

Elementos técnicos para  
*inventarios de carbono*  
en uso del suelo

**Lillian Márquez**  
Fundación Solar

Guatemala, mayo 2000

**PROARCA/CAPAS**

[www.capas.org](http://www.capas.org)

## Acerca de esta publicación

*Esta publicación y el trabajo descrito en ella fueron financiados en parte por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) a través de una **pequeña donación** de PROARCA/CAPAS, como apoyo a la agenda de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), en el contexto de CONCAUSA, la declaración Conjunta entre Centroamérica y Estados Unidos (Miami, octubre de 1994) sobre la conservación del ambiente en Centroamérica.*

*Esta publicación también fue financiada en parte por HIVOS.*

*Las opiniones e ideas presentadas aquí no son necesariamente respaldadas por USAID, PROARCA/CAPAS, CCAD o HIVOS, ni representan sus políticas oficiales.*

## About this publication

*This publication and the work described in it were funded in part by the U.S. Agency for International Development (USAID) through a PROARCA/CAPAS **small grant**, as support to the agenda of the Central American Commission on Environment and Development (CCAD), in the context of CONCAUSA, the Joint Central America - USA declaration (Miami, October 1994) on conservation of the environment in Central America.*

*This publication was also funded in part by HIVOS.*

*USAID, PROARCA/CAPAS, CCAD, and HIVOS do not necessarily endorse the views and ideas presented here, nor do these views and ideas represent their official policies.*

## Presentación

CAPAS es uno de los componentes del Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA), que responde a la necesidad de apoyar la agenda de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y es financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Por sus siglas en inglés, CAPAS significa Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas.

En Centroamérica la responsabilidad de conservar y manejar adecuadamente los recursos naturales de la región recae tanto en entidades de gobierno así como en organizaciones de la sociedad civil. Se ha comprobado que las organizaciones no gubernamentales (ONGs) mantienen protagonismo constante en propuestas y acciones para conservar los recursos del área.

Consciente de este esquema y como parte fundamental del proyecto, PROARCA/CAPAS tiene como uno de sus objetivos fortalecer la participación de organizaciones, profesionales y comunidades -que conforman el sector ambientalista y social no gubernamental de Centroamérica- en actividades que beneficien a la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales de la región. Para alcanzar este objetivo, PROARCA/CAPAS a partir de 1997 ha brindado a las ONGs financiamiento bajo el esquema de pequeñas donaciones.

Para el periodo 1999-2000, PROARCA/CAPAS por medio de un proceso de competencia seleccionó a 25 ONGs de la región centroamericana para la ejecución de proyectos específicos. Dichos proyectos cubren uno o más de los siguientes temas:

- áreas Protegidas
- ecoturismo
- CITES
- tierras privadas
- agricultura y forestería proambiental
- coordinación transfronteriza
- cambio climático

Para PROARCA/CAPAS es de mucha satisfacción presentar el informe **Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo** entre los informes técnicos finales presentados por las ONGs. PROARCA/CAPAS desea agradecer a todas las organizaciones y personas que participaron en la elaboración de este trabajo.

Pequeñas Donaciones  
PROARCA/CAPAS/USAID



# Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono



en  
Uso  
del  
Suelo



**Editado por:**

*Lilian Márquez*

**Con la colaboración de:**

*Andrew Roy*

*Edwin Castellanos*

**Diseño y Diagramación:**

*Antonio Arreaga (PROARCA/CAPAS) y Mildred Arévalo (Fundación Solar).*

**Mayo de 2000****Fundación Solar****15 avenida 18-78 zona 13. Guatemala****Guatemala, Centroamérica.****Tel/Fax: 360-5776 y 93, 3601172, 3322548.****e-mail: [funsolar@intelnet.net.gt](mailto:funsolar@intelnet.net.gt)****Agradecimiento**

*La Fundación Solar desea expresar su agradecimiento al Proyecto PROARCA/CAPAS e HIVOS por el apoyo financiero brindado para la realización del presente documento.*

*A su vez desea agradecer a la Universidad del Valle de Guatemala, en especial al Dr. Edwin Castellanos por compartir su experiencia en el ámbito de la investigación en fijación de carbono en los sistemas de uso de la tierra.*

*Igual reconocimiento se quiere brindar a Winrock International, en especial a Sandra Brown, Matt Delaney y Mark Powell, por sus aportes metodológicos y constante apoyo a la discusión sobre métodos para inventarios de carbono.*

Prefacio	5
Introducción	6
El Efecto de Invernadero y el Cambio Climático	6
La Convención Marco de Cambio Climático y los Mecanismos Flexibles	7
El Mecanismo de Desarrollo Limpio	7
Los Sistemas de Uso de la Tierra como una Opción para la Mitigación del Cambio Climático	8
Métodos para la Generación de Valores de Fijación de Carbono	9
Monitorear Carbono	10
¿Por qué monitorear?	10
En los proyectos forestales, el carbono se acumula en cuatro fuentes:	10
Nivel de intensidad	10
Monitoreando otros aspectos del manejo forestal	10
Revisión de los Métodos Aplicados a Bosques y Sistemas Agroforestales	11
Diseño del inventario	11
Diseño del muestreo	11
Tamaño de la muestra	11
Equipo necesario	11
Planificación en el tiempo del inventario	12
Selección de las unidades de muestreo	12
Mapeo del área	12
Parcelas de muestreo	12
Ubicación del punto de referencia de la parcela	13
Delimitación de la parcela	14
Descripción de las fuentes a medir	14
Biomasa arriba del suelo	14
Biomasa abajo del suelo	14
Hojarasca y materia vegetal muerta	14
Suelos	14
Descripción de las mediciones	15
Inventario de los tallos leñosos > 5.0 cm en DAP y árboles muertos en pie	15
Inventario de tallos leñosos con DAP entre 2 y 5 cm	16
Muestreo de hierbas, hojarasca, suelo y tallos leñosos menores a 2.0 cm de DAP	16
Procedimiento	16
Inventario de Chequeo	17
Cálculos a realizar	17
Biomasa arriba del suelo	17
Tallos leñosos con DAP mayor a 5 cm	17
Tallos leñosos con DAP entre 2 y 5 cm	19
Maleza y Hojarasca	19
Arboles muertos en pie y troncos caídos	20
Biomasa abajo del suelo	20
Carbono contenido en el suelo	21
Estadísticas	21
Número de parcelas a establecer	22
Error de estimación	22
Avances en la Medición de Carbono en Guatemala	23
Literatura Citada y Otras Referencias Útiles	26
Referencias	26
Contactos	27
Direcciones de Internet	27
Anexos	29

## **Prefacio**

El calentamiento global y las consecuencias negativas que tendrá sobre la calidad de vida de los seres humanos ha sido un tema de discusión en los ámbitos, científico, político, económico y ambiental.

El papel que el desarrollo industrial y económico tienen en la dinámica evolutiva de nuestro sistema planetario y los impactos que tendrá sobre los recursos naturales han sido abordados vastamente como parte del diálogo y de los esfuerzos científicos de investigación. La discusión también se ha enfocado en intentar definir la manera en que el problema puede ser mitigado.

Los esfuerzos en torno a la mitigación se han concentrado en definir mecanismos que pueden ser adoptados por las partes involucradas para reducir o remover el impacto negativo que las actividades antropogénicas tienen sobre la atmósfera. La Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático ha identificado y propuesto una serie de mecanismos de mitigación.

Estos mecanismos pueden llevarse a cabo promoviendo energías más limpias, que no contaminan, o prácticas sostenibles y de conservación en sistemas de uso del suelo para que se fije el carbono proveniente de las emisiones de dióxido de carbono.

En torno a la fijación de carbono en sistemas de uso del suelo algunos de los esfuerzos, como este cuaderno, se han concentrado en generar experiencias e información que permita tomar decisiones.

En la región centroamericana es muy importante conocer y ser parte de estos esfuerzos para poder participar en una temática de relevancia global y de importancia en términos de vulnerabilidad y de oportunidades de desarrollo. Para la región centroamericana tener acceso al conocimiento generado y generar experiencias e información locales es importante, pues contribuye a formular una estrategia propia para afrontar las oportunidades y los retos asociados al problema.

Fundación Solar ha trabajado en este tema y quiere presentar en este Cuaderno de Trabajo "Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo" las experiencias que hemos podido acumular. Este esfuerzo es una recopilación en idioma español de los métodos que Winrock Internacional ha compartido con nosotros en el tema de la cuantificación del carbono en sistemas de uso de la tierra. Además también es el reflejo del intercambio de experiencias que hemos tenido con la Universidad del Valle de Guatemala. Nuestra contribución no es haber diseñado estos métodos, sino haberlos utilizado y validado en el campo, obteniendo experiencias locales que han ayudado a mejorarlos y presentarlos en el idioma español como una contribución al fortalecimiento técnico y científico de la región centroamericana.

El objetivo principal de este cuaderno es proveer a científicos y técnicos que trabajan en las dinámicas de uso del suelo los elementos metodológicos que les permitan realizar inventarios de carbono en los sistemas que estudian y cuantificar el potencial que los mismos tienen para mitigar los efectos adversos del cambio climático. Esta información puede ser de utilidad para fortalecer las investigaciones en el tema y los esfuerzos de formulación de proyectos de mitigación. A su vez se presenta una recopilación de algunos de los inventarios de carbono realizados en el país, que estamos seguros brindarán información útil para la formulación de proyectos de mitigación de cambio climático para su consideración por el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Esperamos que el aporte realizado sea beneficioso a la región centroamericana y contribuya a mejorar nuestra participación técnica en los proyectos tendientes a reducir los impactos negativos del cambio climático.

Ivan Azurdia Bravo  
Director Ejecutivo  
FUNDACION SOLAR

## Introducción

Como respuesta a la amenaza global del cambio climático, Fundación Solar ha orientado sus esfuerzos a producir experiencias locales que permitan a la región centroamericana contribuir a la mitigación del cambio climático a través de los mecanismos de mercado que se establezcan. La información presentada en “Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo” es una recopilación de las experiencias adquiridas en Guatemala en la medición de inventarios de carbono en sistemas de uso del suelo.

La información no pretende ser una guía única para el desarrollo de inventarios de carbono <sup>(1)</sup>. El objetivo de este esfuerzo es divulgar y compartir la experiencia en inventarios de carbono que se ha recopilado en el país y contar con una publicación técnica de este tipo en español. Su contenido está dirigido a técnicos y desarrolladores de proyecto que trabajan en esfuerzos de conservación y desarrollo en dinámicas de uso de la tierra en ONG's, grupos locales, empresas lucrativas o instancias de gobierno. También puede ser útil para personas interesadas en el tema con objetivos puramente científicos. Esperamos que la información y experiencias recopiladas aquí puedan facilitar el proceso de desarrollo de proyectos de mitigación de cambio climático al ofrecer una guía técnica importante para levantar un inventario de carbono en sistemas de uso de la tierra. También se espera que su contenido fortalezca los esfuerzos de investigación forestal en el país al documentar los esfuerzos hechos a la fecha en este tema y proveer una guía para el desarrollo de esfuerzos similares.

En este contexto, es que primeramente presentamos una pequeña reseña de la naturaleza del cambio climático y de las negociaciones internacionales en torno al tema. El papel de los bosques, las plantaciones forestales y sistemas agroforestales dentro de las iniciativas de mitigación es abordado y seguidamente se incluyen los elementos técnicos necesarios para desarrollar un inventario de carbono en sistemas de uso de la tierra.

## El Efecto de Invernadero y el Cambio Climático

La tierra esta cubierta por una capa de gases que deja entrar energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra. Algunos de los gases en la atmósfera - llamados los 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 de efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) que están potencialmente calentando el clima de la tierra, un proceso conocido como cambio climático. Por ejemplo, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, el GEI antropogénico más importante debido a su volumen, han aumentado en un 30% desde los tiempos pre-industrializados, con un aumento concurrente de las temperaturas globales promedios entre 0.3 y 0.6°C (IPCC, 1999).

Investigaciones científicas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero durante los últimos 10 años predicen que el cambio climático tendrá impactos negativos ambientales, sociales y económicos a nivel global. Los impactos pueden incluir 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 (Stuart y Moura Costa, 1998).

Se estima que aproximadamente 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero vienen de la quema de combustibles fósiles. La deforestación contribuye ya que la quema de bosques libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Debido a que los árboles fijan dióxido de carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y lo almacenan en su biomasa, al reducir la extensión de bosques, se reduce la capacidad para absorber las emisiones globales de los gases de efecto invernadero, que cada año aumentan más.

Para Guatemala y la región centroamericana el cambio climático traerá consecuencias graves sobre la conservación de la biodiversidad tanto en ecosistemas forestales como en los costeros, debido al aumento de

---

<sup>1</sup> Este documento se referirá a inventarios de carbono y proyectos de fijación de carbono, guiando al lector para cuantificar el contenido de carbono en sistemas de uso del suelo. El lector puede transformar valores de carbono a CO<sub>2</sub> multiplicando por 3.67. Este valor corresponde a la relación entre el peso molecular del CO<sub>2</sub> respecto del carbono.



la temperatura, los cambios en precipitación, la duración y frecuencia de sequías y al aumento del nivel del mar. El Fondo Mundial para la Naturaleza desarrolló un análisis de posibles escenarios de cambio climático para Mesoamérica encontrando resultados muy interesantes. El análisis sugiere que el nivel del mar en la región podrá aumentar entre 2 y 10 cm por década y la temperatura promedio sufrirá un aumento, mayor en México que en las islas caribeñas, pero generalizado. De acuerdo con el mismo análisis, se estima que las sequías predominarán, siendo el sur de México y Guatemala los países más afectados. Las lluvias anuales también se espera que disminuirán. Esto tiene severas consecuencias sobre el hábitat para muchas especies y sobre los procesos productivos humanos (Hulme, M., N. Sheard. 1999).

Guatemala se encuentra consolidando su posición frente al cambio climático, evaluando su vulnerabilidad respecto del fenómeno. También su posición como emisor de GEI y su posición como potencial mitigador de emisiones están siendo determinadas. El país cuenta con un inventario nacional de GEI para el año 1990 que reporta para el país una emisión de más de siete millones de toneladas anuales de dióxido de carbono (CONAMA, 1999). Este nivel se compara con las emisiones de Los Estados Unidos que estimó para el año 1990 una emisión de más de 4 billones de toneladas anuales (CONAMA, 1999). Guatemala no pertenece al grupo de países que debido a la magnitud de sus emisiones debe establecer medidas de mitigación, pero es importante conocer nuestra contribución y contar con una estrategia para optar por vías de desarrollo más limpias.

### **La Convención Marco de Cambio Climático y los Mecanismos Flexibles**

Desde 1979 el problema del cambio climático ha sido conocido por científicos alrededor del mundo y la comunidad internacional ha empezado a tomar medidas para estabilizar los niveles atmosféricos de los gases de efecto invernadero.

En 1992 en la Conferencia para el Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU en Brasil, fue presentada la Convención Marco de Cambio Climático (CMCC). La CMCC tiene como objetivo estabilizar las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero a un nivel que prevenga los impactos peligrosos de las actividades humanas en el sistema climático. La CMCC no es un documento completo, sino una serie de protocolos que coordinan las negociaciones al nivel internacional. El Protocolo de Kioto firmado en Diciembre de 1997, que es el protocolo más importante hasta la fecha, incluye límites legalmente vinculantes para las emisiones de GEI de los países industrializados (países incluidos en el Anexo B del Protocolo). Aunque los límites para cada país son diferentes, el protocolo compromete a los países industrializados a reducir, en conjunto, las emisiones de GEI en 5% bajo de los niveles del 1990 (el año base), durante el período comprendido entre los años 2008 a 2012 (Brown, 1998). Los países en desarrollo (países no incluidos en el Anexo B) no están obligados por el protocolo a comprometerse con límites de emisiones.

El protocolo de Kioto estableció 3 mecanismos para facilitar lograr los objetivos de la CMCC, y ayudar a los países industrializados alcanzar sus límites, éstos conjuntamente se llaman “mecanismos flexibles”. Estos mecanismos son: Implementación Conjunta, el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Intercambio de Emisiones y Créditos. En términos de proyectos de fijación de carbono en países en desarrollo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio es el mecanismo flexible relevante.

### **El Mecanismo de Desarrollo Limpio**

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) fue establecido por el Artículo 12 del Protocolo de Kioto y se refiere a proyectos para la mitigación de cambio climático llevados a cabo entre los países industrializados (Países Anexo B) y los países en desarrollo (países no incluidos en el Anexo B). Los propósitos del MDL consisten en asistir a los países del No Anexo B a alcanzar el desarrollo sostenible, contribuir al objetivo de la CMCC de estabilizar las concentraciones atmosféricas de GEI, y asistir a los países del Anexo B para alcanzar las metas de mitigación.

El MDL responde a las necesidades de las naciones del Anexo B al ofrecerles opciones de bajo costo y más flexibles para alcanzar las medidas de mitigación, mientras que provee una fuente de capital para financiar el

desarrollo limpio y energético-eficiente y para promover actividades con el potencial de reducir la deforestación y la degradación de bosques en los países No Anexo B.

Para usar el Mecanismo de Desarrollo Limpio se debe demostrar que el proyecto sea adicional a lo que hubiese sucedido sin el apoyo del MDL y que tenga el apoyo del gobierno anfitrión. El MDL permite ahorrar créditos desde el año 2000, 8 años antes del período comprendido (2008 a 2012). Esto es muy importante porque crea un incentivo para que los proyectos del MDL empiecen lo antes posible.

Hasta ahora el MDL no contiene una mención explícita referente a los proyectos de uso de la tierra y de bosques, no quedando claro qué tipo de iniciativas son permitidas. Esto debe ser definido en la próxima Conferencia de la Partes (COP6) en el 2000. El Panel Intergubernamental para Cambio Climático (IPCC) está a cargo de la elaboración de un documento sobre carbono y los proyectos de uso de la tierra. Este documento de naturaleza científica servirá de base para decidir en la COP 6.

## **Los Sistemas de Uso de la Tierra como una Opción para la Mitigación del Cambio Climático**

Mientras que la causa principal del aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera son el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento, los ecosistemas terrestres juegan un papel importante en el ciclo global del carbono. Una política exitosa para el cambio climático debe tomar en consideración las dinámicas del ciclo terrestre del carbono. Modelajes del cambio climático global sugieren que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución sustancial a controlar los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Otras actividades de uso de la tierra y bosques que pueden contribuir incluyen: conservación de bosque en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, aforestación, reforestación o promoción de agroforestería. Debido a que el suelo almacena cantidades considerables de carbono, las prácticas que promueven un aumento en el carbono orgánico del suelo también pueden tener un efecto positivo de fijación de carbono (Stuart y Moura Costa, 1998).

Investigaciones recientes indican que los bosques, aún en pie, del mundo fijan por lo menos el 25% del dióxido de carbono proveniente de la combustión de combustibles fósiles (Malhi, Baldocchi y Jarvis, 1999). La mayoría de los modelos climáticos también indican que los sumideros terrestres de carbono aumentarán durante la primera mitad del presente siglo debido a una expansión en la cobertura forestal. En el sector de uso de la tierra y bosques se han identificado dos estrategias principales para acumular carbono. La primera es aumentar la fijación de carbono al crear o mejorar sumideros. La segunda es prevenir o reducir la tasa de liberación del carbono ya fijado en sumideros existentes. Estas estrategias pueden denominarse “fijación de carbono” y “no emisión de carbono” respectivamente. Actividades de fijación de carbono 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 quemadas controladas.

Respecto de plantaciones forestales como fijación de carbono, es muy importante saber catalizar los espacios que se abren para la promoción de actividades sostenibles en el ámbito de uso de la tierra y bosques. Los cálculos tradicionales de costo beneficio pesan fuertemente en contra de todo tipo de reforestación. Sin embargo, los pagos por fijación de carbono, pueden ayudar a equilibrar la economía de las plantaciones forestales. Ahora se reconoce que los retos económicos de una plantación -que generalmente tienen una tasa interna de retorno muy a largo plazo- han inhibido mucha de la inversión potencial en esta actividad. Adicionalmente, los costos capitales altos y la falta de ganancias en los primeros años favorecen el establecimiento de monocultivos con altas tasas de rendimiento, rotaciones cortas y políticas de costos mínimos de administración, éstos pueden ser ambientalmente problemáticos (Stuart y Moura Costa, 1998).

A pesar de que la industria de los productos forestales está aumentando su dependencia en plantaciones forestales, la mayoría de los estudios indican que el desarrollo de plantaciones aún comprende sólo una fracción de la corta anual de bosques, generando el temor acerca de que no hay suficiente inversión para liberar la presión

sobre los cada vez menos bosques primarios (FAO, 1991 en Stuart y Moura Costa, 1998). Las inversiones de mecanismos flexibles pueden, en teoría, hacer financieramente viables, aquellas actividades productivas con crecimiento más lento. También, pueden hacer posible escoger rotaciones más largas o usar un rango de especies más amplio que eucalipto, pino y teca, que en este momento forman el 85% de todas las inversiones en plantaciones en el trópico (FAO, 1991 en Stuart y Moura Costa, 1998).

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 dióxido de carbono. Los bosques naturales almacenan mayores cantidades de carbono que las plantaciones forestales y proveen mayores beneficios a la biodiversidad. Promover la protección de los bosques, especialmente aquellos ya en etapas clímax de sucesión, evita la emisión del carbono contenido en el sumidero. Estos bosques sufren amenazas alarmantes para su conversión a otros usos de la tierra. Prevenir este cambio de uso, brinda la oportunidad más inmediata para prevenir la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera. Esta conservación de bosques se puede lograr a través de dos actividades diferentes pero vinculadas: (1) establecer reservas “intocables” de tierra con bosques y (2) aumentar la productividad agrícola y promover la agroforestería como medidas para evitar la amenaza sobre los bosques debido a necesidades alimentarias y de combustibles (Stuart y Moura Costa, 1998).

Las actividades que busquen aumentar el potencial de fijación de sumideros de carbono a través de aumentar la productividad agrícola o promover la agroforestería son importantes para la región centroamericana debido a que se complementan con esfuerzos de desarrollo rural sostenible. Centro América debe buscar promover el desarrollo de proyectos de mitigación que contengan parámetros de desarrollo rural y sostenibilidad como parte del diseño de proyecto.

## **Métodos para la Generación de Valores de Fijación de Carbono**

Muchos esfuerzos de investigación se han centrado alrededor de los dilemas del cambio climático y el papel de los sistemas de uso de la tierra en la temática. La generación de valores de fijación de carbono en sistemas de uso de la tierra se ha hecho tanto en el nivel científico como en el nivel más técnico relativo al desarrollo de proyectos de mitigación.

La literatura y las experiencias en el desarrollo de proyectos reportan diferentes maneras de enfrentar la obtención de números para el potencial de fijación de carbono. Algunas experiencias exitosas en el desarrollo de proyectos de mitigación han abordado el tema de los valores de fijación tomando valores de la literatura y haciendo una serie de suposiciones que les permite calcular potencial de fijación. Estos esfuerzos se podría decir estiman los valores de carbono, obteniendo valores razonables pero que necesitan verificación de campo. Otras experiencias han optado por recurrir a mediciones físicas para obtener los valores de fijación. Estos esfuerzos miden 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.

La publicación “A Primer for Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests” hecho por Sandra Brown para la FAO en 1996 presenta los métodos disponibles para estimar la densidad de biomasa en bosques tropicales usando información forestal existente. Si el desarrollador de proyecto prefiere explorar esta manera de cuantificar el carbono, debe consultar esta publicación u otras similares. Además de los métodos algunos ejemplos, y valores estándar que pueden usarse, el documento incluye los métodos que se necesitan si se quieren hacer mediciones en el campo, en vez de estimar.

Winrock Internacional, una ONG basada en Estados Unidos de América, ha desarrollado investigaciones en el nivel técnico para abordar esta temática en el ámbito del desarrollo de proyectos. El Programa Internacional de Monitoreo del Carbono desarrollado por Winrock busca refinar métodos 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 también 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.

Los métodos descritos a continuación se basan en los procedimientos documentados por Winrock, pero también incluyen las experiencias del equipo de Fundación Solar y los métodos y experiencias de la Universidad del Valle de Guatemala. Si el lector desea consultar los métodos diseñados por Winrock puede hacerlo visitando la página de internet de la organización, donde se puede acceder el documento (en idioma inglés).

### **Monitorear Carbono**

#### ***¿Por qué monitorear?***

Existen dos razones para llevar a cabo el monitoreo

- (1) Es un requisito lógico de los proyectos de mitigación; y
- (2) medir el impacto de los proyectos permite cuantificar el servicio ambiental que probablemente implique beneficios económicos en un futuro cercano.

#### ***En los proyectos forestales, el carbono se acumula en cuatro fuentes:***

- \* biomasa arriba del suelo: tallos leñosos con DAP<sup>(2)</sup> >5cm, vegetación herbácea y tallos leñosos con DAP <5cm
- \* biomasa abajo del suelo: sistema radicular
- \* hojarasca y otra materia vegetal muerta
- \* suelos

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 muestreo como un medio para obtener datos estadísticamente más confiables y reducir costos para llevar a cabo el monitoreo y verificación. Estas parcelas permiten evaluar eficientemente los cambios en la fijación de carbono.

Obtener los mismos resultados con otras maneras de llevar a cabo el inventario requeriría sustancialmente más tiempo y gasto. Todo inventario forestal debe ser diseñado específicamente para adecuarse al sitio del proyecto, el presupuesto para realizar el inventario y el valor del carbono.

#### ***Nivel de intensidad***

1. Básico: estimado muy general y barato del carbono fijado con parcelas medidas al inicio y final del proyecto (cosecha) Se utiliza modelaje para los estimados entre las mediciones (mediciones con 30% de error de la media estimada)
2. Moderado: este nivel provee estimados dentro del 20% de la media. La intensidad de muestreo aumenta, monitoreando cada 2-3 años hasta la cosecha final.
3. Alto: este nivel provee estimados 10-15% de la cantidad de carbono fijada, debido a un monitoreo anual de las parcelas.

#### ***Monitoreando otros aspectos del manejo forestal***

Para maximizar la utilidad de la información colectada y reducir los costos, los diferentes objetivos de manejo deben ser definidos con anterioridad para hacer más efectivo el inventario. El inventario de carbono puede mejorar el monitoreo de las especies maderables de valor comercial, y otras medidas de manejo sostenible

---

<sup>2</sup> DAP se refiere al diámetro a la altura del pecho (1.37 m). Esta medida se ha establecido en las ciencias forestales como el estándar para las mediciones en árboles. También es muy útil para definir qué es un árbol. Para los objetivos del inventario de carbono en este documento un árbol es un tallo leñoso con DAP igual o mayor a 5 cm.

como por ejemplo, muestrear poblaciones de fauna, diversidad biológica, y tasas de producción de otros productos no maderables. Se pueden estudiar flujos de nutrientes y otras tendencias.

El sistema de métodos está diseñado para proveer mediciones técnicas del carbono almacenado en la biomasa forestal y suelos con costos apropiados a los beneficios posibles. El sistema es flexible en el método de muestreo y la frecuencia de la colecta de datos. El uso de imágenes satelares provee estimados de uso de la tierra y la base para mapear el inventario. El uso de métodos estándares para hacer las mediciones mejora la comparabilidad de los estimados de fijación de carbono y la aceptabilidad de los resultados por parte de especialistas técnicos.

### **Revisión de los Métodos Aplicados a Bosques y Sistemas Agroforestales**

#### **Diseño del inventario**

La unidad de muestreo es la parcela permanente de muestreo y el marco de muestreo (total de unidades de muestreo) es el área del proyecto, excluyendo zonas de amortiguamiento y áreas que no son sumideros de carbono para usos del proyecto.

#### **Diseño del muestreo**

Para inventarios de carbono usualmente se usa el muestreo estratificado al azar ya que provee estimados más precisos por un costo fijo que las otras opciones disponibles.

#### **Tamaño de la muestra**

Se debe escoger el nivel de precisión con mucho cuidado y con anticipación ya que éste tiene un efecto directo en los costos. Una vez se haya establecido el nivel de precisión, se debe calcular el tamaño de la muestra para cada estrato y para cada fuente de carbono. El inventario de carbono es más complicado que el inventario forestal tradicional ya que cada fuente de carbono puede tener una varianza diferente. Por ejemplo, mientras que el error estándar para la media de la biomasa arriba del suelo sea 20%, si el mismo tamaño de la muestra se usa para suelos, el error puede ser 40% y para biomasa abajo del suelo 80%. Para simplificar el diseño de muestreo, el tamaño de muestra para cada fuente de carbono se debe determinar por separado. Después de esto, el coordinador de inventario puede decidir cuantas muestras coleccionar para cada fuente.

Es conveniente aumentar en un 10 ó 20% el número de parcelas ya que muchas no podrán ser reubicadas por diversas razones, lo que puede afectar grandemente el monitoreo o verificación.

#### **Equipo necesario**

Para levantar un inventario de carbono se necesita el siguiente equipo:

1. Mapas y/o fotografías con ubicación de las parcelas y sus coordenadas
2. Lápices, marcadores, sacapuntas
3. Listones para marcar linderos y estacas
4. Formularios de campo, instrucciones de monitoreo
5. Equipo para lluvia
6. Equipo de seguridad como maletín de primeros auxilios, linternas, repelente de insectos
7. Pieza de 50cm por 50cm de malla galvanizada de 5mm
8. Bolsas de papel o tela para muestras de hojarasca, vegetación herbácea y suelos.
9. Engrapadora para sellar las bolsas con muestras
10. Cilindros para densidad aparente y un martillo
11. Cinta métrica de 30 m
12. Cinta diamétrica
13. Brújula
14. Clinómetro
15. Balanzas en gramos para muestras de vegetación

16. Tijera y serrucho para podar
17. Pala para colecta de muestras de suelo
18. Cubeta para muestras de suelo
19. Pieza de plástico para colectar y homogenizar muestras
20. Geo-posicionador (GPS)

#### ***Planificación en el tiempo del inventario***

Los inventarios no pueden tomar en cuenta las fluctuaciones en las fuentes de carbono debido a que son fotografías instantáneas del carbono presente en el momento del inventario. Por lo tanto la planificación en el tiempo del inventario es muy importante, además el inventario debe realizarse cuando los equipos de campo pueden trabajar de la manera más eficiente y con seguridad.

Para eliminar las estaciones del año como una fuente de variación, los inventarios subsiguientes deben planificarse para la misma temporada en que fue hecho el primer inventario.

#### ***Selección de las unidades de muestreo***

La ubicación de las parcelas puede hacerse al azar o sistemáticamente. Usualmente se usará el muestreo estratificado al azar. Las unidades de muestreo varían de acuerdo con el tipo de proyecto; en un inventario de bosques, las unidades serán sitios escogidos de acuerdo con la cuadrícula de coordenadas del área, mientras que en sistemas agroforestales pueden referirse a parcelas productivas ubicadas en propiedades privadas.

Una muestra preliminar de sitios es visitada para determinar el tamaño de la muestra total requerida. Esto se hace con tres sitios por estrato, se levanta todo el inventario, se calcula la varianza y con ésta, la  $n$  de muestreo.

Posteriormente, los sitios de muestreo se seleccionan con números al azar de acuerdo con el  $n$  de muestreo, se incluyen suficientes para que haya alternativas como prevención en la eventualidad de no poder muestrear algún sitio seleccionado. Es importante ubicarlos en un mapa.

#### ***Mapeo del área***

La ubicación de las parcelas debe marcarse en un mapa, fotografías aéreas o imágenes satelares. Este mapa es esencial para uso en el campo y para posteriores visitas de monitoreo y verificación. Usar un sistema de información geográfica y geo-posicionadores reduce el error.

#### ***Parcelas de muestreo***

Las parcelas de muestreo pueden ser circulares, cuadradas o rectangulares. También puede variar la extensión que cubren.

De acuerdo con el tamaño del área de proyecto y las características de los estratos se decidirá el tipo, tamaño y número de parcelas que pueden establecerse. Los lineamientos que se utilicen para determinar el tipo de parcela dependen de las condiciones del área de proyecto y también de los técnicos responsables del mismo. Si el proyecto involucra áreas donde se ha hecho algún tipo de monitoreo forestal es recomendable que se continúe trabajando con los mismos lineamientos. Los miembros del equipo a cargo de los números de carbono en sistemas de uso de la tierra, generalmente son profesionales de las áreas forestales, agrícolas o biológicas. El entrenamiento de estos individuos condicionará los lineamientos utilizados para diseñar el esfuerzo de muestreo. La información presentada tiene como finalidad asistir en la toma de decisiones respecto del diseño del inventario. En sistemas agroforestales Winrock Internacional utiliza parcelas de 500 metros cuadrados de forma circular. En su experiencia, Winrock ha encontrado que para algunos sistemas agroforestales donde se encuentran árboles de mayor tamaño, dispersos en el sistema, parcelas concéntricas que usen una parcela de mayor extensión para medir los árboles mayores es una buena decisión. En algunos sistemas agroforestales, la tierra productiva se encuentra muy fragmentada y en algunos casos ha sido necesario utilizar parcelas de 250 metros

debido al área reducida disponible por unidad productiva. En bosques, el esquema de parcelas que mejor ha funcionado son parcelas concéntricas.

Las parcelas concéntricas consisten en parcelas de forma circular con diferentes radios. Las parcelas se diseñan para muestrear la maleza, la hojarasca y el suelo en una parcela de 1 metro cuadrado (radio de 0.56 m) después se miden los diámetros entre 2 y 5 cm de DAP en una parcela de 25 metros cuadrados (radio de 2.82 m), los árboles con DAP entre 5 y 20 cm en una parcela de 500 metros cuadrados y posteriormente los árboles con diámetro mayor a 20 cm en una parcela de por lo menos 14 metros de diámetro. De esta manera se hace eficiente el esfuerzo de muestreo, al contar con áreas acordes con la variable a medir de manera que el muestreo no se vuelve demasiado tedioso o complicado pero a la vez, se logran números representativos del área.

La Universidad del Valle de Guatemala utiliza el esquema de parcelas concéntricas también, pero ellos usan parcelas cuadradas en vez de circulares. Con esta diferencia, las parcelas que establecen son de 1 metro cuadrado para maleza, hojarasca y suelo, 25 metros cuadrados para diámetros entre 2 y 5 cm de DAP y una parcela de 625 metros cuadrados para los diámetros de 5 cm en adelante. A diferencia de parcelas circulares, donde los radios de todas las parcelas tienen su origen en un punto en el centro, en el esquema de parcelas cuadradas se busca que todas las parcelas tengan una esquina en común.

El Cuadro 1 muestra diferentes radios de parcelas circulares de acuerdo con el área respectiva y algunas sugerencias respecto de que aplicaciones pueden tener.

#### **Ubicación del punto de referencia de la parcela**

Cuando se trabaja con parcelas permanentes de muestreo, es muy importante marcarlas de manera que sea fácil volver a ubicarlas para los esfuerzos de monitoreo. Con esto en mente se debe buscar que quede documentada su posición geográfica y también que se cuente con marcadores físicos adecuados en la parcela en sí. Lo siguiente es una lista de parámetros que se considera son útiles para este fin:

1. Bosquejo del área en la que se encuentra ubicada, incluyendo caminos o veredas para regresar al sitio, coordenadas del área o accidentes geográficos importantes marcados con GPS.
2. Si se está trabajando en parcelas productivas es conveniente registrar las esquinas de la propiedad con el GPS.
3. Estacas permanentes enterradas a una profundidad considerable y con suficiente altura sobre el nivel del suelo en el centro y marcada conspicuamente.
4. Coordenadas del punto de referencia de parcela marcados con el GPS.

**Cuadro 1**  
**Tamaño de parcelas de muestreo circulares y aplicaciones sugeridas**

Tamaño de parcela (m <sup>2</sup> )	Radio de parcela (m)	Aplicación
100	5.64	Vegetación muy densa, rodales con gran número de tallos de diámetros pequeños, distribución uniforme de tallos mayores.
250	8.92	Vegetación leñosa moderadamente densa.
500	12.62	Vegetación leñosa moderadamente esparcida.
666.7	14.56	Vegetación leñosa esparcida. Diámetros mayores.
1000	17.84	Vegetación leñosa muy esparcida. Diámetros mayores.

(MacDicken, 1997)

### ***Delimitación de la parcela***

No importando si el diseño a utilizar involucra parcelas circulares o cuadradas, se utiliza la cinta métrica para recorrer la distancia correspondiente al radio o al lado de la parcela. Si es el radio, se deben marcar en los cuatro puntos cardinales, mientras que si lo medido son los lados, las esquinas deben marcarse conspicuamente. Marque los límites de la parcela con estacas en los cuatro puntos. Si la pendiente del terreno es mayor a 10% se debe corregir la distancia con ayuda de un clinómetro.

### ***Descripción de las fuentes a medir***

#### ***Biomasa arriba del suelo***

La biomasa arriba del suelo está compuesta por los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea. Estos componentes de la biomasa se muestrean en parcelas de proporciones acordes a cada tipo de vegetación. Es muy importante hacer notar que el componente más importante de esta fuente son los árboles. En las experiencias de Fundación Solar, la maleza, por su muy baja contribución en términos de fijación, puede dejar de muestrearse. Esto es una decisión del equipo técnico, pero como una recomendación, a menos que el sistema a evaluar tenga un componente fuerte de vegetación herbácea, no es necesario muestrear este componente.

#### ***Biomasa abajo del suelo***

La biomasa abajo del suelo se refiere a las raíces de la vegetación del ecosistema estudiado. Un método sencillo es estimar muy conservativamente este valor, basado en valores ya existentes o calculando un porcentaje de la biomasa arriba del suelo. Sin embargo hay varias situaciones en la que es posible medirla y resulta importante y costo efectivo.

#### ***Hojarasca y materia vegetal muerta***

La hojarasca y otra materia vegetal muerta se refiere a vegetación que se encuentra en proceso de descomposición. Esta fuente de biomasa se mide de dos maneras. La hojarasca en sí, se colecta del suelo, en el área de la parcela donde se midió la vegetación herbácea, teniendo cuidado de colectar toda la capa de materia en descomposición incluyendo el humus y materia vegetal muerta que no esté en proceso de descomposición aún. La otra materia vegetal muerta se refiere, más que todo, a árboles muertos ya sea en pie o caídos.

Los árboles muertos en pie o caídos se deben medir en las parcelas correspondientes a los diámetros respectivos de árboles vivos. A estos árboles se les debe medir el DAP y la altura. Si están caídos se deben medir dos diámetros en el tronco (en los extremos) y la longitud. Estos valores después se utilizan para calcular biomasa usando la ecuación de volumen de un cilindro y la densidad de la madera. De esta fuente de carbono, los troncos son el mayor contribuyente a los sumideros y por lo tanto se debe poner mucho cuidado en estas mediciones.

#### ***Suelos***

Al medir el suelo se busca identificar cuál es el contenido de carbono en los primeros 30 cm de profundidad. Para esto se utiliza una muestra para determinar materia orgánica y densidad aparente que permiten calcular carbono orgánico por unidad de área.

Los suelos son importantes fijadores a largo plazo. Se ha encontrado que el cambio de uso de la tierra de bosque a agricultura puede reducir a la mitad el carbono fijado en esta fuente en tan sólo 10 años de cultivos continuos.



### Descripción de las mediciones

Durante todo el proceso de levantamiento del muestreo es conveniente que un miembro del equipo permanezca en el centro de la parcela para tomar todos los datos. En los Anexos se encuentra una copia del formulario de colecta de datos usado por Fundación Solar. Además en los Anexos se puede consultar un Diagrama de Flujo que ilustra el procedimiento de cuantificación de carbono.

#### **Inventario de los tallos leñosos > 5.0 cm en DAP y árboles muertos en pie**



Foto: Fundación Solar/Andrew Roy.

*Félix Cholotío trabaja en el inventario de carbono en la Cuenca Sur de Atitlán. Septiembre de 1999.*

1. En el norte de la parcela y moviéndose a favor de las manecillas del reloj, se registra el DAP y el tipo de árbol de todos los tallos > 5.0 cm. de DAP que se encuentren dentro de la parcela. Se deben medir (DAP y altura) de los árboles muertos en pie. Si el equipo de trabajo lo considera adecuado, también se puede registrar la altura de los árboles vivos, esto es útil únicamente si se desea utilizar una ecuación de biomasa de dos entradas. Este tema será abordado con mayor detalle en la siguiente sección. El dato acerca del tipo de árbol es útil para identificar cómo deben utilizarse los datos colectados en los cálculos. Por ejemplo los tipos pueden ser árbol vivo y árbol muerto y así saber qué ecuación aplicar.

2. Para los árboles que se encuentren en los límites de la parcela, si más de la mitad del tronco cae dentro de la parcela, el árbol se cuenta; si más de la mitad del tronco cae fuera de la parcela, entonces el árbol no se toma en cuenta. Si el límite de la parcela coincide con el centro del árbol, se tira una moneda. Si cae cara, el árbol se cuenta; si cae escudo el árbol no se cuenta.

3. La distancia corregida de la pendiente debe ser calculada para los árboles en el límite de la parcela y también para árboles que se encuentran justo afuera de la parcela si la pendiente es mayor que el 20%. Para hacer esto determine el ángulo de la pendiente desde el centro de la parcela hacia el árbol en cuestión con un clinómetro. Después, multiplique el coseno del ángulo (provisto en una tabla impresa en el clinómetro) por la distancia aparente. El valor

resultante es la verdadera distancia horizontal. Use este valor para determinar si el árbol está dentro o fuera de la parcela.

4. Aparte durante este esfuerzo también es importante medir todos los árboles caídos, ya sean éstos árboles completos o secciones de árboles mayores. Para estos árboles se debe registrar el DAP y la longitud. Para los caídos, se miden los diámetros de los extremos y la longitud.

5. Los árboles con DAP grandes (es decir de 20 cms en adelante) deben ser medidos con mucho cuidado, ya que su contribución al carbono fijado es considerable y una mala medida puede llevar a sobreestimar o subestimar considerablemente la biomasa del árbol.

6. Al medir el DAP se debe aproximar el valor al primer decimal que indique la cinta diamétrica. Las otras mediciones involucradas en el inventario pueden redondearse a enteros y no incluir decimales, pero para los valores de DAP es conveniente que incluyan el primer decimal. En los Anexos se pueden consultar diagramas que indican la manera correcta de medir el DAP.

### **Inventario de tallos leñosos con DAP entre 2 y 5 cm**

En la parcela de tamaño intermedio se mide el DAP de tallos leñosos con DAP entre 2 y 5 cm (u otro rango similar que se considere adecuado). En esta parcela el objetivo primordial es medir vegetación como palmeras u otros tallos leñosos que pueden estar presentes dentro del sistema muestreado y que si se midieran en un área mayor, ocasionarían problemas de sobremuestreo y de eficiencia (pues el tiempo necesario por parcela aumentaría considerablemente). En inventarios hechos en cafetales, es importante establecer una parcela de este tipo para medir los cafetos, ya que en una parcela de mayor tamaño el trabajo sería muy ineficiente.

### **Muestreo de hierbas, hojarasca, suelo y tallos leñosos menores a 2.0 cm de DAP**

Este muestreo se hará en el siguiente orden:

1. vegetación herbácea
2. hojarasca
3. suelo

#### **Procedimiento**

1. Se definen los límites de la parcela de 1 metro cuadrado y se marcan conspicuamente.
2. Se procede a coleccionar únicamente la vegetación herbácea y tallos leñosos menores a 2 cm de DAP que tienen su origen dentro de la parcela.
3. La vegetación coleccionada se coloca en una bolsa de muestreo, se pesa y se anota el peso. Este procedimiento puede necesitar hacerse por partes debido al volumen de material presente y la capacidad de las pesas disponibles. La vegetación pesada debe concentrarse en un sitio, para después sacar una muestra representativa.
4. Repita el procedimiento para coleccionar la hojarasca.
5. Colecte una muestra de suelo en el centro de la parcela, haciendo un hoyo de 30 cm de profundidad. Prepare una muestra compuesta de suelo de la siguiente manera: Homogenice y cierna el suelo coleccionado con la malla de 5 mm, escoja aleatoriamente una muestra y colóquela en una bolsa de papel numerada para determinar el contenido de carbono o materia orgánica.
6. La vegetación herbácea y la hojarasca también se homogenizan y se procede a coleccionar una submuestra (p.ej. lo que le quepa en la mano), de manera que la submuestra sea representativa. Coloque las submuestras en bolsas de papel numeradas e identificadas. Se pesan para la determinación del contenido de humedad. El peso y un número de identificación se marcan en la bolsa.

Para determinar el contenido de carbono por unidad de área en el suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo. Con este propósito se puede utilizar el método del "cilindro de volumen conocido" que se describe a continuación (MacDicken 1997):

1. Pese los cilindros y sus tapaderas e identifíquelo como peso 1 (P1)
2. Prepare la superficie del suelo (que esté lisa) a una profundidad de 5 cm.



Foto: Fundación Solar/Andrew Roy.

Andrés Quic Ramos pesa muestras de hojarasca. Cuenca Sur de Atitlán, septiembre 1999.

3. Introduzca el cilindro en el suelo, para rellenar el interior del cilindro, sin comprimir (utilice aceite mineral si ocurre adhesión del suelo con el metal)
4. Remueva el exceso de suelo de los extremos y remueva el cilindro con el suelo. Guarde el cilindro de suelo en una bolsa o recipiente.
5. Coloque las muestras en un horno a 100° C por aproximadamente 72 horas. Después de secar, pese el cilindro más el suelo y regístrelo como peso 2 (P2)
6. Calcule la densidad aparente:  $DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = P1 - P2 / \text{volumen del cilindro}$ ,

Este método puede tener variaciones como colocar la muestra de suelo en un recipiente diferente al cilindro, permitiendo usar el mismo cilindro para todas las mediciones. Además es importante explorar si al equipo se le facilita obtener la muestra verticalmente (como se describe arriba) u horizontalmente, introduciendo el cilindro en una "pared" del hoyo cavado para obtener la otra muestra de suelo. De acuerdo con los requerimientos del laboratorio que procesará las muestras se puede optar por únicamente obtener la muestra para densidad aparente y utilizar este mismo material para determinar materia orgánica.

Una vez terminado el proceso de medición se procede a llevar las muestras al laboratorio para ser analizadas y posteriormente realizar los cálculos para determinar la cantidad de carbono fijado por el sistema.

En el laboratorio se secan las muestras de hojarasca y maleza a 80 grados centígrados por 24 horas para determinar el peso seco. Las muestras de suelo se procesan para determinar el contenido de carbono en el suelo con el método de Walkley-Black (MacDicken, 1997) u otro utilizado por el laboratorio disponible.

#### ***Inventario de Chequeo***

Dos semanas después de iniciado el inventario es conveniente remuestrear del 1 al 5% de las parcelas para garantizar que los datos son confiables. Este muestreo debe hacerse por un equipo ajeno al equipo del inventario para poder validar la información.

#### ***Cálculos a realizar***

##### ***Biomasa arriba del suelo***

Para calcular la biomasa arriba del suelo se calcula la biomasa contenida en tres fuentes diferentes:

1. Tallos leñosos con DAP mayor a 5 cm
2. Tallos leñosos con DAP entre 2 y 5 cm
3. Maleza

##### ***Tallos leñosos con DAP mayor a 5 cm***

La biomasa de los tallos leñosos con DAP mayor a 5 cm se calcula con una ecuación de biomasa. Estas ecuaciones pueden tener una entrada (DAP), dos entradas (DAP y altura) o tres entradas (DAP, altura y densidad). Entre más variables se usen, más confiables son los datos. Es recomendable y en muchos casos necesario obtener tablas de biomasa locales para las especies forestales del proyecto (MacDicken, 1997).

Brown y otros científicos han desarrollado ecuaciones de biomasa para bosques latifoliados a partir de bases de datos que incluyen muchas especies de árboles cosechados en las tres regiones tropicales del mundo (un total de 371 árboles con DAP en el rango de 5 a 148 cm fueron utilizados para generar estas ecuaciones). Las ecuaciones de regresión para biomasa pueden proveer estimados de biomasa por árbol. La base de datos fue

estratificada en tres zonas climáticas, sin importar la especie: seco (<1500 mm/año y una estación seca larga), húmedo (1500-4000 mm anuales y una estación seca corta o sin estación seca) y muy húmedo (>4000 mm anuales y sin estación seca) (Brown, 1996).

El cuadro 2 presenta las ecuaciones:

**Cuadro 2**  
**Ecuaciones de biomasa generadas para árboles**  
**tropicales de acuerdo con zonas climáticas.**

Zona climática	Ecuación	Rango de DAP	No. de árboles	R <sup>2</sup>	No. Ec.
Seco <sup>a</sup>	$Y = \exp \{-1.996 + 2.32 \cdot \ln(D)\}$	5-40	28	0.89	3.2.1
	$Y = 10^{\{-0.535 + \log_{10}(BA)\}}$	3-30	191	0.94	3.2.2
Húmedo <sup>b</sup>	$Y = 42.69 - 12.800(D) + 1.242(D^2)$	5-148	170	0.84	3.2.3
	$Y = \exp \{-2.134 + 2.530 \cdot \ln(D)\}$			0.97	3.2.4
	$Y = \exp[-2.4090 + 0.9522 \cdot \ln(D^2HS)]$			0.99	3.2.5
Muy Húmedo <sup>c</sup>	$Y = 21.297 - 6.953(D) + 0.740(D^2)$	4-112	169	0.90	3.2.6

(a) La Ec. 3.2.1 está revisada de Brown et al. 1989 para bosques secos en India y Ec. 3.2.2 de Martínez-Yrizar et al. 1992 para bosque seco en México (ecuación original basada en área basal). Para zonas secas con precipitación menor a los 900 mm/año use ecuación 3.2.2 y para zonas con precipitación mayor a los 900mm use la ecuación 3.2.1.

(b) Ecuaciones 3.2.3 y 3.2.4 basadas en la misma base de datos; A.J. R. Gillespie, com. pers. basada en una revisión de la ecuación en Brown et al. 1989. La ecuación 3.2.5 (Brown et al. 1989) se incluye por si el equipo cuenta con valores de densidad de madera y altura y puede utilizarlos para calcular su biomasa.

(c) De Brown e Iverson, 1992 en Brown, 1996.

Donde:

Y = biomasa arriba del suelo en kilogramos

D = diámetro a la altura del pecho (1.37m) en centímetros

BA = área basal en cm<sup>2</sup>

H = altura en metros

S = densidad de la madera en ton/m<sup>3</sup>

exp [...] significa "e elevado a la potencia de [...]"

(Brown, 1996 y Brown, S., A.J.R. Gillespie y A.E. Lugo, 1989)

El valor de biomasa en kilogramos es dividido dentro de 1,000 para obtener toneladas. Las toneladas son multiplicadas por 0.5 para obtener carbono. La razón por la que se multiplica por 0.5 para obtener carbono se debe a que la literatura indica que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono, una vez se ha removido el agua (MacDicken, 1997). El valor de carbono es dividido dentro de la superficie de la parcela de muestreo (en m<sup>2</sup>) para obtener tC/m<sup>2</sup>. Al multiplicarlo por 10,000m<sup>2</sup> /ha se obtienen tC/ha.

Además de estas ecuaciones para bosques latifoliados, se ha desarrollado una ecuación para varias especies de pinos y un método sencillo para determinar la biomasa de palmas (Frangi y Lugo, 1985). También se ha desarrollado una ecuación para árboles de café y para plantas de banano.

En el Cuadro 3 se incluyen estas ecuaciones de biomasa específicas.

**Cuadro 3**  
**Ecuaciones de biomasa para otras especies**

Especie	Ecuación	Fuente	R <sup>2</sup>
Coníferas	$Y = \exp \{-1.170+2.119*\ln(D)\}$	Brown, 1996	0.98
Palmas	$Y = 4.5 + 7.7 * H$	Frangi y Lugo 1985	0.90
Café	$Y = a + (b*(\exp(-H/-c))$	Winrock 1998	0.98
Banano	$Y = \sqrt{a + b*(\ln H/H^2)}$	Márquez 1997	0.99

*Coníferas y Palmas:*

*Y = kilogramos de biomasa*

*H = altura en metros*

*D = diámetro a la altura del pecho (1.3 metros) en centímetros*

*exp[...] significa "e elevado a la potencia de [...]"*

*ln significa "logaritmo natural de [...]"*

*Café*

*Y = biomasa en gramos*

*a = 0.67134058 (constante)*

*b = 0.00072208395 (constante)*

*c = 0.40531445 (constante)*

*H = altura en metros*

*Banano*

*Y = biomasa en gramos*

*a = 185.1209 (constante)*

*b = 881.9471 (constante)*

*H = altura en metros*

#### **Tallos Leñosos con DAP entre 2 y 5 cm**

Para los tallos leñosos en este rango, se pueden utilizar las ecuaciones de biomasa presentadas arriba. El único peligro es que esta práctica puede llevar a una sobreestimación de biomasa. Si es posible, es aconsejable cosechar algunos de los tallos medidos en este rango y desarrollar una ecuación de biomasa específica. Esta práctica es recomendada, especialmente considerando que por sus dimensiones pequeñas no es difícil cosechar, pesar y posteriormente desarrollar la ecuación.

#### **Maleza y Hojarasca**

La biomasa de la maleza debe incluirse en los cálculos para biomasa arriba del suelo junto con las mediciones de tallos leñosos. La biomasa de la hojarasca es un cálculo aparte que corresponde a la fuente de hojarasca y materia vegetal muerta.

Para el cálculo de la biomasa en estas fuentes se obtiene el valor para el contenido de humedad. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$CH = (Phs - Pss) / Phs, \text{ donde:}$$

CH = contenido de humedad

Phs = Peso húmedo submuestra (g)

Pss = Peso seco submuestra (g)

Con el valor de contenido de humedad se procede a calcular la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa:

$$Y = Pht - (Pht * CH), \text{ donde:}$$

Y = biomasa en gramos

Pht = Peso húmedo total (g)

CH = contenido de humedad

Los valores obtenidos se dividen dentro de 1,000,000 para obtener toneladas. Este valor se multiplica por 0.5 lo que da toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono se dividen dentro del total de metros muestreados. Esta operación da tC/m<sup>2</sup> y al multiplicarlo por 10,000m<sup>2</sup> se obtienen tC/ha.

#### ***Arboles muertos en pie y troncos caídos***

Los árboles muertos en pie deben utilizar las ecuaciones de biomasa presentadas en los Cuadros 2 y 3, con la condición de que se tome solo el 70% de la biomasa reportada por la ecuación. De esta manera la ecuación para árboles latifoliados de la zona húmeda podría quedar así:

$$Y = \{ \exp [-2.134 + 2.530 * \ln(D)] \} * 0.7, \text{ Donde:}$$

Y = biomasa en kilogramos

D = diámetro a la altura del pecho en cm

ln = logaritmo natural

exp = elevado a ..

Para troncos caídos, el procedimiento consiste en utilizar el promedio de los dos diámetros medidos y con la altura definir el volumen del tronco con la fórmula de volumen de un cilindro y después con la densidad de la madera definir biomasa.

$$Y = \text{área basal} * \text{altura} * \text{densidad}$$

Es importante contar con valores de densidad para las especies presentes en el área de proyecto. En la literatura existen varias tablas de densidad que pueden consultarse. Si se desconocieran valores de densidad para las especies encontradas en el área, es importante tomar muestras de madera para determinar la densidad o utilizar un valor de 0.5.

#### ***Biomasa abajo del suelo***

Para determinar la biomasa abajo del suelo, que consiste en el sistema radicular de la vegetación existente es conveniente estimarla como un porcentaje de la biomasa arriba del suelo. La literatura de inventarios de carbono indica que un valor entre 10 y 15% es conservador pero que permite obtener un estimado aproximado de la biomasa en esta fuente (MacDicken, 1997) sin incurrir en sobreestimaciones dañinas al proyecto. Para muchos sistemas de uso de la tierra existe literatura que reporta tasas de biomasa arriba del suelo con respecto a raíces. Si esta información está disponible debe usarse. Para cultivos como el café la literatura reporta que la proporción

entre la biomasa arriba del suelo y la de raíces es de aproximadamente 30%, por lo que para inventarios en este sistema, se podría considerar utilizar un porcentaje mayor.

Según Althoff, (Althoff, 1999) el muestreo de raíces en plantaciones forestales es costo eficiente y provee información importante para mejorar la calidad de los estimados.

### **Carbono contenido en el suelo**

El carbono contenido en el suelo (en tC/ha) se calcula a partir de los valores de porcentaje de carbono y densidad aparente con la siguiente fórmula:

Carbono en suelo (tC/ha) = CC \* DA \* P,  
donde:

P = profundidad de muestreo en cm  
CC = Contenido de Carbono (%)  
DA = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Generalmente este componente tiene un alto valor de contenido de carbono. También es el componente que sufre menos alteraciones de su contenido de carbono y por lo tanto medir el carbono en el suelo puede no ser eficiente ya que el objetivo del inventario es contar con información acerca de los componentes que aumentarán o disminuirán sus reservas de carbono debido a las actividades con proyecto o sin proyecto. Es importante evaluar si es necesario incurrir en estas mediciones y el coordinador de proyecto de inventarios debe decidir al respecto.

Si se trata de proyectos de reforestación en área degradadas, es posible que el carbono del suelo aumente significativamente y en casos como este es muy importante contar con mediciones iniciales y periódicas después de iniciado el proyecto. En general, contar con un valor de carbono para el suelo como parte del inventario base puede ser de gran utilidad. Es importante saber que no es necesario medir esta fuente tan frecuentemente como otras.

### **Estadísticas**

Todo esfuerzo de medición forestal debe llevar un cálculo de la confianza de los datos generados. Como un aporte a la toma de decisiones rápidas se presenta a continuación algunas fórmulas que pueden utilizarse para evaluar la confiabilidad de los resultados. Estas fórmulas se incluyen con el objetivo de proveer una herramienta inicial, pero el técnico o desarrollador de proyecto puede proceder a utilizar otras fórmulas con las que esté más familiarizado o que sean las usadas por esfuerzos de medición anteriores en el área de proyecto.



Foto: Edwin Castellanos.

*Una de las tareas más complicadas es localizar el sitio de muestreo pre-seleccionado sobre un mapa. Marzo de 1999.*

Foto: Edwin Castellanos.



Estudiante del Centro Universitario de Oriente, mostrando la forma correcta de medir el DAP en terreno inclinado. Junio de 1998.

### Número de parcelas a establecer

Para obtener el número de parcelas (n) que deben establecerse para tener un error de estimación (E) de x% se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$n = \frac{1}{\frac{E^2}{t^2 s^2} + 1/N}, \text{ donde:}$$

- E = Error de estimación
- t = el valor de la tabla de t de Student en función de los grados de libertad y el porcentaje de probabilidad
- s<sup>2</sup> = varianza
- N = número total de parcelas posibles

### Error de Estimación

El error de estimación se calcula para determinar el rango de confianza de los valores obtenidos. Este error se calcula a partir del error estándar de la media de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\text{Error estándar de la media} = \sqrt{\frac{s^2}{n} * (1 - (n/N))}, \text{ donde:}$$

- s<sup>2</sup> = varianza
- n = número de parcelas muestreadas
- N = número de parcelas que pueden muestrearse

Error de estimación =  $\bar{x} \pm (t) * (\text{Error estándar})$ , donde:

- x = la media en toneladas de carbono fijadas, y
- t = el valor de la tabla de t de Student en función de los grados de libertad y el porcentaje de probabilidad.



## Avances en la Medición de Carbono en Guatemala

### Carbono Fijado por Plantaciones Forestales

En mayo de 1999, Fundación Solar desarrolló un muestreo del carbono fijado por las plantaciones de hule, en Guatemala, para determinar el valor de fijación que tiene este sistema productivo. Esta pequeña investigación se hizo para la Gremial de Huleros de Guatemala con financiamiento del Instituto Nacional de Bosques. Un total de 6 parcelas circulares de 500 metros cuadrados fueron establecidas. En las parcelas se midió el DAP de los árboles, se colectó maleza, hojarasca y suelo. Los valores de fijación de carbono obtenidos con este muestreo son los siguientes:

#### Valores para el Carbono fijado por el sistema de cultivo de hule en Guatemala (tC/ha)

Árboles	Hojarasca	Maleza	Suelos	Raíces	Total
75	4	0	50	16	145

Los resultados del muestreo indican que el cultivo de hule contiene unas 145 toneladas de carbono por hectárea (con un rango de  $\pm 15$  toneladas). Estos valores representan el resultado obtenido en plantaciones cuyos árboles tienen al menos 5 años en su etapa productiva. Es importante notar que la fuente de mayor importancia como contribuyente al carbono fijado son los árboles y si se desea optimizar el esfuerzo de inventario se podría considerar medir únicamente árboles y en vez de usar parcelas podrían hacerse transectos dentro de las plantaciones. Estos valores fueron generados utilizando una ecuación genérica para árboles. Una de las recomendaciones que Fundación Solar hizo a la Gremial de Huleros de Guatemala consiste en desarrollar una ecuación de biomasa específica para hule.

Fuente:

Fundación Solar, 1999. Perfil técnico de proyecto de fijación de carbono en plantaciones de hule. Fundación Solar. Guatemala.

### Valores de Fijación de Carbono para Bosques Latifoliados y Mixtos

En septiembre de 1999, se realizó un inventario de carbono en el nivel de muestreo en los bosques maduros de la parte sur del Lago de Atitlán, Sololá, Guatemala. Se investigaron los bosques latifoliado y mixto de la Cuenca Sur del Lago de Atitlán.

Los valores para fijación de carbono se detallan a continuación:

#### Valores de carbono fijado en los bosques latifoliado y mixto (tC/ha)

	Biomasa arriba suelo	Biomasa abajo del suelo	Hojarasca	Suelos (10cms)	Total
Mixto (n=6)	207	41	43	49	340
Latifoliado (n=15)	287	58	22	42	410

Para todos los bosques muestreados, la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a sus reservas de carbono, debido principalmente al carbono contenido en los árboles. Los resultados indican que el bosque con mayor reserva de carbono es el bosque latifoliado, el cual cuenta con árboles de mayor DAP.

El suelo es la segunda fuente de carbono en importancia para los bosques muestreados y es importante notar que los valores presentados sólo reflejan el carbono contenido en los primeros 10 cm de profundidad. Esto indica que los valores de carbono contenido en el suelo pueden aumentar considerablemente al evaluar un perfil más profundo de suelos, que puede aumentar a 30 cm o más.

El error standard calculado para las reservas de carbono de ambos bosques permite inferir, parcialmente, acerca de la variabilidad de las reservas de carbono. Los valores para el error standard están limitados por el número de parcelas establecidas, pero indican que ambos bosques presentan un rango de fijación de carbono confiable dentro de aproximadamente 30-40 toneladas de carbono por hectárea. Para el nivel de muestreo al que están los datos presentados aquí, este rango es adecuado y permite inferir el nivel de incursión necesario para contar con datos confiables dentro de un rango de error menor.

Fundación Solar realizó este inventario con financiamiento de PROARCA/CAPAS.

Fuente: Márquez, 2000. Comunicación personal. Valores de carbono almacenado para los bosques latifoliado y mixto del área del Lago de Atitlán, Sololá, Guatemala. Fundación Solar. Guatemala.

### **Determinación del Carbono Contenido en un Sistema Agroforestal**

En mayo de 1998 Winrock Internacional realizó un inventario de carbono para el sistema cafetalero del municipio de San Juan La Laguna, Sololá, Guatemala. Este inventario consistió en visitas a doce parcelas de café con sombra, además de determinar la fijación de carbono en el sistema cafetalero, también se determinó el contenido de carbono en usos de la tierra de cultivos anuales (milpa) y tierras degradadas por mucho uso. Los resultados se presentan a continuación:

**Carbono fijado en el sistema agroforestal de producción de café (tC/ha)**

	<b>Biomasa arriba suelo</b>	<b>Biomasa abajo del suelo</b>	<b>Hojarasca</b>	<b>Suelos (30cms)</b>	<b>Total</b>
Café (n*=9)	27	4	6	48	<b>85</b>
Tierras degradadas (n=3)	4	0	1	29	<b>34</b>
Cultivos anuales (n=3)	1	0	1	33	<b>35</b>

\*n se refiere al número de unidades productivas muestreadas.

Los resultados demuestran que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero respecto de la agricultura anual y las tierras degradadas se encuentra en los árboles que conforman la sombra del sistema agroforestal. El carbono contenido en el suelo también aumentó con la presencia permanente de árboles y arbustos pero la diferencia entre el volumen fijado por el sistema agroforestal y aquellos sistemas donde el suelo no cuenta con una cobertura forestal no son tan diferentes como el carbono en la biomasa arriba del suelo.

Winrock utilizó 2 parcelas de 250 metros cuadrados de forma circular para cada una de las unidades productivas visitadas. Los resultados de estas parcelas se sumaban y se consideraban una parcela de muestreo de 500 metros cuadrados. Una de las recomendaciones que Winrock hizo fue de que en este sistema agroforestal, donde el sistema de la sombra contaba con árboles de gran tamaño dispersos en el sistema y de árboles de menor tamaño introducidos como sombra "tecnificada" era conveniente considerar utilizar un diseño de parcelas concéntricas utilizando una parcela de mayor radio para medir los árboles de gran tamaño.

Para cuantificar el carbono fijado por la planta de café, Winrock desarrolló una ecuación de biomasa para estos arbustos. La ecuación se basa en la altura de la planta para cuantificar biomasa (ver Cuadro 3). Respecto de la medición de cafetales es importante recordar que éstos deben ser medidos en una parcela de tamaño acorde con sus dimensiones. Para cuantificar el carbono de los árboles de sombra se utilizó la ecuación genérica. Sin embargo, esta ecuación se basa en árboles con la estructura característica de los árboles en bosques y no responde a las características específicas de los árboles de sombra. Los árboles de sombra reciben tratamientos silviculturales que cambian esta estructura, ramificando el árbol a menos de 12 metros de altura (en vez de contar con un tronco largo y recto que posteriormente se divide en ramas). Es importante desarrollar ecuaciones de biomasa para árboles bajo este sistema de producción.

En 1997, Lilian Márquez, bajo contrato con Winrock, desarrolló una verificación de campo para determinar la eficiencia de sus métodos en sistemas agroforestales. Esta verificación se llevó a cabo en La Unión, Zacapa, Guatemala. Un total de 30 parcelas de café fueron muestreadas. En esta ocasión el sistema agroforestal contenía cultivo de banano como parte de la sombra para el café. Una ecuación de biomasa fue generada para este cultivo para poder cuantificar su biomasa. Esta ecuación está disponible en el Cuadro 3 de la sección de cálculos a realizar.

*Fuentes:*

*Winrock, 1998. Carbon Sequestration and Sustainable Coffee in Guatemala. Winrock International, Arlington.*

*Márquez, L. 1997. Validación de Campo de los Métodos del Instituto Winrock para el Establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo para Cuantificar Carbono en Sistemas Agroforestales. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala.*

## Inventarios de Carbono Desarrollados por la Universidad del Valle de Guatemala

### Inventario de Carbono en Bosques de Coníferas y Nuboso en Chiquimula, Guatemala.

El Dr. Edwin Castellanos de la Universidad del Valle de Guatemala en colaboración con varios investigadores de la Universidad de Indiana y estudiantes del Centro Universitario de Oriente realizó un inventario de carbono en Chiquimula, Guatemala. Los sitios visitados fueron los siguientes: las comunidades de Las Cebollas y Tesoro, y las fincas San José y Tachoche. Los bosques en Chiquimula en general son bosques semi-secos en terrenos con fuertes pendientes. En esta área se encuentran bosques de coníferas entre los 500 y 1500 metros sobre el nivel del mar. También se puede encontrar bosque nuboso a elevaciones arriba de los 1,600 msnm. Las parcelas establecidas se encuentran en el rango de elevación de 942 metros a 1678 metros sobre el nivel del mar y poseen bosques dominados por pino (*Pinus oocarpa*) a excepción del bosque latifoliado de las Cebollas que es del tipo nuboso. Estos son bosques naturales, con doseles abiertos y con diferentes niveles de intervención humana. Los bosques comunales de coníferas de Tesoro y Cebollas son utilizados como fuentes de leña y de madera de construcción. El bosque comunal latifoliado de Cebollas y el bosque de coníferas de San José están protegidos y sin ningún aprovechamiento reciente. El bosque de coníferas de Tachoche se encuentra en un sistema de rotación para aprovechamiento. El inventario se realizó utilizando parcelas cuadradas concéntricas. El total de carbono estimado tiene un rango de variabilidad de  $\pm 50$  ton C/ha.

Los resultados se presentan a continuación (ton C/ha):

	Sotobosque	Bosque	Hojarasca	Suelo (10cm)	Total
San José n*=51	6.45	67.10	5.05	31.1	110
Tachoche n=40	6.4	64.8	6.79	47.3	125
Tesoro n=40	2.3	63.5	2.08	37.5	105
Las Cebollas coníferas n = 19	4.3	42.6	7.9	36.5	91
Las Cebollas latifoliado n = 15	7.1	91.2	6.1	71	176

\*n se refiere al número de parcelas establecidas

Fuente:

Castellanos, E. 2000. Comunicación personal, Universidad del Valle de Guatemala, trabajo de investigación en proceso. (El autor agradece a Angélica de Pocasangre y Pablo Barquin por procesar la información.)

### Caracterización Vegetal y de Suelos de Bosques Secundarios en la Reserva de la Biósfera Maya en Petén, Guatemala

En Petén, Guatemala el Dr. Edwin Castellanos en colaboración con Gustavo Rodríguez y Ramón Manzanero de Pro Petén hicieron mediciones del contenido de carbono de los bosques latifoliados dentro de la Reserva de la Biósfera Maya. La metodología seguida fue desarrollar un inventario de diámetros de árboles en parcelas de medición, con medidas adicionales de hojarasca y suelo. Para obtener los valores de biomasa se utilizaron ecuaciones de biomasa generales (no específicas para el país) para regiones húmedas. Tomando en cuenta el área de las parcelas establecidas en el inventario se pudo obtener valores de carbono por hectárea. Cada componente de la vegetación fue muestreado en una parcela de tamaño proporcional, siendo todo el inventario desarrollado bajo el esquema de parcelas cuadradas concéntricas. Los sitios de muestreo se localizaron en los alrededores de la comunidad de Carmelita y de la Estación Biológica Las Guacamayas manejada por la organización Pro Petén. El promedio mostrado incluye cuatro parcelas realizadas en bosque denominado "bajo" es decir, bosques en áreas inundables. Este tipo de bosque en general mostró valores más bajos de biomasa que los bosques en terrenos no inundables (altos). El total de carbono estimado tiene un rango de variabilidad de  $\pm 70$  ton C/ha.

Los resultados se incluyen a continuación (ton C/ha, \*n es el número de parcelas establecidas):

	Sotobosque	Bosque	Hojarasca	Suelo 10cm	Total
Carmelitas/Guacamayas n*=14	14.3	99.9	3.74	81.2	199

Fuente:

Castellanos, E. 2000. Comunicación personal, Universidad del Valle de Guatemala, trabajo de investigación en proceso. (El autor agradece a Angélica de Pocasangre y Pablo Barquin por procesar la información.)

## Literatura Citada y Otras Referencias Útiles

A diferencia de una sección dedicada a la bibliografía de una publicación presentamos las referencias que hemos usado para el desarrollo de este manual pero también incluimos otras referencias que pueden ser de utilidad.

La sección incluye direcciones de internet que contienen información relevante, así como también versiones electrónicas de algunos de los documentos utilizados.

### Referencias

Althoff, P. 1999. Carbon Inventory in a Eucalyptus camandulensis Plantation compared with Natural Vegetation in Brazil. en Field Tests of Carbon Monitoring Methods in Forestry Projects. Winrock International, Arlington.

Bass, S., O. Dubois, J. Ford, P. Moura-Costa, M. Pinard, R. Tipper, C. Wilson. 1999. Rural Livelihoods and Carbon Management. Draft report. Disponible en: [www.ecosecurities.com](http://www.ecosecurities.com) y [www.eccm.uk.com](http://www.eccm.uk.com)

Boscolo, M., S. Kerr, A. Pfaff, A. Sanchez. 1999. What Role for Tropical Forests in Climate Mitigation? The Case of Costa Rica. Development Discussion Paper No. 675. Harvard Institute for International Development, Harvard University.

Brown, P. (1998) Climate, Biodiversity and Forests: Issues and Opportunities Emerging from the Kyoto Protocol. World Resources Institute.

Brown, S. 1996. A Primer for Estimating Biomass and Biomass Change in Tropical Forests. FAO. S. Brown 200 SW 35th St Corvallis, Oregon 97333, USA.

Brown, S., A.J.R. Gillespie, A.E. Lugo. 1989. "Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data". Forest Science 35:881-902

CONAMA. 1999. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Comisión Nacional de Medio Ambiente, Guatemala.

Corrales, L. 1998. Estimación de los Beneficios por No Emisión y Fijación de Carbono por Acciones de Ordenamiento Forestal en el Area Propuesta del Corredor Biológico Mesoamericano en Centroamérica. PROARCA/CAPAS, USAID. Guatemala.

Jepma, C. (ed.) 1995. The Feasibility of Joint Implementation. Dordrecht, Boston

Hulme, M., N. Sheard. 1999. Escenarios de Cambio Climático para Mesoamérica. Unidad de Investigación Climática, Norwich, Reino Unido. 6pp.

Kuik, O., P. Peters, N. Schrijver (eds.) 1994. Joint Implementation to Curb Climate Change. Dordrecht, Boston.

MacDicken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington.

Malhi, Y., D. D. Baldocchi y P. G. Jarvis. 1999. The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests. Plant, Cell and Environment:715-740

Márquez, L. 1997. Validación de Campo de los Métodos del Instituto Winrock para el Establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo para Cuantificar Carbono en Sistemas Agroforestales. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.

Poffenberger, M., B. McGean, N.H. Ravindranath, M. Gadgill. 1992. Diagrams for Measuring DBH en Field Methods Manual. Volume I. Diagnostic Tools for Supporting Joint Forest Management Systems. Society of the Promotion of Wastelands Development, New Delhi.

Ridley, M., 1998. Lowering the Cost of Emission Reduction: Joint Implementation in the Framework Convention on Climate Change. Dordrecht, Boston

Stuart, M.D. y Moura Costa, P. 1998. Climate Change Mitigation by Forestry: a Review of International Initiatives. Policy that works for forests and people series no. 8 Discussion paper. International Institute for Environment and Development, London.

Tosi, J. 1997. An Ecological Model for the Prediction of Carbon Offsets by Terrestrial Biota. Occasional Paper Series No. 17 Centro Científico Tropical, San Jose, Costa Rica.

Winrock. 1998. Carbon Sequestration and Sustainable Coffee in Guatemala. Winrock International, Arlington.

Winrock. 1999. Field Tests of Carbon Monitoring Methods in Forestry Projects. Winrock International, Arlington.

### Contactos

Brown, S. Senior Program Officer. Winrock International. 831 NW Sundance Circle, Corvallis, Oregon 97330 EUA. c.electrónico: sbrown@winrock.org

Castellanos, E. Profesor Investigador. Universidad del Valle de Guatemala. 11 c 15-79 VH III zona 15, Guatemala. c.electrónico: ecastell@uvg.edu.gt

Corrales, L. Ciencias Biológicas/Sistemas de Información. Apdo. 702(2010), San José, Costa Rica. C. electrónico: leninc@sol.racsacosta.cr www.geocities.com/capecanaveral/runway/1392

Delaney, M. Carbon Monitoring Specialist. Winrock International. 38 Winrock Drive, Morrilton, AR. 72110-9370 EUA. c.electrónico: md@winrock.org

Márquez, L. Cambio Climático. Fundación Solar. 15 Avenida 18-78, Zona 13, Guatemala. c.electrónico: funsolar@guate.net

Powell, M. Program Officer Winrock International. 38 Winrock Drive, Morrilton, AR. 72110-9370 EUA. c.electrónico: mpowell@winrock.org

### Direcciones de Internet

Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) (Centro de Análisis de Información en Dióxido de Carbono) <http://cdiac.esd.ornl.gov/home.html>

EcoSecurities [www.ecosecurities.com](http://www.ecosecurities.com)

Edinburgh Centre for Carbon Management (Centro de Edinburgo para Administración del Carbono) [www.eccm.uk.com](http://www.eccm.uk.com)

Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood Products <http://www.iea.org/ipcc/dakar.htm>

Iniciativa de los Estados Unidos para Implementación Conjunta <http://www.ji.org>

Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)  
<http://www.ipcc.ch>  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/public.htm>

Pew Center on Global Climate Change (Centro Pew sobre Cambio Climático Global)  
<http://www.pewclimate.org/home.html>

#### PROARCA/CAPAS

<http://www.capas.org/infoclim.htm>

- \* Beneficios ambientales por no emisión y fijación de carbono en el Corredor Biológico Mesoamericano
- \* Carbono almacenado y captado por los bosques de Centroamérica
- \* Competitividad en mercados de carbono
- \* Formulación de proyectos de cambio climático

Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — Reference Manual (Volume 3), Land Use Change and Forestry [http://www.meto.gov.uk/sec5/CR\\_div/ipcc/wg1/](http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/)

The U.S. National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Nation (Centro de los Estados Unidos para la Evaluación de las Potenciales Consecuencias de la Variabilidad y Cambio Climático para la Nación) <http://www.nacc.usgcrp.gov>

Union of concerned scientists-global warming (Unión de científicos preocupados-calentamiento global)  
<http://www.ucsusa.org/warming/index.html>

United Nations Environment Programme - (PNUMA) vínculos a información sobre cambio climático global <http://unep.ch/iuc>

United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de Cambio Climático) <http://www.unfccc.de/>

United States Environmental Protection Agency - Global Warming Site (Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Ambiente-Sitio sobre Calentamiento Global) <http://www.epa.gov/globalwarming>

Universidad de Edinburgo

<http://helios.bto.ed.ac.uk/ierm/research/pubs.htm>

<http://helios.bto.ed.ac.uk/ierm/research/current.htm>

\* The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (El experimento a gran escala de la biósfera en la Amazonia) <http://www.cptec.inpe.br/lba/>

White house initiative on climate change (Iniciativa de la Casa Blanca para el Cambio Climático)

<http://www.whitehouse.gov/Initiatives/Climate/main.html>

Winrock Internacional

[www.winrock.org/REEP/forest carbon monitoring\\_program](http://www.winrock.org/REEP/forest_carbon_monitoring_program)

Publicaciones

\* A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects

\* The Utility of Remote Sensing Technology in Monitoring Carbon Sequestration in Forestry and Agroforestry Projects A Bibliography on Carbon Sequestration and Biomass Estimation

\* Field Tests of Carbon Monitoring Methods in Forestry Projects

\* Brazilian Experiences in the Production of Eucalyptus for Energy

Ejemplos de inventarios de carbono

\* Belice

\* Bolivia

\* Brazil

\* Guatemala

\* Filipinas

\* Indonesia

Estudios en Carbono

\* Effect of Inventory Precision and Variance on the Estimated Number of Sample Plots and Inventory Variable Cost [http://www.winrock.org/REEP/NoelKmpff\\_rpt.html](http://www.winrock.org/REEP/NoelKmpff_rpt.html)

\* Guidelines for Inventorying and Monitoring Carbon Offsets in Forest-Based Projects Guidelines Opportunities for Mitigating Carbon Emissions through Forestry Activities

World Resources Institute Forest Frontiers Initiative (Instituto de Recursos Mundiales, Iniciativa para las Fronteras de los Bosques) <http://www.wri.org/wri/ffi/climate>

World Resources Institute. Biodiversity and Climate: Key Issues Emerging from the Kyoto Protocol (Instituto de Recursos Mundiales Biodiversidad y Clima: Elementos Claves que surgen del Protocolo de Kioto)

<http://www.wri.org/ffi/climate/kyotfrst.htm>

World Resources Institute Climate, Biodiversity and Forests. (Clima, Biodiversidad y Bosques)

<http://www.wri.org/ffi/climate/cbf-ntr2.htm>

WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza) <http://www.panda.org/climate>

# Anexos

## Diagrama de Flujo para monitorear cambios en las principales fuentes de carbono en proyectos forestales y agroforestales

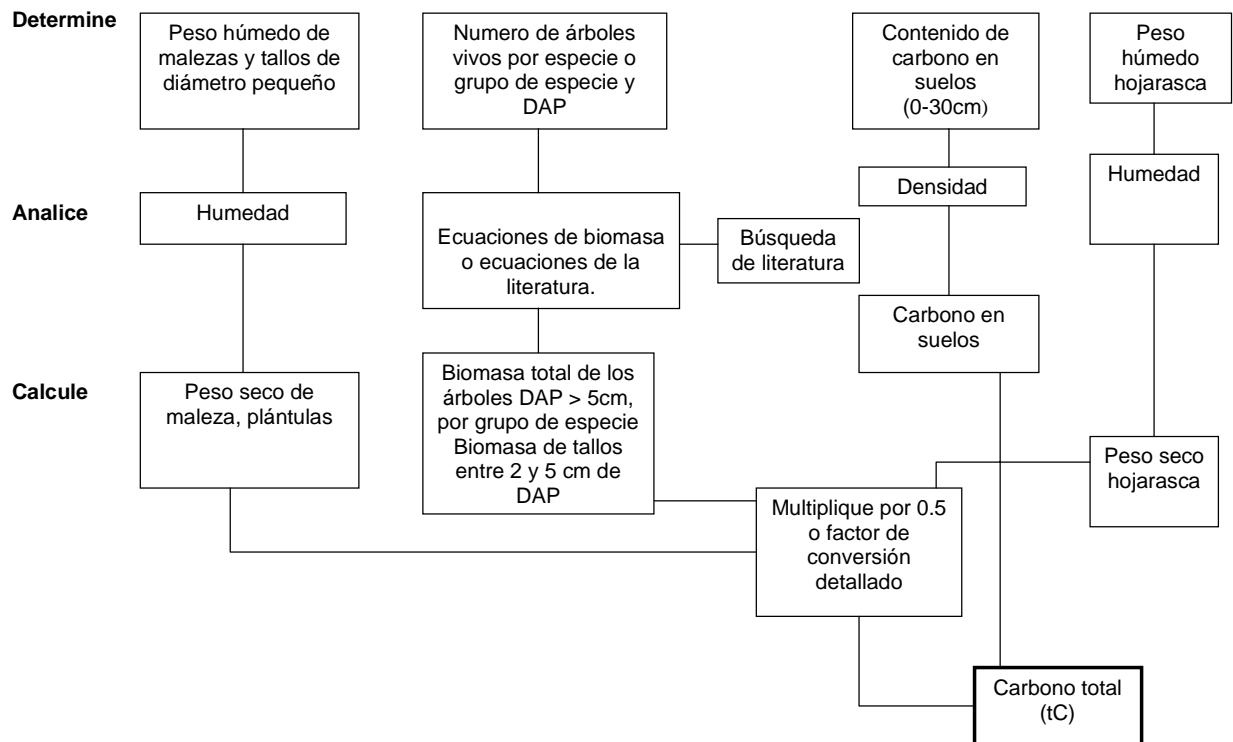
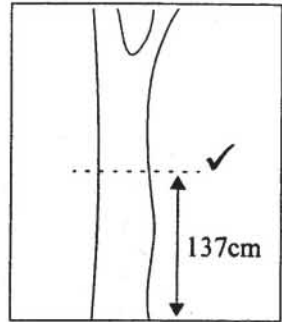


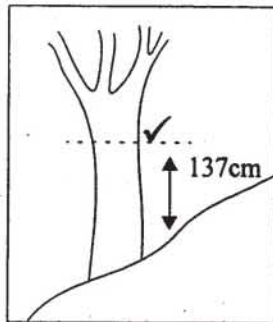
Diagrama de flujo para monitorear cambios en las principales fuentes de carbono en proyectos forestales y agroforestales (de MacDicken K.G., 1997, A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects, Winrock International).



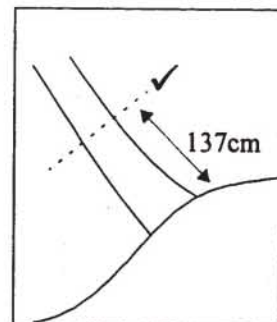
# DIAGRAMA PARA MEDIR DAP



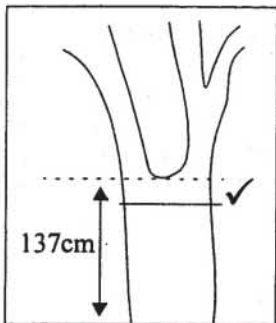
**NIVELADO**



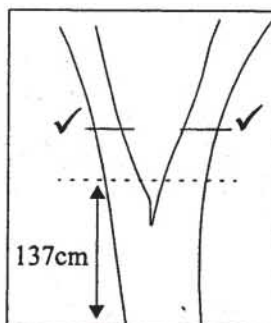
**PENDIENTE**



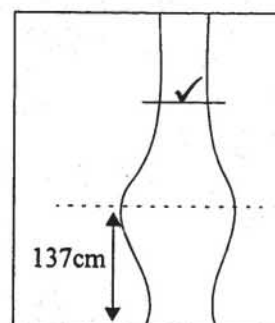
**PENDIENTE  
TRONCO TORCIDO**



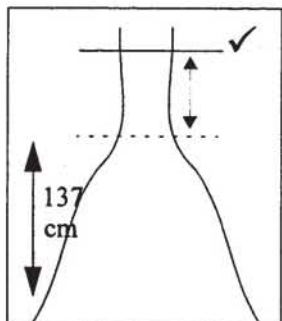
**BIFURCANDOSE  
EN EL DAP**



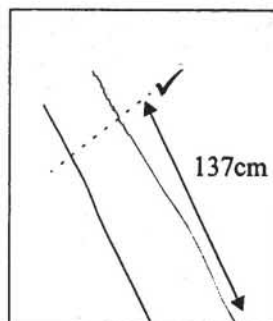
**DOS RAMAS  
SEPARADAS**



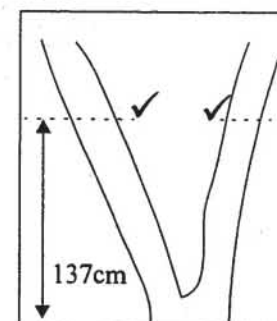
**ABULTAMIENTO**



**CUELLO DE BOTELLA  
O GAMBAS**



**TRONCO TORCIDO**

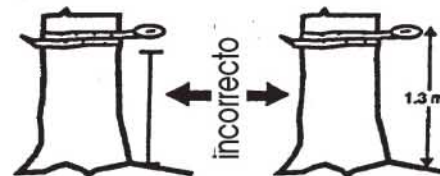
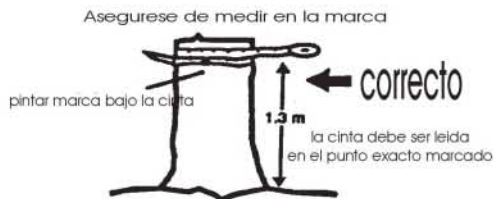
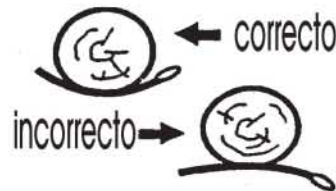


**RAMIFICACIONES**

Fuente:

"Poffenberger, Mark, B. McGean, N.H. Ravindranath, and M. Gadgil. 1992. Diagrams for Measuring DBH in "Field Methods Manual" Volume I. Diagnostic Tools for Supporting Joint Forest Management Systems. Produced by the Society of Promotion of Wastelands Development, New Delhi.

# USO CORRECTO DE LA CINTA MÉTRICA



siempre asuma que el 1.3m de DAP está arriba del punto marcado. Ponga la parte superior de la sección inferior de la cinta en este punto.



Fuente:  
"A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects", K.G. MacDicken, Forest Carbon Monitoring Program, Winrock International Institute for Agricultural Development, Octubre 1997.

## Formulario Colecta de Datos

No de estrato: \_\_\_\_\_ No de parcela: \_\_\_\_\_

Tipo de vegetación: \_\_\_\_\_ Encargado del equipo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

No. árbol	Código Esp.	DAP (1.3m)	No. árbol	Código Esp.	DAP (1.3m)	Muestreo Maleza y Hojarasca		
1			21			área parcela	Peso Maleza (g)	Peso Hojarasca (g)
2			22					
3			23			Submuestras para contenido de humedad		
4			24			No. Muestras	Maleza(g)	Hojarasca(g)
5			25					
6			26			Suelo		
7			27			No. Muestra		
8			28			Notas		
9			29					
10			30					
11			31					
12			32					
13			33					
14			34					
15			35					
16			36					
17			37					
18			38					
19			39					
20			40					

Códigos de especies de árboles		Ecuaciones de biomasa	
1			
2			
3			



Fundación Solar



Winrock International

