
BACQ (0-5)	53.6	5.1	2.5	61.2	58.7	5.3	0.1	3	69	197.3	6220350.10
BACQ (5-10)	114.9	6.5	1.7	123.2	119.9	4.6	0	4.5	32	284.2	1936953.73
BACQ>10	75.5	3.2	6.1	84.8	83.2	7.2	0	9.2	28.8	213.2	3283305.58
BAPNQ	142.2	5.1	3.5	150.9	148.3	7.7	0.4	3.5	35.5	346.3	11254950.85
BAPQ (0-5)	25.5	2.1	6.3	33.8	32.8	3.6	0.6	1.4	22.2	94.4	1474405.28
BAPQ (5-10)	61	11.2	2.3	74.5	68.9	5.4	0.2	7	21.2	177.2	159635.94
BAPQ>10											
NBPN	6.9	0.6	4.6	12.2	11.9	1.3	0.1	0.2	36.7	62.4	
NBCA	0	0	2.4	2.5	2.5	0.8	0	0	26.8	32.6	

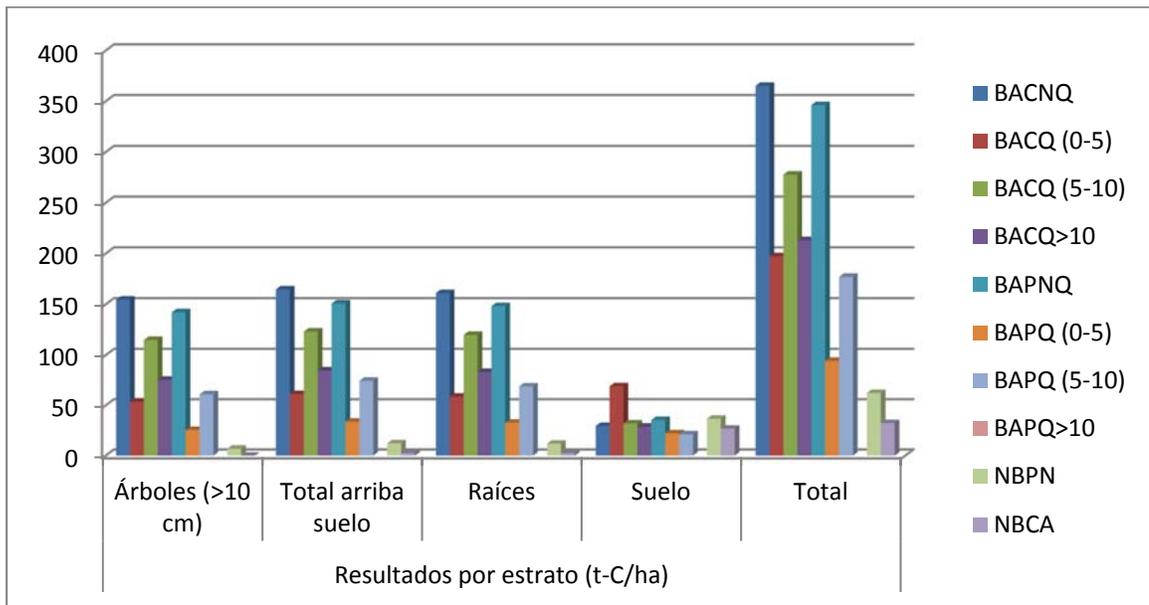
FODECYT 030-2009

Los bosques tropicales desempeñan un papel muy importante en el ciclo del carbono, pues son ellos los que almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y en el suelo, el cual es intercambiado con la atmósfera por medio de la fotosíntesis y la respiración. Estos reservorios de carbono pueden ser fuente de carbono si son perturbados por medio de actividades naturales o antropogénicas (incendios forestales, tala incontrolada, cambio de uso del suelo, etc).

Como puede observarse en la Cuadro No. 5 los estratos que capturan mayor cantidad de carbono en (t-C/ha)son los que no han tenido ningún tipo de perturbación, como el estrato de Bosque Alto de Colinas No Quemado (BACNQ), Bosque Alto en Planicie No Quemado (BAPNQ) o los que alguna vez se quemaron, pero ya se encuentran en etapa de regeneración como el estrato de Bosque Alto de Colinas Quemado entre 5-10 años (BACQ 5-10), ya que según se ha demostrado, los bosques jóvenes son los que más carbono capturan.

El grado de importancia de la captura de carbono según las distintas muestras son: a) Carbono Arriba del Suelo, el cual incluye: árboles, latizales y vegetación menor b) raíces y c) suelo. Esto es debido a que en los bosques tropicales el carbono que se encuentra arriba del suelo es de mayor importancia pues es aquí en donde se encuentra la mayor cantidad de biomasa.

Gráfica No. 1 Resultados de captura de carbono por estratos



Fuente: FODECYT 030-2009

• **Caracterizar el estado de las especies vegetales con valor comercial en los bosques del PNSL**

Especies Maderables

En las 102 parcelas se identificaron 78 especies de árboles, distribuidos en 36 familias. Debido a que la mayoría de especies se identificaron por nombre común, no se logró determinar la especie de varios árboles.

La FAO (2003) en el documento “Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala” realizó una clasificación de las especies forestales por tipo de uso. Dentro de la Categoría de Especies Maderables se encuentran: *Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea*, *Pinus maximinoi*, *Pinus tecunumanii*, *Cupressus lusitanica*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Cybistax donnellsmithii*, *Calophyllum brasiliense*, *Virola sp.*, *Pseudobombax ellipticum*, *Terminalia amazonia*, *Vatairea lundellii*, *Lonchocarpus castilloi*, *Bucida buceras*, *Aspidosperma megalocarpum*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Symphonia globulifera*, *Sterculiaa petala*, *Brosimum alicastrum*.

De estas especies en las parcelas establecidas en el PNSL se encontraron 10 especies de 6 familias.

Tabla No. 1 Especies Maderables de Valor Comercial en Parcelas Permanentes del PNSL

Especies Maderables de Valor Comercial		
No.	Nombre Científico	Familia
1	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae
2	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae
3	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Clusiaceae
4	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Bombacaceae
5	<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae
6	<i>Vatairea lundellii</i>	Fabaceae
7	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Fabaceae
8	<i>Bucida buceras L.</i>	Combretaceae
9	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae
10	<i>Brosimum sp.</i>	Moraceae

Fuente: FAO 2003

A continuación se muestra la distribución de las especies de valor comercial dentro de los nueve estratos identificados en el PNSL, en donde se puede observar que los estratos que no han sufrido ningún tipo de perturbación (incendios forestales, invasiones, etc), como es el caso del Estrato de Bosque Alto en Colinas No Quemado y el Estrato de Bosque Alto en Planicie No Quemado, cuentan con la mayor cantidad de especies de importancia. Al mismo tiempo se realizaron los cálculos de área basal y de volumen por especie y por estrato.

Tabla No. 2 Cálculo de Volumen de las especies de valor comercial por especie/parcela en nueve estratos del PNSL

ESTRATO	PARCELA	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	VOLUMEN
ESTRATO BOSQUE ALTO DE COLINAS NO QUEMADO	BACNQ_01	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.084442095
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.145389055
	BACNQ_02	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.281634794
		Manchiche	<i>Lonchocarpuscastilloi</i>	0.42540221
	BACNQ_03	Conacaste	<i>Enterolobyum cyclocarpum</i>	0.128053125
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.122222253
	BACNQ_05	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.220015147
		Manchiche	<i>Lonchocarpuscastilloi</i>	0.125199
	BACNQ_6	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	0.320548
		Conacaste	<i>Enterolobyum cyclocarpum</i>	0.120970667
	BACNQ_7	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.10053936
		Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	4.603004
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.8326
	BACNQ_8	Cedro	<i>Cedrelaodorata</i>	0.9814365
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.413522708
	BACNQ_9	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	1.126996875
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.620464334
	BACNQ_10	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.89786772
	BACNQ_11	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.52437058
BACNQ_12	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.75112764	
BACNQ_13	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.988611136	
BACNQ_14	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	0.86854	
	Conacaste	<i>Enterolobyum cyclocarpum</i>	0.373825	
BACNQ_15	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	0.70749124	
	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.6092586	
	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.07861968	
BACNQ_16	Cedro	<i>Cedrelaodorata</i>	0.2786875	
	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.138740238	
	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.113783	
	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.20597708	
BACNQ_17	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.799561897	
BACNQ_18	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.417614	
BACNQ_19	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.07131312	

		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.318823
	BACNQ_20	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.7759395
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	3.43957
	BACNQ_21	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.09100024
		Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	2.128056906
	BACNQ_22	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.500000883
	BACNQ_23	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.31562622
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.156084
	BACNQ_24	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.163793
	BACNQ_25	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.704904
ESTRATO BOSQUE ALTO EN COLINAS QUEMADO HACE 5 AÑOS	BACQ(0-5)_1	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.8813104
	BACQ(0-5)_2	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	2.51114602
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.102366
	BACQ(0-5)_4	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.1064252
	BACQ(0-5)_5	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.51336
		Manchiche	<i>Lonchocarpuscastilloi</i>	0.102366
ESTRATO DE BOSQUE EN COLINAS QUEMADO HACE 5 A 10 AÑOS	BACQ(5-10)_01	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	6.55142
		Danto	<i>Vatairealundellii</i>	7.38863
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.76934333
	BACQ(5-10)_02	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.08653512
		Conacaste	<i>Enterolobyum cyclocarpum</i>	0.23035765
	BACQ(5-10)_04	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	9.55888128
		Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.084670425
BACQ(5-10)_05	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.297174607	
ESTRATO DE BOSQUE EN COLINAS QUEMADO HACE 10 AÑOS	BACQ>10_01	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.73215088
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.121143859
	BACQ>10_02	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	10.46900466
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	4.6121372
ESTRATO BOSQUE ALTO EN PLANICIE NO QUEMADO	BAPNQ_01	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.548457583
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.447768402
	BAPNQ_02	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.435584037
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.595393895
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.133232833
	BAPNQ_03	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.803971523
		Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.08899804
		Manchiche	<i>Lonchocarpuscastilloi</i>	0.284047166
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.84786406
	BAPNQ_04	Caoba	<i>Swieteniamacrophylla</i>	0.392457997
		Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.504440053
		Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.321779714
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.410111216
	BAPNQ_05	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.058265317
	BAPNQ_06	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	2.87058818
BAPNQ_07	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	1.284608	
	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.20404896	
	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.33457761	

	BAPNQ_08	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.467838971
	BAPNQ_09	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.342383947
	BAPNQ_10	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	2.79523928
	BAPNQ_11	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	1.89698906
	BAPNQ_12	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.14848866
	BAPNQ_14	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.33516112
		Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	0.75112764
		Danto	<i>Vatairealundellii</i>	1.88334
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.104481
	BAPNQ_15	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.211237127
		Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.3104
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.08724548
	BAPNQ_16	Caoba	<i>Swieteniamacrophylla</i>	0.262197
		Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.23259021
		Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	1.470045787
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.1388988
	BAPNQ_17	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.09967678
	BAPNQ_18	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.12296644
	BAPNQ_19	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.10350765
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.46738956
	BAPNQ_20	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.18355
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.0932328
	BAPNQ_22	Manchiche	<i>Lonchocarpuscastilloi</i>	0.0995753
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	3.722665
	BAPNQ_23	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.306205493
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.12365143
ESTRATO BOSQUE ALTO EN PLANICIE QUEMADO 0-5 AÑOS	BAPQ(0-5)_01	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.7759395
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.585981625
	BAPQ(0-5)_02	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.15818
		Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	0.15533856
	BAPQ(0-5)_03	Amapola	<i>Pseudobombaxellipticum</i>	0.376362
		Conacaste	<i>Enterolobyum cyclocarpum</i>	0.16439565
	BAPQ(0-5)_04	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.553952
	Danto	<i>Vatairealundellii</i>	0.403288027	
		Pucté	<i>Bucida buceras L.</i>	0.706172
ESTRATO BOSQUE ALTO EN PLANICIE QUEMADO 5-10 AÑOS	BAPQ(5-10)_01	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	0.87990576
	BAPQ(5-10)_02	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	1.030908
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.34509008
	BAPQ(5-10)_03	Santa Maria	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.23652256
		Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	2.79666
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	1.19659947
	BAPQ(5-10)_04	Canchan	<i>Terminalia amazonia</i>	1.08022728
	Manchiche	<i>Lonchocarpuscastilloi</i>	0.0873977	
		Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.160429473
	BAPQ(5-10)_05	Ramon	<i>Brosimumsp.</i>	0.368879662
ESTRATO NO BOSQUE	NBPN_10	Cedro	<i>Cedrelaodorata</i>	0.208446427

Especies no maderables

En el Parque Nacional Sierra del Lacandón existen varias especies de xate, pero tres son las especies que son aprovechadas por las comunidades que se encuentran dentro del PNSL. Estas especies son: xate jade o macho (*Chamaedorea oblongata*), hembra (*Chamaedorea elegans*) y cola de pescado (*Chamaedorea ernesti-augustii*).

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas ha establecido legalmente en los artículos 64 y 67 de la constitución de la República de Guatemala, en el decreto 4-89 Ley de Áreas Protegidas y sus reformas, Acuerdo Gubernativo 759-90 reglamento de la Ley de Áreas Protegidas, que establecen la necesidad de garantizar la conservación y el aprovechamiento de los recursos de flora, fauna, suelo y agua, garantizando la sostenibilidad ecológica y económica del aprovechamiento de las hojas de xate.

Durante el proyecto se realizaron 30 parcelas de xate en la zona intangible del PNSL, en cada parcela se realizó un muestreo de las tres especies, determinando al número de hojas aprovechables. En total, se registraron 3,435 hojas aprovechables de las tres especies, de donde el 50.60% es de xate hembra, 29.87% de xate jade y 19.53 & de xate cola.

Con el objetivo de realizar una caracterización del estado de las especies no maderables, se calculó el número de hojas aprovechables por hectárea, con esta información, se estableció el valor de mercado para estas especies. El valor del mercado se obtuvo por medio de una entrevista con Mario Rivas de la Asociación de Comunidades Forestales de Petén – ACOFOP -, dando como resultado Q 1,365.60 para xate cola, Q 866.59 para xate jade y Q 1,009.60 haciendo un total de Q 3,241.79 quetzales en 30 parcelas.

Tabla No. 3 Cálculo de número de hojas aprovechables por hectárea

Parcela No.	Coordenada	Nombre Común	Especie	No. De Plantas	Número de hojas aprovechables	Precio por Hoja	Total
1	X=692583 Y=1885382	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	176	58	Q0.08	Q27.15
1		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	42	16	Q0.80	Q50.40
1		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	197	65	Q0.15	Q57.30
2	X=692583 Y=1886882	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	96	31	Q0.08	Q15.05
2		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	17	10	Q0.80	Q15.20
2		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	58	22	Q0.15	Q12.90
3	X=692583 Y=1888382	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	100	40	Q0.08	Q13.52
3		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	42	36	Q0.80	Q50.40
3		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	41	25	Q0.15	Q11.10
4	X=692583 Y=1891382	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	212	60	Q0.08	Q33.40

4		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	25	16	Q0.80	Q28.80
4		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	126	40	Q0.15	Q33.30
5	X=692583 Y=1892882	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	96	31	Q0.08	Q15.44
5		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	24	14	Q0.80	Q21.60
5		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	78	31	Q0.15	Q25.20
6	X=690083 Y=1892882	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	247	62	Q0.08	Q47.28
6		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	39	12	Q0.80	Q56.80
6		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	2	1	Q0.15	Q0.30
7	X=690083 Y=1891382	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	177	60	Q0.08	Q31.04
7		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	47	24	Q0.80	Q48.00
7		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	164	63	Q0.15	Q51.00
8	X=690083 Y=1889882	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	17	21	Q0.08	Q3.04
8		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>			Q0.80	
8		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	15	14	Q0.15	Q3.60
9	X=690083 Y=1888382	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	5	15	Q0.08	Q1.20
9		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>			Q0.80	
9		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	4	6	Q0.15	Q0.90
10	X=677583 Y=1904882	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	203	73	Q0.08	Q39.68
10		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	6	8	Q0.80	Q6.40
10		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	26	22	Q0.15	Q2.75
11	X=677583 Y=1903383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	13	17	Q0.08	Q2.56
11		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	10	16	Q0.80	Q14.40
11		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	4	4	Q0.15	Q0.90
12	X=680083 Y=1903383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	155	63	Q0.08	Q31.04
12		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	15	19	Q0.80	Q21.60
12		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	10	16	Q0.15	Q3.30
13	X=677583 Y=1901883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	218	66	Q0.08	Q41.28
13		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	31	35	Q0.80	Q40.80
13		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	114	70	Q0.15	Q34.94
14	X=680083 Y=1901883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	327	88	Q0.08	Q60.16
14		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	25	30	Q0.80	Q36.00
14		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	49	28	Q0.15	Q11.85
15	X=677583 Y=1900383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	528	83	Q0.08	Q106.88
15		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	40	40	Q0.80	Q115.20
15		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	130	49	Q0.15	Q305.40
16	X=680083 Y=1900383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	335	61	Q0.08	Q58.48
16		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	99	31	Q0.80	Q145.60
16		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	172	61	Q0.15	Q46.05
17	X=682583 Y=1901883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	52	40	Q0.08	Q8.32
17		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	8	10	Q0.80	Q9.60
17		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	13	8	Q0.15	Q1.95
18	X=682583 Y=1900383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	578	99	Q0.08	Q121.44
18		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	81	39	Q0.80	Q96.80
18		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	110	39	Q0.15	Q29.55
19	X=687583 Y=1904883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	335	69	Q0.08	Q36.48
19		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	33	22	Q0.80	Q40.00
19		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	36	28	Q0.15	Q12.45
20	X=685083 Y=1904883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	150	47	Q0.08	Q28.24
20		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	59	25	Q0.80	Q56.80

20		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	58	40	Q0.15	Q20.10
21	X=685083 Y=1903383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	194	70	Q0.08	Q37.04
21		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	56	39	Q0.80	Q75.20
21		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	133	60	Q0.15	Q36.15
22	X=687583 Y=1903383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	50	39	Q0.08	Q9.12
22		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	27	29	Q0.80	Q34.40
22		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	23	22	Q0.15	Q6.30
23	X=685083 Y=1901883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	161	59	Q0.08	Q29.20
23		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	92	39	Q0.80	Q108.80
23		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	117	62	Q0.15	Q36.75
24	X=685083 Y=1900383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	158	61	Q0.08	Q31.92
24		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	14	12	Q0.80	Q16.00
24		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	58	28	Q0.15	Q20.25
25	X=677583 Y=1906383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	131	78	Q0.08	Q24.24
25		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	31	22	Q0.80	Q50.40
25		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	23	30	Q0.15	Q6.45
26	X=675083 Y=1906383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	133	72	Q0.08	Q23.76
26		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	27	23	Q0.80	Q34.40
26		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	27	27	Q0.15	Q8.10
27	X=675083 Y=1904883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	273	72	Q0.08	Q45.52
27		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	53	33	Q0.80	Q67.20
27		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	115	45	Q0.15	Q33.90
28	X=675083 Y=1903383	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	147	68	Q0.08	Q28.16
28		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	34	23	Q0.80	Q32.00
28		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	72	45	Q0.15	Q18.00
29	X=675083 Y=1901883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	144	66	Q0.08	Q27.68
29		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	38	22	Q0.80	Q39.20
29		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	68	40	Q0.15	Q15.90
30	X=685083 Y=1898883	Xate hembra	<i>Chamaedoreaelegans</i>	181	69	Q0.08	Q31.28
30		Cola de pescado	<i>Chamaedoreaernestiaugustii</i>	42	26	Q0.80	Q53.60
30		Xate Jade	<i>Chamaedoreaoblongata</i>	69	35	Q0.15	19.95

Fuente: FODECYT 030-2009

• **Estimar las emisiones de CO₂ en tCO₂, por incendios forestales y cambios de uso de la tierra en el período de 2000-2008 en el PNSL.**

Los incendios forestales dentro del PNSL, están asociados a la dinámica económico-social de los asentamientos humanos dentro y alrededor del Parque, incluyendo áreas en el territorio Mexicano. Las actividades agropecuarias (agricultura de subsistencia y ganadería) en la zona, en donde se emplea la roza (de manera no controlada) como técnica para preparar terrenos que serán empleados en la siembra de cultivos o pastos, e incluso para futuras usurpaciones, son la causa principal de los incendios forestales.

Estos incendios provocados al no ser controlados a través de rondas y calendarios de quema, afectan grandes extensiones de bosque que no necesariamente iban a ser destinadas a actividades agropecuarias y crean la impresión, en algunos comunitarios, que esas tierras ya no tienen razón de seguir conservándose, ello crea expectativas para ser reclamadas para su uso agropecuario (Herrera y Paiz, 1999).

En TNC (1998), se reporta que el área más afectada por estos incendios es la ruta al Naranjo, en donde una extensa área de la Sierra del Lacandón y casi la totalidad de la Sierra La Pita han sido devastadas sin que jamás hayan sido destinadas para cultivos. Este mismo patrón ha sido registrado por Ramos *et al* 2003a, esto responde esencialmente a la gran cantidad de actividad humana que no es normada y menos registrada.

También son afectadas partes de la serranía que son sumamente frágiles y que después de haber sido incendiadas tienen posibilidades muy limitadas de recuperación a corto plazo. Otras áreas que se ven afectadas por estos incendios son las comunidades de Villa Hermosa, San Juan Villanueva y El Nuevo Paraíso, en donde domina una vegetación volátil de pastos y "guamil"⁷ (Herrera y Paiz, 1999).

⁷ Bosque secundario o de regeneración

III.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el Parque Nacional Sierra del Lacandón, se determinó el carbono secuestrado y liberado en los bosques naturales y en los sistemas de uso de la tierra, con el fin de iniciar una línea base de emisiones de gases de efecto invernadero del PNSL, con la necesidad de generar conocimiento sobre el papel de la vegetación en cuanto a la mitigación del cambio climático, identificar los estratos que tienen mayor capacidad como sumideros de manera que sean considerados como áreas importantes para la conservación, establecer técnicas adecuadas para realizar actividades de reforestación y monitorear el carbono con el fin de medir los impactos o cuantificar el servicio ambiental que impliquen beneficios económicos en un futuro.

La existencia de carbono en el PNSL se determinó con base en mediciones de campo en parcelas permanentes de monitoreo, estas estimaciones se realizan para aquellos bosques que están sujetos a deforestación.

Para todos los estratos muestreados, la biomasa abajo del suelo (raíces, hojarasca, madera muerta en pie, madera muerta yacente y suelo) es el mayor contribuyente a sus reservas de carbono, debido principalmente al carbono contenido en el suelo. Es importante mencionar que los valores presentados en el cuadro No. 5 solo reflejan el carbono contenido en los primeros 30 a 40 centímetros de profundidad, esto indica que al aumentar la profundidad de muestreo, el contenido de carbono podría aumentar.

De los datos obtenidos en la biomasa arriba del suelo (árboles >10 cm, Latizales 5-10 cm y vegetación menor), los árboles con el DAP mayor a 10 centímetros son los mayores contribuyentes a la reserva de carbono.

En relación a estratos de BOSQUE y NO BOSQUE, se observa la gran diferencia que existe entre un bosque latifoliado y entre sistemas agroforestales y cultivos anuales, pues el carbono secuestrado en los estratos de NO BOSQUE son muy bajos, en el caso del estrato No Bosque Pasto Natural (NBPN) el total de carbono por hectárea es de 12.1 en biomasa arriba del suelo y de 50.2 en biomasa debajo del suelo. En el caso del estrato de No Bosque Cultivo Anual (NBCA) el carbono secuestrado es aún menor pues es de 2.5 y 30.1 respectivamente. Al realizar una comparación de estos datos se comprueba la importancia de conservar los bosques latifoliados, y de evitar la deforestación mediante el cambio de uso del suelo.

En total en el Parque Nacional Sierra del Lacandón, durante el establecimiento de la línea base de monitoreo de carbono, los estratos de bosque latifoliados, capturaron un total de 41, 451,600.44 de toneladas de carbono. Lo que hace al Parque Nacional Sierra del Lacandón un sumidero de carbono importante de conservar.

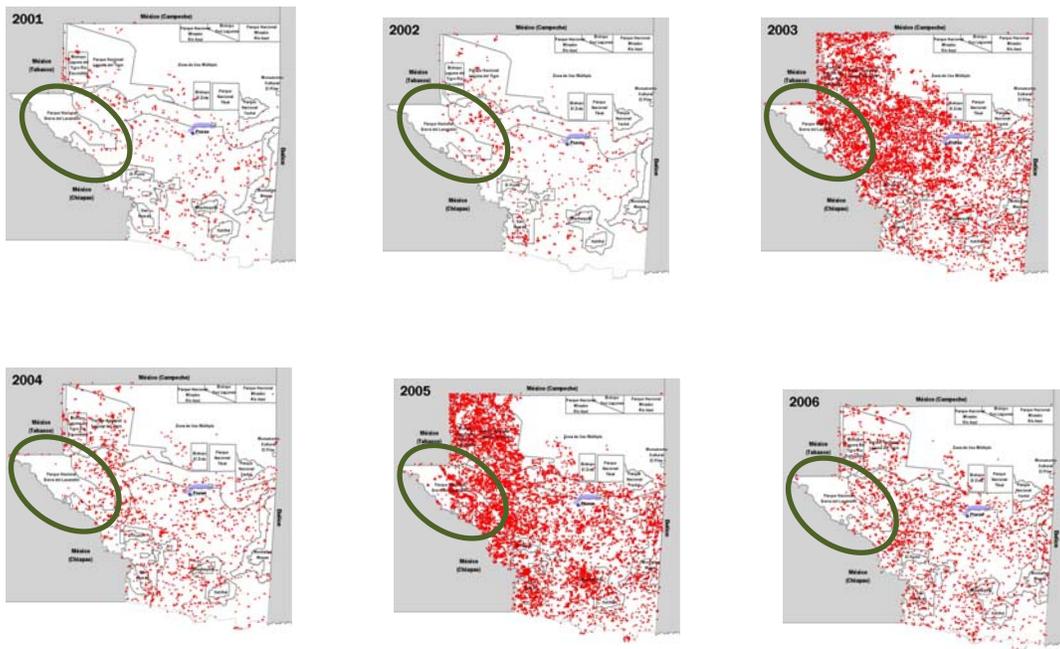
Los incendios forestales, debido a su extensión, frecuencia e intensidad, son los que han causado los principales problemas ecológicos sobre el medio ambiente, lo cual provoca el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero. Los incendios afectan de forma directa e indirecta a varios componentes del sistema: atmósfera, agua, vegetación, suelo, fauna, el paisaje, etc.

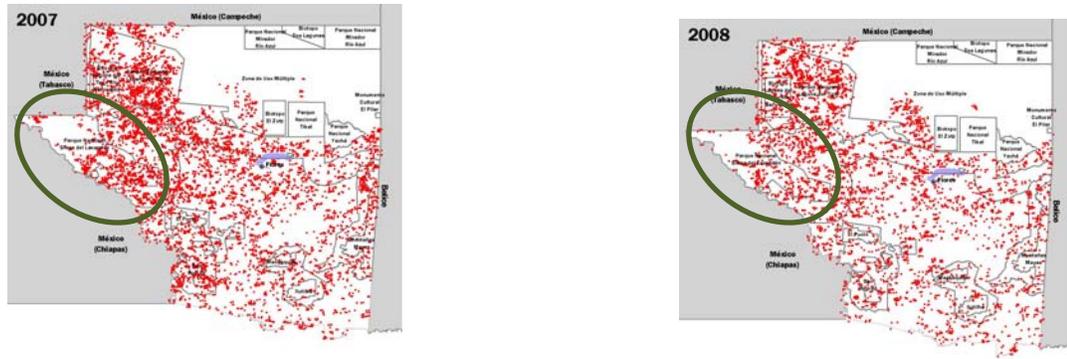
El servicio ambiental que brinda la vegetación forestal, de restar carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis y fijarlo como biomasa orgánica, evita la acumulación excesiva de carbono y conduce a mitigar el efecto invernadero. Cuando se produce un incendio forestal la biomasa acumulada se consume y el ecosistema forestal pasa de ser fijador a ser emisor de carbono (Valero et al. 2007).

Durante este proyecto, se muestrearon especies vegetales maderables y no maderables con valor comercial, las cuales se ven afectadas principalmente por los incendios forestales, pues especies como el xate desaparecen totalmente, lo que afecta a la biodiversidad del lugar, así como también a las personas que dependen de esta planta como fuente de ingreso. En cuanto a las especies maderables como caoba, cedro, ramón, amapola, santa maría, etc, generalmente los troncos no suelen consumirse, sin embargo la mayor parte de las semillas mueren. Los incendios provocan un debilitamiento de la vegetación, así como retraso del crecimiento y mayor vulnerabilidad a ser afectado por hongos o plagas.

El Centro de Monitoreo y Evaluación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas – CEMEC- realiza año con año una evaluación de la incidencia de incendios en la Reserva de Biosfera Maya. Cada año realizan un informe comparativo de la ocurrencia de los incendios forestales lo que ayuda a dimensionar la problemática en el lugar. Estos mapas se presentan a continuación:

Figura No. 5 Evaluación de incidencia de Incendios Forestales en el PNSL





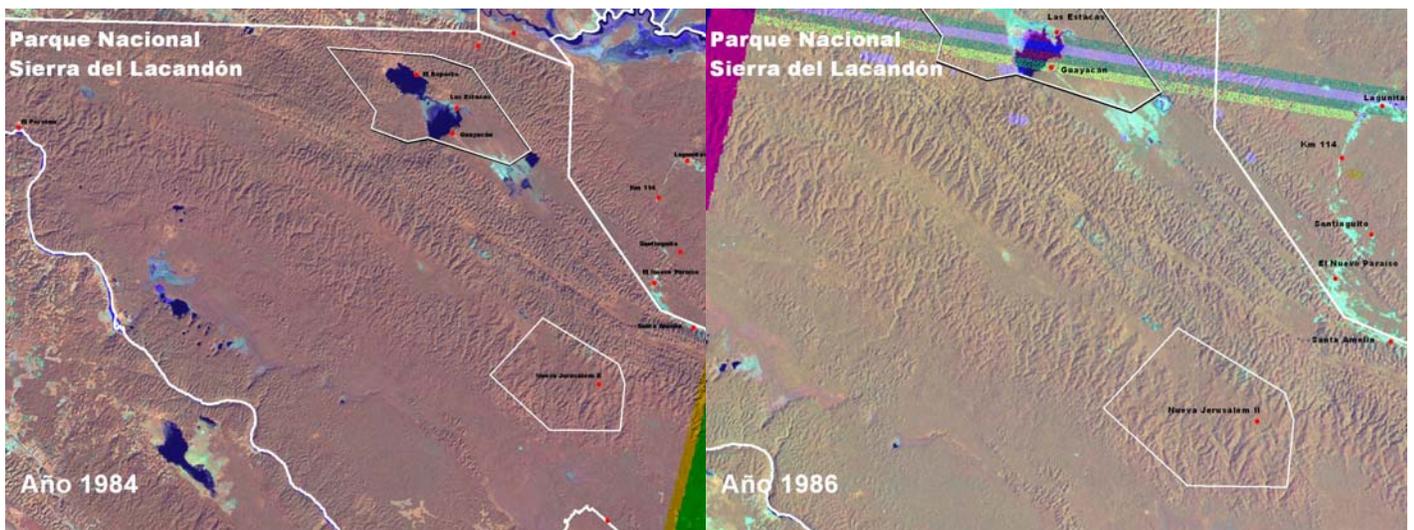
Fuente: Centro de Monitoreo y Evaluación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas CEMEC

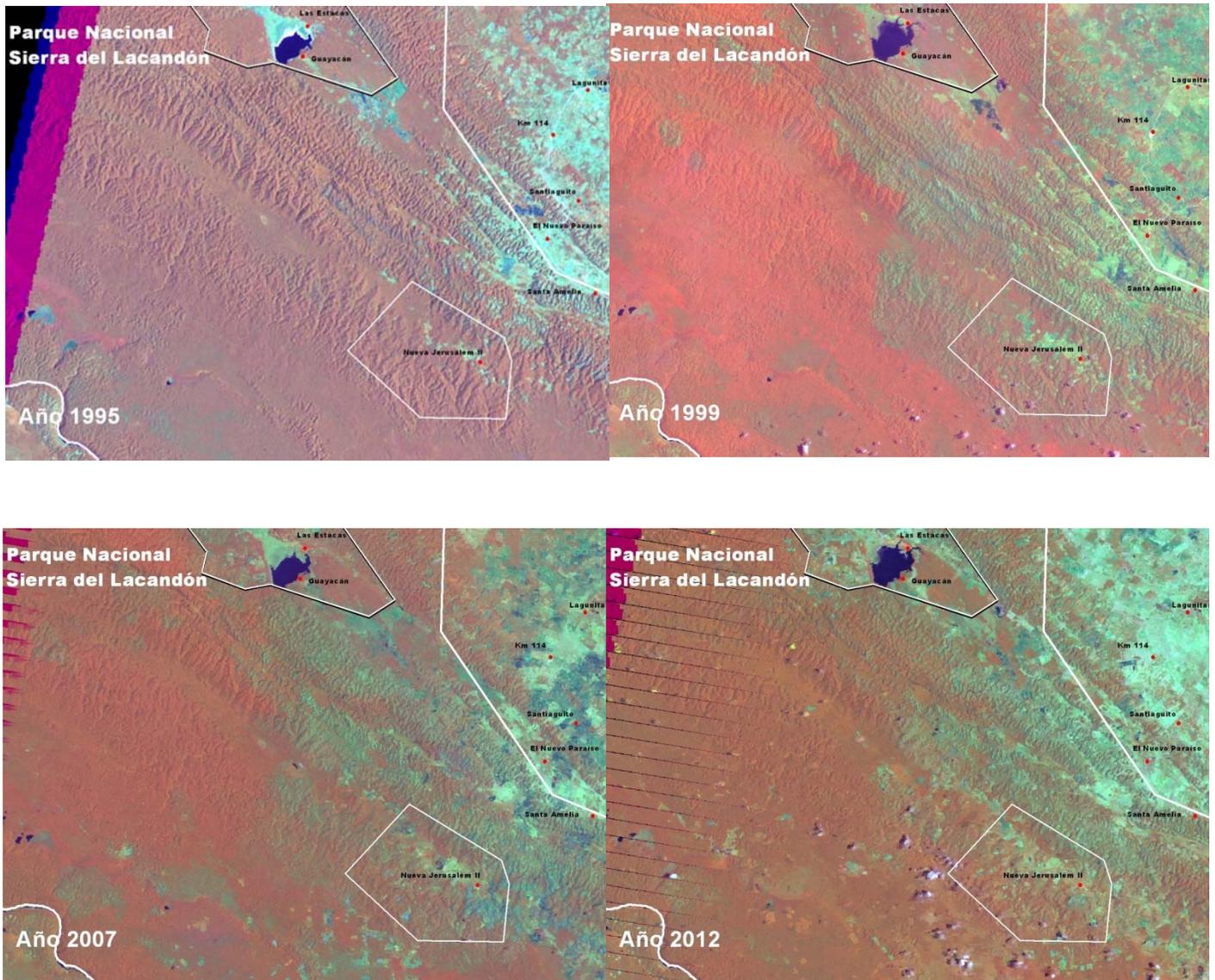
Al realizar el análisis correspondiente y analizar la información bibliográfica disponible sobre las emisiones de gases de efecto invernadero mediante los incendios forestales, se concluye que éstos, además de provocar la deforestación y la pérdida de hábitats, son también los responsables del 20% de las emisiones de dióxido de carbono que se producen como consecuencia de las actividades humanas (Bowman).

Como puede observarse en los mapas presentados por CEMEC, el PNSL es una de las áreas con mayor vulnerabilidad a los incendios forestales, debido a la presencia humana en el lugar, lo cual afecta directamente a los ecosistemas.

Con el objetivo de iniciar la implementación de un proyecto REDD (Reducción de las emisiones producto de la deforestación y la degradación ambiental), se identificaron las áreas del parque con mayor amenaza en el cambio de uso de la tierra. Se solicitaron mapas de éstas áreas a CEMEC, las cuales se muestran a continuación:

Mapa No. 7 Cambio de uso de la Tierra en el PNSL





Fuente: Centro de Monitoreo y Evaluación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CEMEC

En las imágenes se muestra como en un área del PNSL ha ido cambiando el uso de la tierra año con año, y convirtiéndose de bosque a áreas de cultivo o ganadería. Según SEGEPLAN (2008) el municipio de La Libertad en donde se encuentra ubicado el PNSL, presenta un índice medio de precariedad ocupacional, esto parte del hecho que las personas con bajo nivel educacional enfrentan restricciones de oportunidades ocupacionales. La mayoría de la población que realizan actividades relacionadas con el aprovechamiento de los recursos naturales (85.6%). Debido a las condiciones en las que estas comunidades se encuentran se puede constatar que las causas del cambio del uso del suelo y por ende de la deforestación, son los medios de vida poco favorables para la población, bajos ingresos, pocas alternativas económicas, bajo nivel educativo y una ingobernabilidad en la zona debido a la baja capacidad de respuesta.

El cambio de uso del suelo de bosque a zonas de cultivos, está basada principalmente en la necesidad de la población de satisfacer sus requerimientos alimenticios, mientras que otros están interesados en aumentar la capacidad de producción para el comercio y generar ingresos para sus familias y de esta forma completar la dieta alimenticia.

Por otro lado se encuentra la ganadería, la cual es de tipo extensivo, lo que requiere de grandes extensiones de tierra para poder mantener al ganado y poder tener una fuente de ingresos considerable (FDN 2011).

Otra causa del cambio del uso del suelo son las invasiones al área de zona núcleo del parque, las cuales están ligadas a la obtención de tierras para venta, siembra de granos básicos, establecimiento de potreros, extracción de recursos naturales y actividades relacionadas con el narcotráfico (habilitación de pistas y caminos, siembra y cosecha de marihuana) (FDN 2011).

Para comprobar si la hipótesis planteada al inicio del proyecto es aceptada o no, se realizó un análisis diferente con los datos obtenidos. Este estudio, aparte de que permitió la obtención de los datos de stock de carbono para el PNSL, también contribuyó a la construcción de la Línea Base Subnacional de Emisiones de la denominada “Tierras Bajas del Norte de Petén” que es una de las cinco líneas base planteadas para el país dentro del propuesta de preparación REDD (R-PP).

Dentro de las anotaciones técnicas para esta línea base subnacional se utilizó la metodología de “*Deforestación en Frontera No Planificada*” numero VM0015 para el Standard de Carbono Verificado VCS por sus siglas en inglés, determina lo siguiente para los inventarios de carbono.

- Biomasa arriba del suelo – árboles: Incluido. Reservorio principal de carbono en ecosistemas forestales.
- Biomasa arriba del suelo – no árboles: Excluido. Este reservorio debe ser incluido en categorías con cobertura final de cultivos perennes que tienen densidades de carbono más altas que los bosques. No se tienen evidencias que sea el caso en las Tierras Bajas del Norte de Guatemala.
- Biomasa subterránea: Incluido. Este reservorio es opcional según la metodología VM0015, V1.0 y puede ser calculado fácilmente aplicando factores de expansión (root-to-shoot ratios).
- Madera muerta: Excluido. Es un reservorio opcional según la metodología VM0015, V1.0 y su exclusión es un criterio conservador.
- Productos de madera cosechad.: Excluido. Este reservorio es obligatorio según la metodología VM0015, V1.0 pero puede ser excluido cuando no es significativo. En este caso se excluyó por comprobarse que no es significativo.

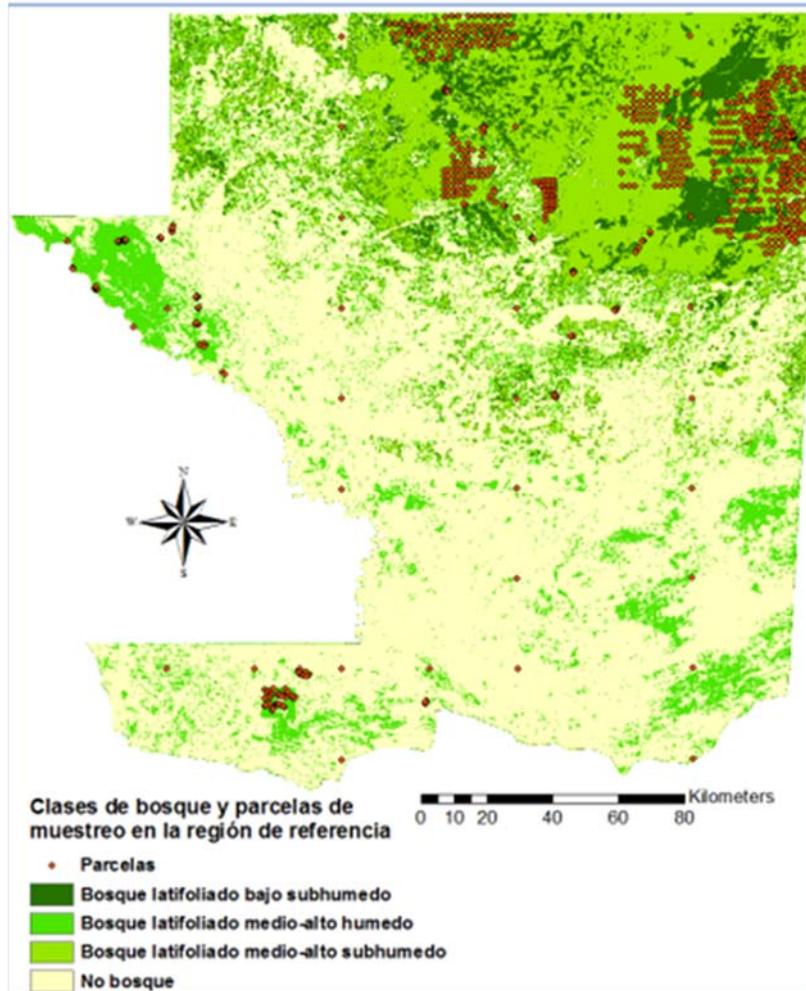
- Hojarasca: Excluido. No aplica a proyectos REDD según VCS.
- Carbono orgánico en el suelo: Excluido. Este reservorio es recomendado por la metodología VM0015, V1.0 cuando los bosques son convertidos a cultivos. En el caso de la Región de Referencia, la mayor parte de los cultivos establecidos después de la tala del bosque son temporales y son reemplazados por ganadería después de algunos años. Solamente se tiene evidencia de cultivos de palma africana, pero estos ocupan menos del 5% de las áreas deforestadas entre 2000 y 2010.

Los cálculos del contenido de carbono del inventario estratificado se realizaron usando la estratificación con los dos factores mencionados, los cuales produjeron cuatro estratos posibles (clases de bosque) dentro de la región del Petén:

- Estrato 1 (Clase 1): Bosque latifoliado bajo sub-húmedo,
- Estrato 2 (Clase 2): Bosque latifoliado medio-alto sub-húmedo,
- Estrato 3 (Clase 3): Bosque latifoliado medio-alto húmedo,
- Estrato 4 (Clase 4): Bosque latifoliado medio-alto hiper-húmedo.

El Estrato 4 no fue considerado para la estratificación final de la Región de Referencia, dado que representa un área pequeña (45,108.00 hectáreas o 1.1% de la región de referencia). Así pues, solo se consideraron los estratos 1, 2 y 3 anteriormente descritos, la pequeña extensión de área del Estrato 4 se fusionó con el Estrato 3 (ver Figura No. 6).

Mapa No. 8 Parcelas en la Región de Referencia



Fuente: Línea Base Subancional de Emisiones de la denominada “Tierras Bajas del Norte de Petén”

Para el cálculo de existencias de carbono en las clases de bosques se utilizaron datos de inventarios que cumplen con los requisitos de la metodología VM0015, V1.0. Los datos fueron aportados por las siguientes instituciones: Fundalachuá, FAO (Inventario Forestal Nacional de Guatemala), Parque Nacional Sierra del Lacandón, las concesiones forestales de Árbol Verde, Colorada, Custosel, Laborant, Pasadita, Paxbán, Uaxactún, Yaloch y el Sistema Nacional de Parcelas Permanentes de Muestreo (INAB). Los datos de parcelas de carbono o inventarios forestales colectados se resumen en T 53.

Según muestra la siguiente tabla los resultados provistos por el Parque Nacional Sierra de Lacandón fueron los adecuados según los estándares internacionales y proporcionaron información mucho más completa que los ubicados en la Reserva de Biosfera Maya.

Tabla No. 4 Datos utilizados para el cálculo de existencias de carbono en las tipos de bosques

Institución	Ubicación	Número parcelas ⁽⁴⁾	Número parcelas en cobertura boscosa ⁽⁴⁾	Reservorios ⁽⁵⁾					Nivel de resultados entregados
				Biomasa arriba suelo		B. Subterránea	Madera muerta		
				Árboles	V. Menor		En pie	Yacente	
Lachuá-Salinas	Eco-región Lachuá	65	60	X		C			Datos de árboles, cálculos por parcela.
IFN ⁽¹⁾	Todo el país, incluyendo Petén	29	16	X		C			Datos de árboles, cálculos por parcela.
PNSL ⁽²⁾	Parque Nacional Sierra del Lacandón	69	56	X	X	C	X	X	Datos de todos los reservorios y cálculos por parcela.
PPM ⁽³⁾	Todo el país, incluyendo Petén	100	94	X	X	C			Datos de árboles, cálculos por parcela.
Concesiones	Concesiones forestales	590	536	X		C			Datos de árboles, cálculos por parcela.
Total		853	762						

⁽¹⁾ Inventario Forestal Nacional

⁽²⁾ Parque Nacional Sierra del Lacandón

⁽³⁾ Parcelas Permanentes de Muestreo

⁽⁴⁾ Dentro de la región de referencia

⁽⁵⁾ X: Nivel al que fueron entregados los cálculos.

C: cálculos que se pueden realizar a partir de datos provistos.

Estos datos proveerán información sobre las densidades de carbono en la zona, que posteriormente se le aplicara un procesos de deforestación futura para conocer las emisiones por deforestación de bosques, preliminarmente el PNSL, es la zona sujeta a mayor deforestación futura en la zona lo que la hace aplicable a un proyecto REDD+, por lo que posee potencial de comercialización de bonos de carbono en el mercado voluntario internacional. Por esta razón la hipótesis planteada al inicio del proyecto es aceptada.

PARTE IV

IV.1 CONCLUSIONES

1. Se cuantificó y evaluó el stock de carbono total (tCO₂) en el PNSL en los diferentes usos de la tierra del Parque Nacional Sierra del Lacandón, el cual asciende a 41,451,600.44 toneladas de CO₂.
2. Se caracterizó y evaluó el estado de las especies de importancia biológica y económica del bosque del Parque Nacional Sierra del Lacandón, lo cual hace del área protegida un área importante para su conservación. Entre las especies con valor económico encontradas en el área de muestreo se encuentran las siguientes: *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Calophyllum brasiliense*, *Pseudobombax ellipticum*, *Terminalia amazonia*, *Vatairea lundellii*, *Lonchocarpus castilloi*, *Bucida buceras*, *L. Enterolobium cyclocarpum*, *Brosimum sp.*, las cuales se encontraron con mayor abundancia en los estratos con menos perturbación por incendios forestales.
3. El cambio de la cobertura forestal del PNSL se debe principalmente a dos usos principales, zonas de cultivos y establecimiento de pastos ganaderos, utilizando el fuego como mecanismo para abarcar más área, lo provocando aproximadamente un 20% de las emisiones de CO₂.
4. Debido al estudio realizado en el PNSL, el parque es una de las zonas con mayor deforestación en el futuro, por lo que podría comercializar el carbono en el mercado voluntario internacional, por lo que la hipótesis se acepta.

IV.2 RECOMENDACIONES

1. El stock de carbono puede variar debido a los cambios climáticos, por lo tanto, el monitoreo a largo plazo es fundamental.
2. Realizar actividades de conservación para el manejo de especies de importancia económica que se encuentran distribuidas dentro del PNSL.
3. Para realizar las mediciones de las emisiones de dióxido de carbono en el PNSL, es necesario realizar una línea base de las emisiones durante los incendios forestales y utilizar la metodología recomendada por la IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006) utilizando la fórmula
$$L_{\text{fuego}} = A * MB * C_f * G_{\text{ef}} * 10^{-3}$$
4. Aumentar el número de parcelas permanentes de carbono en el Parque Nacional Sierra del Lacandón y establecer un sistema de monitoreo.

IV.3 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Climate Action Network (CAN). (2007). *La reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal (REDD)*. Recuperado de: www.climatenetwork.org
- CCAD-FAO. (2003). *Guatemala frente al cambio climático*. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Proyecto Bosques y Cambio Climático en América Central, Serie Centroamericana de Bosques y Cambio Climático. Guatemala.
- CISDL. (2006). *Incentivizing Avoided Deforestation-a stock based methodology, Paying for Ecosystem Services-a carbon stock based approach. Submission to the COP UNFCCC in response to the call of views on the issue of avoided deforestation issued at the 11th session of the COP*. Centre for International Sustainable Development Law-CISDL. Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/2006/smsn/ngo/005.pdf>
- CONAP-FDN. (2005). *Plan Maestro 2006-2010, Parque Nacional Sierra del Lacandón*. Consejo Nacional de Áreas Protegidas-Fundación Defensores de la Naturaleza. Guatemala. 192 p.
- Cuellar, N; Rosa, H; González, M. (1999). *Los servicios ambientales del agro: El caso del café en sombra en El Salvador*. PRISMA. No. 34: 1-16.
- FAO. (2004). *Inventario Forestal Nacional 2002-2003*. Evaluación de los recursos forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. Guatemala.
- FDN. (2002). *Parcelas de medición y monitoreo de carbono, Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, campaña de recolección de datos 2002*. Fundación Defensores de la Naturaleza. Guatemala. 25 p.
- FDN, CONAP & Rainforest Alliance. (2011). *Causas y Agentes de la Deforestación en el Parque Nacional Sierra del Lacandón*. Santa Elena, Petén. 46 p.
- Freese, F. (1970). *Métodos Estadísticos Elementales para Técnicos Forestales*. Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los EE.UU. de América. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para la el Desarrollo Internacional (AID). México. 102 p.
- Fundación Solar. (2000). *Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo*. Fundación Solar. Guatemala. 31 p.
- Fundación Solar. (2008). *Mercado Voluntario de Carbono*. Fundación Solar/HIVOS. Guatemala. 33 p.

- Hoover, C.M., R.A. Birdsey, L.S. Heath and S.L. Stout. (2000). How to estimate carbon sequestration on small forest tracts. *Journal of Forestry*. September: 13-19.
Recuperado de: http://nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2000/ne_2000_hoover_001.pdf
- IARNA, URL y IIA. (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental. Guatemala. 250 p.
- INAB. (2001). *Mapa de Ecosistemas Vegetales de Guatemala; Memoria Técnica*. Instituto Nacional de Bosques (INAB). Guatemala. 39 p.
- INAB. (2004). *Boletín de estadísticas forestales 2004*. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala.
- IPCC-NGGIP. 2008. *2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4, agriculture, forestry and other land use*. Intergovernmental Panel on Climate Change-National Greenhouse Gas Inventories Programme, NGGIP Publications, 2006 IPCC Guidelines. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2001). *Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MARN. Guatemala.
- Márquez, J. (1999). *Caracterización de las comunidades vegetales del estrato arbóreo y arbustivo en la parte central del Parque Nacional Sierra del Lacandón, Peten, partiendo de la estación biológica Yaxchilán hacia la laguna el Repasto*. Universidad del Valle de Guatemala-Fundación Defensores de la Naturaleza.
- Montenegro, J; Abarca, S. (1999). Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nítrico en sistemas de producción bovina en Costa Rica. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. Turrialba, Costa Rica; FAO-CATIE, SIDE. P 151-174.
- Otárola, M; Venegas, G. (1999). Propuesta de un sistema de compensación de servicios ambientales para los robledales de la Cordillera de Talamanca. Tesis Lic. Cs. For en Manejo Forestal. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. P. 150.
- Pearson, Timothy R.H., S.L. Brown and R.A. Birdsey. (2007). *Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon*. Gen. Tech. Rep. NRS-18. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 42 p. Disponible en: <http://nrs.fs.fed.us/pubs/3292>

- Pineda, P.A. (2001). *Aplicación de inventarios forestales diversificados (productos maderables y no maderables) en la Reserva de la Biosfera Maya, Peten, Guatemala*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, Consejo Nacional de Áreas Protegidas-CONAP. Turrialba, Costa Rica. 28 p.
- PNUMA-SEMARNAT. (2004). *El Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. SEMARNAT-PNUMA-CITMA-Universidad de Sao Paulo-Ministerio de Salud y Medio Ambiente Argentina-GRID. México. 98 p.
- Schlegel, B., J. Gayoso and J. Guerra. (2008). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Universidad Austral de Chile-Proyecto FONDEF D98I1076. Recuperado de:
<http://callecalle.uach.cl/proforma/carbono/manincar.pdf>
- Smith, J.E., L.S. Heath and P.B. Woodbury. (2004). How to estimate forest carbon for large areas from inventory data. *Journal of Forestry*. July/August 2004: 25-31. Recuperado de:
http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/other_publishers/OCR/ne_2004_smith001.pdf
- Valero E; Picos J; Herrera M. (2007). Cálculo de las Emisiones de CO₂ por los Incendios de 2006 en la Provincia de Pontevedra (Galicia). WILDFIRE. Sevilla, España.
- WCS-IRG-CONAP. (2003). *Monitoreo de Incendios Forestales y Estimación de Superficies Quemadas en la Reserva de Biosfera Maya, 2003*. WildlifeConservationSociety, International ResourcesGroup, Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Peten, Guatemala. 60 p.
- World Agroforestry Centre. (2008). *Avoided Deforestation with Sustainable Benefits, A simple way to reduce carbon emissions from deforestation and degradation*. World Agroforestry Centre-ASB Partnership for the Tropical Forest Margins. Recuperado de <http://www.asb.cgiar.org/pdfwebdocs/Avoided-Deforestation-with-Sustainable-Benefits-flyer.pdf>

V.4 ANEXOS

FOTOGRAFIAS DE LOS VIAJES DE CAMPO

Equipo necesario para llevar a cabo el establecimiento de las parcelas permanentes de carbono



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009

Realizando mediciones de suelo y DAP de árboles dentro de la parcela para la medición de carbono



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009

Recolección de hojarasca y peso para establecer la cantidad de carbono



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009

Delimitación del área con cinta forestal Muestras de suelo y hojarasca para laboratorio



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009

Seña para indicar el centro de la parcela



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009



Fuente: FODECYT 030-2009

PARTE V

V.1 INFORME FINANCIERO

FICHA DE EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA							AD-R-0013
LINEA: FODECYT							
Nombre del Proyecto: "Determinación del Carbono Secuestrado y Liberado en los Bosques Naturales y Sistemas de Uso de la Tierra del Parque Nacional Sierra del Lacandón, Petén, Guatemala"							
Numero del Proyecto: 030-2009							
Investigador Principal y/o Responsable del Proyecto: ING. OSWALDO JAVIER MÁRQUEZ BARRIENTOS							
Monto Autorizado: Q265,821.60 Orden de Inicio (y/o Fecha primer pago):							
Plazo en meses: 18 meses 1a. PRORROGA AL 28/02/2011							
Fecha de Inicio y Finalización: 01/06/2009 al 30/11/2010 2a. PRORROGA AL 30/04/2011							
Grupo	Región	Nombre del Gasto	Asignación Presupuestaria	TRANSFERENCIA		Ejecutado	Pendiente de Ejecutar
				Menos (-)	Más (+)		
I		Servicios no personales					
		181 Estudios, investigaciones y proyectos de factibilidad	Q 101,600.00			Q 101,600.00	Q -
		181 Estudios, investigaciones y proyectos de factibilidad (Evaluación Estima de Impacto)	Q 8,000.00			Q 8,000.00	Q 8,000.00
		172 Impresión, encuadernación y reproducción	Q 5,000.00			Q 5,000.00	Q 5,000.00
		133 Viajes en el interior	Q 56,600.00	Q 6,000.00		Q 41,790.00	Q 9,810.00
2		MATERIALES Y SUMINISTROS					
		241 Papel de escritorio	Q 1,000.00			Q 950.00	Q 50.00
		244 Productos de artes plásticas			Q 10.50	Q 10.50	Q -
		262 Combustibles y lubricantes	Q 40,416.00		Q 6,000.00	Q 38,780.66	Q 15,635.34
		267 Tintes, pinturas y colorantes	Q 15,000.00			Q 9,630.00	Q 5,370.00
		268 Productos plásticos, nylon, vinyl y PVC	Q 2,000.00			Q 1,645.00	Q 355.00
		266 Herramientas menores			Q 980.00	Q 800.00	Q 180.00
		291 Útiles de oficina	Q 1,000.00			Q 131.15	Q 868.85
		297 Útiles, accesorios y materiales eléctricos			Q 3,000.00	Q 1,810.35	Q 1,189.65
		299 Otros materiales y suministros	Q 4,000.00			Q 4,000.00	Q 4,000.00
		PROPIEDAD, PLANTA, EQUIPO E INVIENCIBLES					
3		OTROS GASTOS					
		329 Otros suministros y equipos	Q 7,000.00	Q 3,990.50		Q 3,009.50	Q 3,990.50
		GASTOS DE ADMÓN. (10%)	Q 24,165.60			Q 24,165.60	Q -
			Q 265,821.60	Q 9,990.50	Q 9,990.50	Q 213,116.26	Q 52,705.34
		MONTO AUTORIZADO	Q 265,821.60			Disponibilidad	Q 47,705.34
		(-) EJECUTADO				Q 213,116.26	
		SUBTOTAL	Q 52,705.34				213,116.26
		(-) CAJA CHICA	Q 3,000.00	01/02/2011			
		TOTAL POR EJECUTAR	Q 47,705.34				