



Metodología

para la Estimación del contenido de carbono
en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala

Edwin J. Castellanos • Alma Quilo • Rosa Mato Amboage

Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad, UVG

Noviembre, 2010

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y DE BIODIVERSIDAD
CARE

Metodología para la Estimación del Contenido de Carbono en Bosques y Sistemas Agroforestales en Guatemala

Edwin J. Castellanos
Alma Quilo
Rosa Mato Amboage

Noviembre, 2010



Universidad del Valle de Guatemala
Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad

Tel.: 2368 8353
cca@uvg.edu.gt

Dr. Edwin Castellanos	Coordinador general del proyecto
Ing. For. Alma Quilo	Coordinación de trabajo de campo y laboratorio
Lic. Gabriela Alfaro	Análisis de laboratorio
Ing. Agr. Sergio Quemé	Análisis estadístico
Dr. Roberto Molina	Análisis estadístico
Óscar García	Elaboración de mapas

CARE

Teléfono: 2360 4801
caregua@ca.care.org

Ing. Agr. José Roberto Chuc	Coordinador de Iniciativa Proyecto MIBOSQUE
M. Sc. Claudia Flores	
Ing. Agr. Rony Arriola	
T.F. Helio Palacios	
P.F. Robins López	

A todas las personas que participaron en el proyecto MIBOSQUE

Se reconoce el apoyo de los Alcaldes Municipales, Alcades Auxiliares e integrantes de COCODEs de las Municipalidades y comunidades donde se realizaron los muestreos. También se agradece el apoyo del personal de las Oficinas Forestales Municipales de Cabricán, Huitán, Totonicapán, Santa María Chiquimula, Tacaná, San José Ojetenam, Tejutla, Sipacapa, Cuilco, Tectitán y San Idelfonso Ixtahuacán.

Publicado por: Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG). Con apoyo financiero del Fondo de Innovación de Cambio Climático de Care USA.

Derechos Reservados:

© 2010 **Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala.**

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales con permiso previo de la parte que tenga los derechos de autor, mencionando la fuente.

Citación: Castellanos, E., A. Quilo y R. Mato. 2010. Metodología para la Estimación del Contenido de Carbono en Bosques y Sistemas Agroforestales de Guatemala. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala y CARE-Guatemala.

Fotografías de portada:	Ing. Alma Quilo
Ilustraciones del documento:	Lic. Gabriela Alfaro
Diseño de portada:	Gudy González/Serviprensa S.A.
Diagramación:	Manolo Recinos/ Serviprensa S.A.
Corrección estilo:	Jaime Bran/Serviprensa
Impresión:	Serviprensa, S.A. 3a. avenida 14-62, zona 1 PBX: (502) 2245-8888 E-mail: ventas@serviprensa.com

Este libro fue impreso en el mes de noviembre de 2010. La edición consta de 500 ejemplares en papel bond blanco 80 gramos.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Área de trabajo del proyecto de carbono de CARE	5
2. Descripción de la metodología	6
2.1 Materiales y equipo utilizado	8
2.2 Mapeo del sitio y ubicación de parcelas de muestreo	8
2.3 Inventario forestal	8
2.3.1 Parcelas rectangulares	9
2.3.2 Círculos concéntricos	10
2.4 Carbono almacenado en la vegetación	11
2.4.1 Mediciones y muestreo de campo	11
2.4.2 Trabajo de campo para generar ecuaciones de biomasa	12
2.4.3 Análisis de laboratorio y cálculos	14
2.5 Carbono almacenado en los suelos	17
2.5.1 Toma de muestras en campo	17
2.5.2 Análisis de laboratorio para muestras de suelo	18
2.5.3 Densidad de carbono y contenido total de carbono en los suelos	18
2.6 Contenido total de carbono en el bosque	19
3. Incertidumbre de la estimación	20
4. Conclusiones	21
5. Literatura citada y bibliografía	22
6. Anexos	24

1. Introducción

Guatemala posee una riqueza biológica que es importante no sólo como patrimonio nacional sino también como una posible contribución al desarrollo del país. Sin embargo, el crecimiento de la población humana combinado con el aumento de la pobreza ha generado mucha presión sobre los recursos naturales de Guatemala, especialmente en las zonas rurales del país.

El interés en la reducción de las emisiones de carbono para reducir el calentamiento global ha hecho que actualmente exista un movimiento creciente hacia la formulación de proyectos que compensen los servicios ambientales que proveen los recursos naturales, por ejemplo, proyectos de fijación y almacenamiento de carbono. Con éstos proyectos aparte de valorar los recursos naturales se crean alternativas económicas para los propietarios quienes muchas veces enfrentan niveles de pobreza o extrema pobreza.

Por esta razón, CARE-Guatemala y el Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG) han trabajado para estimar el carbono de los bosques municipales y comunales del altiplano occidental de Guatemala. Sin embargo, para entrar en el mercado internacional de créditos de carbono, las mediciones de las reservas de carbono deben ser calculadas en base a un conjunto de normas aprobadas o aceptadas por estándares internacionales. A pesar de que existen guías y normas aprobadas por entes internacionales, como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). No existe una guía que recopile paso a paso las metodologías avaladas para la medición de carbono en ecosistemas forestales y agroforestales.

El presente informe detalla la metodología utilizada por el CEAB-UVG durante la medición de carbono en bosques del altiplano occidental, como parte de un proyecto de créditos de carbono, realizado en cooperación con CARE. La metodología fue desarrollada localmente en base al trabajo realizado por el Dr. Edwin Castellanos, como parte de su programa de doctorado de la Universidad de Indiana, USA. Ésta metodología ha sido aplicada en diversos ecosistemas forestales y agroforestales de Guatemala, habiendo completado más de 90 sitios en los últimos 12 años.

Este informe evalúa cómo los métodos utilizados por el CEAB-UVG se comparan con otras metodologías reconocidas a nivel internacional, particularmente la del Estándar Voluntario de Carbono (VCS, por sus siglas en inglés). El documento del VCS es una guía detallada de cómo implementar un programa de créditos de carbono, con mayor énfasis en el tipo de actividades que están permitidas, los reservorios de carbono autorizados, así como las recomendaciones de seguimiento y monitoreo. Las mediciones de campo y cálculos de carbono sólo se mencionan brevemente, pero no se describe directamente. En dichas secciones del estándar se remite y se recomienda el uso de otras metodologías aprobadas, tales como los estudios del IPCC, documentos de proyectos REDD, o guías de Winrock International. Por lo tanto, este trabajo evaluará las similitudes de los métodos utilizados por CEAB-UVG con el VCS a través de comparaciones con las otras metodologías mencionadas en ese documento. También se discuten las modificaciones aplicadas por el CEAB-UVG con el fin de adaptar los métodos generales a casos locales, y las razones de su adopción.

1.1. Área de trabajo del proyecto de carbono de CARE

El altiplano occidental de Guatemala tiene condiciones climatológicas y geográficas para tener uno de los ecosistemas más comunes e importantes de Guatemala: bosques mixtos de pino-encino. También se puede encontrar gran cantidad de fuentes de agua. En parte a estos factores, esta área es uno de los lugares más poblados de Guatemala.

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) reporta que los bosques de pino-encino se pueden encontrar en cuatro regiones geográficas en Guatemala. Los bosques en los cuales CARE ha realizado varias acciones en pro de la conservación, incluyendo los inventarios de carbono forestal, se ubican en la región nombrada como Altiplano Volcánico (CONAP, 2008). Los suelos tienen origen volcánico, poseen buena fertilidad, pero son susceptibles a la erosión debido a las fuertes pendientes (IARNA, 2004).

En esta región la temperatura media suele estar entre 18°C y 21°C, pero en algunos casos pueden alcanzar unas mínimas de -2°C como en Quetzaltenango o máximas de aproximadamente 32°C como en Cuilco, Huehuetenango. La precipitación media anual está entre 500 y 3,000mm (MAGA, 2002). Los bosques de pino-encino del occidente tienen una distribución altitudinal de 800 a 2,220 metros sobre el nivel del mar. Dentro de las especies arbóreas

dominantes encontramos *Pinus* spp. y *Quercus* spp., pero pueden estar asociadas con otras como *Cupressus lusitanica*, *Liquidambar styraciflua*, *Alnus* spp. *Ostrya* spp, etcétera, especies características de un bosque mixto.

Las personas o comunidades que viven cerca de los bosques extraen madera y leña para uso propio o para actividades comerciales con el fin de contar con una alternativa más para aumentar su ingreso económico, factor importante ya que la región es considerada una de las zonas más pobres de Guatemala. El nivel de intervención de los bosques durante más de 1,000 años, ha resultado en un mosaico de bosque o tierras sin bosque reflejado en la alta variabilidad en términos del tamaño y densidad de los árboles, los cuales influyen los resultados de carbono secuestrado. La lista de los bosques evaluados a través del proyecto de carbono de CARE puede encontrarse en los anexos.

Para iniciar el proceso de medición de carbono en campo siempre se ha realizado en coordinación con los técnicos de CARE, quienes socializan e introducen la idea del proyecto con las comunidades a trabajar. Específicamente, en la fase de campo también se ha involucrado a los técnicos de las oficinas forestales municipales con el propósito de capacitarlos para que puedan realizar nuevos inventarios y llevar a cabo un monitoreo planificado según los requisitos del proyecto.

2. Descripción de la metodología

La metodología utilizada por el CEAB-UVG para estimar el carbono en ecosistemas terrestres se basa en los procedimientos para realizar un inventario forestal, los cuales fueron adaptados para estimar el total de biomasa en base al volumen de madera total. Los métodos de campo son básicamente los mismos que los procedimientos que expertos forestales han desarrollado en sus propias investigaciones o para la creación de guías internacionales. Algunas de las instituciones internacionales que desarrollan la metodología de Carbono son VCS, WINROCK, el IPCC, UN-REDD Program, Sandra Brown, el USDA y USDOE (ver recuadro 1).

El muestreo que el CEAB-UVG aplica en cada medición varía de acuerdo a cada proyecto, dependiendo de los recursos financieros disponibles. Sin embargo, siempre se toman en cuenta todos los aspectos para disminuir los posibles errores de muestreo. Es reconocido por otros expertos en el tema que la estimación de carbono en los ecosistemas terrestres no es una ciencia exacta, particularmente si las mediciones se hacen con fines de negocio. Si el objetivo final es beneficiar a las comunidades o grupos involucrados, la reducción de costos es prioridad sobre la intensidad de muestreo y minimización de la variabilidad de los resultados.

Las guías internacionales para la medición de carbono almacenado, como VCS (2008), MacDicken (1997), y la Guía del IPCC (2003) recomiendan estimar el carbono de los componentes forestales siguientes:

- a) Biomasa por encima del suelo
- b) Biomasa por debajo del suelo
- c) Suelo
- d) Madera muerta y hojarasca

Sin embargo, como se explica más adelante, es posible hacer caso omiso de algunos componentes, o estimar su contribución indirectamente siempre que el factor económico y tiempo sean escasos. El REDD Sourcebook (GOF-C-GOLD, 2009), IPCC (2003) y Winrock International (Macdiken, 1997) aceptan los métodos de estimación indirecta, teniendo en cuenta las limitantes financieras que los proyectos pueden enfrentar.

En la Cuadro 1 se comparan los componentes forestales sugeridos a evaluar por varias de las metodologías reconocidas internacionalmente versus los componentes estimados por el CEAB-UVG.

Cuadro 1
Comparación de los componentes medidos en cada metodología

Componentes	CEAB-UVG (Este estudio)	USDOE (2007)	USDA (Pearson, 2007)	Winrock (MacDicken, 1997)	UNFCC (2007)	IPCC (2003)	VCS (2008)
Biomasa por encima del suelo	x	x	x	x	x	x	x
Biomasa por debajo del suelo	x	x	x	x	x	x	x
Madera muerta					x	x	x
Hojarasca	x	x	x	x	x	x	x
Suelo	x	x	x	x	x	x	x
Productos maderables							x

Recuadro 1 Breve descripción de instituciones que han desarrollado metodologías de carbono

Estándar Voluntario de Carbono VCS, cuyos socios fundadores son The Climate Group, la International Emissions Trading Association y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, fue creado en 2005 para proporcionar una orientación para la agricultura, la silvicultura y otros proyectos de uso de la tierra, donde explican paso a paso los requisitos para construir un proyecto, haciendo hincapié en la adicionalidad, la medición, la independencia, la unicidad y la realidad de los créditos que el agente desea vender. Después de dos años de trabajo y consultas públicas, la última versión 2007.1 VCS es aprobado el 18 de noviembre 2008. <http://www.vcs.org/methodologies.html>

Winrock International es una organización sin fines de lucro que trabaja con personas en los Estados Unidos y alrededor del mundo para empoderar a los desfavorecidos, incrementar las oportunidades económicas y conservar los recursos naturales. Winrock es líder en programas de carbono diseñado para la gestión del uso del suelo para el secuestro de carbono y es un pionero en el uso de tecnología, para la evaluación, verificación y vigilancia. Una lista de los informes creados se pueden encontrar en: <http://www.winrock.org/programs/ProjectsbySubject.asp?topicID=442>

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal organismo para la evaluación del cambio climático, establecido por Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para proveer al mundo con una visión científica sobre el estado actual del cambio climático y las posibles consecuencias ambientales y socioeconómicas. Se trata de un organismo científico que examina y evalúa la información científica más reciente, producida en todo el mundo por agentes relevantes al cambio climático. No lleva a cabo ninguna investigación ni controla los datos relacionados con el clima o los parámetros. Miles de científicos de todo el mundo contribuyen a la labor del IPCC sobre una base voluntaria. Una base de datos con los informes se puede encontrar en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.htm

El Programa de la ONU-REDD es la iniciativa de las Naciones Unidas en materia de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) en los países en desarrollo. El Programa de la ONU-REDD reúne a equipos técnicos de todo el mundo para ayudar a desarrollar análisis y directrices sobre cuestiones tales como la medición, notificación y verificación (MRV) de las emisiones de carbono y las corrientes, asegurar que los bosques sigan prestando múltiples beneficios para los medios de subsistencia y el medio ambiente, y el apoyo a la participación de los Pueblos Indígenas y la Sociedad Civil en todas las fases del diseño y aplicación de estrategias de REDD+. El enlace a la lista de publicaciones se puede encontrar en: http://www.un-redd.org/Publications/tabid/587/lan_guage/en-US/Default.aspx

Doctora Sandra Brown, especialista en el papel que juegan los bosques en el ciclo global del carbono y su presente y potencial futuro papel en el cambio climático y su mitigación. Ella tiene una reputación nacional e internacional como líder en el campo de carbono forestal y su relación con el cambio climático y su mitigación. Proporciona un liderazgo científico y experiencia a muchas organizaciones nacionales e internacionales. Brown cuenta con 20 años de experiencia en planificación, desarrollo, implementación y gestión de proyectos de investigación que se centra en la estimación y modelización de las existencias y flujos de carbono en los bosques y los factores ambientales y humanos que influyen en ellos, que se ha traducido en más de 160 publicaciones. Ha trabajado como científica en la Unidad de Servicios de los Ecosistemas de Winrock International por cerca de cuatro años. Antes de unirse a Winrock, fue asistente, asociada y profesora titular del departamento forestal de la Universidad de Illinois en Champaign-Urbana.

Departamento de Energía (DOE): esta oficina del gobierno de los Estados Unidos tiene un Programa Voluntario para Reportar los Gases de Efecto Invernadero que funciona bajo la Oficina de Política y Asuntos Internacionales. Este programa tiene una serie de guías sobre cómo estimar emisiones de gases de efecto invernadero que incluye procedimientos para estimar cantidades de carbono almacenado en sistemas forestales y agroforestales.

2.1 Materiales y equipo utilizado

- Material cartográfico (fotografías aéreas, documentos cartográficos, imágenes de satélite, puntos de verificación)
- Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS)
- Brújulas
- Hipsómetro
- Clinómetro
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica
- Rastrillos
- Formularios para colecta de datos
- Marcadores
- Balanzas
- Bolsas de plástico
- Calibradores
- Contenedores de muestras del suelo (cilindro de 188 cm³)
- Tijeras de poda
- Serruchos
- Balanza de precisión (electrónicas)
- Bolsas de papel
- Horno de convección

2.2 Mapeo del sitio y ubicación de parcelas de muestreo

El punto crucial para llevar a cabo el muestreo en un sitio es la aceptación de la comunidad o municipalidad, principalmente porque parte del muestreo es destructivo. La comunidad debe estar debidamente informada sobre la naturaleza del muestreo y lo que puede implicar un proyecto de créditos de carbono si llegara a ocurrir.

Todo el trabajo de campo se ha realizado con el apoyo de los técnicos de las oficinas forestales municipales, líderes de las comunidades y especialistas del CEAB-UVG. Una vez que los bosques son identificados, los límites del bosque se establecen con la ayuda de las personas locales, quienes ubican a los técnicos en los mojones limítrofes del área para que puedan ser marcados con el GPS. Para georeferenciar los puntos se utilizan GPS como el Garmin V, GPSTMap 60CSx con una precisión de 5mts. Los

polígonos se generan por medio del programa de ArcGIS 9.3 con el cual se pueden hacer mapas, calcular áreas, y sobreponer fotos aéreas de alta resolución. Una vez el sitio ha sido mapeado, se generan puntos aleatorios dentro del polígono para determinar los puntos de muestreo. El número de puntos generados depende del tamaño del polígono (intensidad de muestreo mínima de 0.1% del área total). Se genera un 20% más de puntos aleatorios considerando que algunos de los puntos no se pueden alcanzar debido a las condiciones del terreno.

Protocolos aceptados a nivel internacional recomiendan minimizar las posibles fuentes de errores de medición y cálculo durante todo el proceso. Por lo tanto, el uso de dispositivos de posicionamiento electrónico y mapeo es recomendado. Por ejemplo, MacDicken (1997), dedica una sección entera a la recomendación del uso del GPS y distintos programas de mapeo. El CEAB-UVG, cuenta con un laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos bien equipado, además de una experiencia de más de 10 años en utilizar software y hardware específicos para el tema forestal. El CEAB-UVG junto con otras instituciones han elaborado los mapas sobre cobertura y dinámica forestal a nivel nacional, entre otros. Actualmente se está trabajando para generar el primer mapa a nivel nacional sobre el carbono capturado por plantaciones y bosques naturales de Guatemala.

2.3 Inventario forestal

Se usa una intensidad de muestreo entre 0,1% y 0,5% de la superficie total forestal, dependiendo de las características del bosque. El aspecto económico y el tiempo son limitantes que muchas veces dificultan que la intensidad de muestreo de un sitio en particular sea la que indica la teoría. Sin embargo, hemos comprobado que el porcentaje mencionado arriba es un balance razonable entre el error de muestreo y el costo-beneficio de un inventario de este tipo.

El método de muestreo utilizado por el CEAB-UVG considera la estratificación del bosque y la distribución de los puntos de muestreo de manera aleatoria. Éste método tam-

bién preferido por MacDicken (1997), ya que a menudo produce estimaciones más precisas que las otras opciones. El primer paso de esta metodología consiste en dividir el área en subpartes homogéneas. La estratificación se realiza mediante fotografías aéreas para clasificar los bosques en función del cierre de copas. El tamaño de la muestra depende de factores como el tamaño y variabilidad del bosque (determinada por las fotos aéreas e información local). Dentro del polígono a evaluar se generan puntos de muestreo de manera aleatoria utilizando el software ArcGIS el cual nos provee las coordenadas de cada punto los cuales serán ubicados en campo utilizando un GPS.

Todos los procedimientos descritos en las siguientes secciones para realizar un inventario forestal son procedimientos estándares forestales y completamente comparables con los descritos por otras fuentes.

El alto número de personas que viven alrededor y que usan los productos de los bosques del altiplano occidental de Guatemala hacen particularmente difícil el desarrollo de un esquema apropiado de muestreo debido a la alta variabilidad en cuanto al tamaño y densidad de árboles que puede existir en un bosque dado. El CEAB-UVG usa la información más actualizada para la estratificación de los sitios. Sin embargo, lo más actualizado para Guatemala son las fotos aéreas del 2006, que están quedando desactualizadas rápidamente, por lo que al llegar al campo se pueden encontrar condiciones diferentes. La alta variabilidad que presentan estos bosques resulta en una alta variabilidad en las estimaciones de carbono, no alcanzando el 10% de coeficiente de variación requerido por metodologías diseñadas para plantaciones o bosques con menor diversidad e intervención.

Una vez la ubicación de los puntos de muestreo está resuelta, el siguiente paso considera la forma y construcción de las parcelas de muestreo. El LULUCF Sourcebook (Pearson *et al.*, 2005) describe dos métodos válidos para la construcción de parcelas: parcelas individuales o simples y parcelas anidadas. Las parcelas anidadas son un diseño práctico adaptado para el muestreo de un amplio rango de diámetros de los árboles o para sitios con diá-

metros y densidades variables. Las parcelas individuales pueden ser preferibles en los sistemas con baja variabilidad, como las plantaciones forestales de una sola especie. El CEAB-UVG ha elegido utilizar las parcelas anidadas siendo consistentes con la variabilidad encontrada en los bosques de Guatemala.

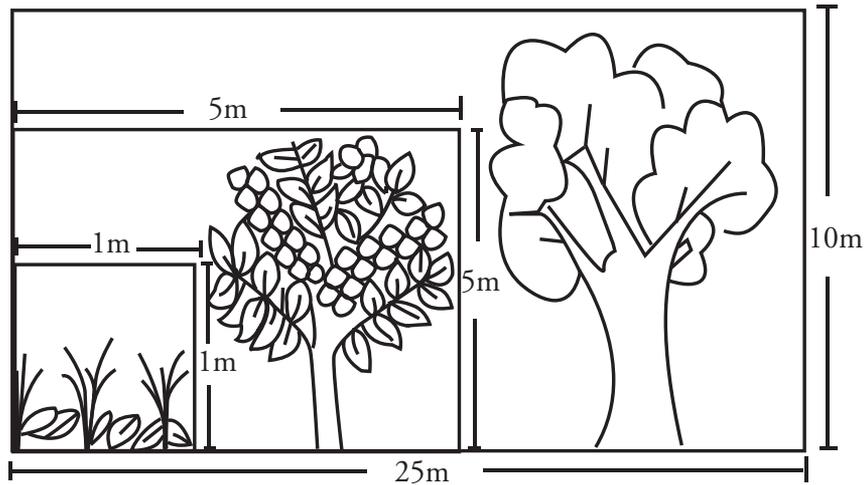
Las parcelas anidadas pueden tomar forma de rectángulos o círculos. Ambas formas son aceptadas por los protocolos internacionales (IPCC y REDD Sourcebook). Los técnicos que realizan los inventarios forestales pueden elegir la forma que deseen según su conveniencia, tomando en cuenta los recursos disponibles y las características del bosque. Para el proyecto de carbono de CARE el CEAB-UVG utilizó ambos tipos de parcelas: circulares y rectangulares anidadas. La parcela rectangular anidada es recomendable para sistemas naturales o plantaciones de baja variabilidad. Además, si la maleza es abundante, las parcelas rectangulares son más convenientes, ya que es más fácil su delimitación en campo. Si la vegetación menor es poca, entonces los círculos concéntricos son más fáciles de medir. Sin embargo, es importante señalar que el diseño de parcela que se utilice (circular o rectangular) no afecta a los resultados obtenidos (Pearson *et al.*, 2005; GOF-C-GOLD, 2009).

2.3.1 Parcelas rectangulares

El tamaño de la parcela rectangular mayor usada por el CEAB-UVG es de 25m de longitud y 10m de ancho, las dimensiones deben de ser ajustadas dependiendo la pendiente de inclinación del terreno con el fin de mantener constante el área de 250m² planimétricos. La orientación del rectángulo depende de las características topográficas, pero se acostumbra medir el largo de la parcela, paralelo a la pendiente y el ancho en contra, facilitando así la delimitación y trabajo dentro de ésta.

Dentro de la parcela grande se delimitan otras dos más pequeñas, a las cuales les corresponde la medición de otros componentes. La Figura 1, muestra la dimensión de las parcelas anidadas y los componentes que se evalúan en cada una de ellas.

Figura 1. Parcela rectangular de muestreo para la medición de carbono.

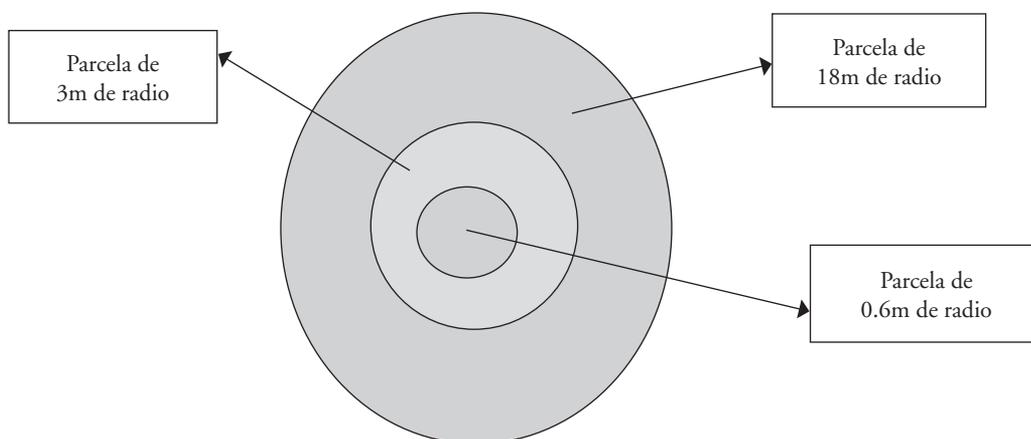


2.3.2 Círculos concéntricos

La otra forma de trazar parcelas anidadas es por medio de círculos concéntricos en donde el círculo mayor cubre una superficie de 1,018 m². Al igual que con las parcelas

rectangulares, las dimensiones pueden variar para compensar la pendiente de inclinación del terreno. El muestreo está formado por la combinación de las subparcelas anidadas de acuerdo a la Figura 2, un resumen de las parcelas usadas se muestra en el Cuadro 2.

Figura 2. Parcelas circulares de muestreo para la medición de carbono.



Cuadro 2
Tamaños y componentes de carbono evaluados en cada subparcela

Subparcela	Dimensión / Área		Componente evaluado
	Circular	Rectangular	
1ra. subparcela	R = 0,6 m A = 1m ²	1m x 1m A = 1m ²	Maleza, hojarasca y el suelo.
2da. subparcela	R = 3m A = 28m ²	5m x 5m A = 25m ²	Árboles jóvenes y arbustos, entre 2,5 y 9,9 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP)
3ra. subparcela	Primeros años: R = 10 m, A = 314.2m ² Últimos años: R = 18 m A = 1,018m ²	25m x 10m A = 250m ²	Árboles mayores de 10cm de DAP

Las parcelas usadas por el CEAB-UVG son más pequeñas que las que sugiere el IPCC, como se muestra en el Cuadro 3 (Pearson *et al.*, 2007). Sin embargo, ellos mismos hacen hincapié en que las dimensiones pueden variar tomando en cuenta la topografía o dificultad del terrenos, pero siendo más pequeñas el número de parcelas debe de aumentar para alcanzar el área de muestreo deseada.

Cuadro 3
Dimensiones y tamaños de tallos recomendados para las parcelas anidadas

Diámetro del Tallo	Parcela Circular (radio)	Parcela Rectangular
<5 cm de dap	1m	2x2 m
20.5 cm de dap	4m	7x7m
20-50 cm de dap	14m	25x25m
> 50 cm de dap	20m	35x35m

(Pearson *et al.*, 2005)

2.4 Carbono almacenado en la vegetación

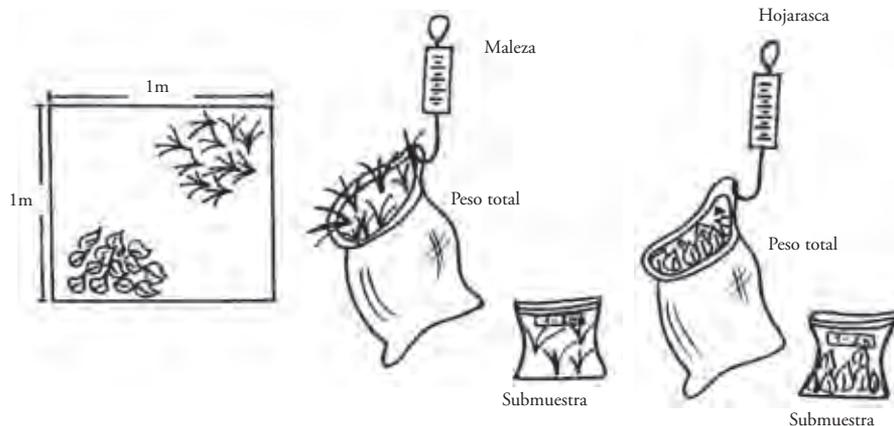
2.4.1 Mediciones y muestreo de campo

En cada parcela los datos generales como las coordenadas, orientación, pendiente, fecha de colecta y algunas referencias geográficas son registrados para que en futuras visitas los puntos de muestreo puedan ser encontrados con mayor facilidad.

a) Primera subparcela: maleza, hojarasca y suelo

Los componentes como la maleza, hojarasca y suelo se muestrean en la primera subparcela (1m²). De primero se colecta todo el material vegetal vivo dentro del 1m² para luego juntar la hojarasca. El total de estos componentes se pesa individualmente. El peso obtenido se conoce como el peso húmedo total. Una pequeña muestra de cada componente es colectada para determinar el contenido de humedad en el laboratorio para calcular la biomasa seca y por último el carbono (ver Figura 3).

Figura 3
Separación, peso húmedo total y colecta de muestras de la maleza y hojarasca en la primera subparcela



b) Segunda subparcela: árboles jóvenes y arbustos

En esta subparcela se miden los árboles jóvenes y arbustos, definidos como plantas que tengan un diámetro entre 2,5 y 9.9cm, el cual se toma a la altura de la base (DBase), aproximadamente a 10cm por encima del suelo; también son colectadas la altura y el nombre de la especie.

c) Tercera subparcela: árboles grandes

En la parcela de mayor dimensión se realiza el inventario de los árboles que sean mayores de 10cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), 1.3m desde el suelo, además de registrar la altura y la especie. Estas variables se sustituyen en las ecuaciones de biomasa, para estimar la biomasa seca y carbono de cada árbol.

d) Raíces

La medición directa de la biomasa del estrato subterráneo (raíces) no se ha realizado, principalmente por la falta de presupuesto para completar esta laboriosa tarea. Esta actividad requiere de varios días de trabajo ya que implica la extracción completa de las raíces que muchas veces son profundas y extensas. Hay literatura existente sobre estudios que aproximan la biomasa subterránea como un porcentaje de la biomasa por encima del suelo. Winrock International

(Pearson *et al.*, 2005), así como el REDD Sourcebook (GOFC-GOLD, 2009) reconocen las dificultades para medir la biomasa en las raíces. Por lo tanto, aceptan el uso de métodos de estimación indirecta, como las tablas proporcionadas por el IPCC (2003), en donde se puede elegir el factor (% de la biomasa arriba del suelo) a utilizar dependiendo el tipo de bosque en el cual se esté llevando a cabo el estudio.

e) Madera semi-muerta y muerta

Este componente es otro que no se ha medido dentro de nuestra metodología. Algunas metodologías reconocidas (Pearson *et al.*, 2005) mencionan que si el componente no aporta mucho al total de carbono del sistema, su medición puede ser ignorada. Y este es el caso de los bosques del altiplano occidental de Guatemala en donde los bosques son altamente intervenidos por las comunidades cercanas para la extracción de leña, quienes no dejan pasar la oportunidad de coleccionar ramas o troncos muertos al caer éstos al suelo.

2.4.2 Trabajo de campo para generar ecuaciones de biomasa

El objetivo de generar una ecuación de biomasa es relacionar alguna variable alométrica (DAP, altura) con la bio-

masa total de un árbol. La ecuación de biomasa es una regresión matemática entre una variable de tamaño (diámetro y altura) medida en campo y el peso seco obtenido luego de un muestreo destructivo de una especie representativa del sitio y los resultados del análisis de humedad en laboratorio. Las ecuaciones de biomasa son específicas para cada especie ya que la biomasa está muy relacionada con la densidad de la madera.

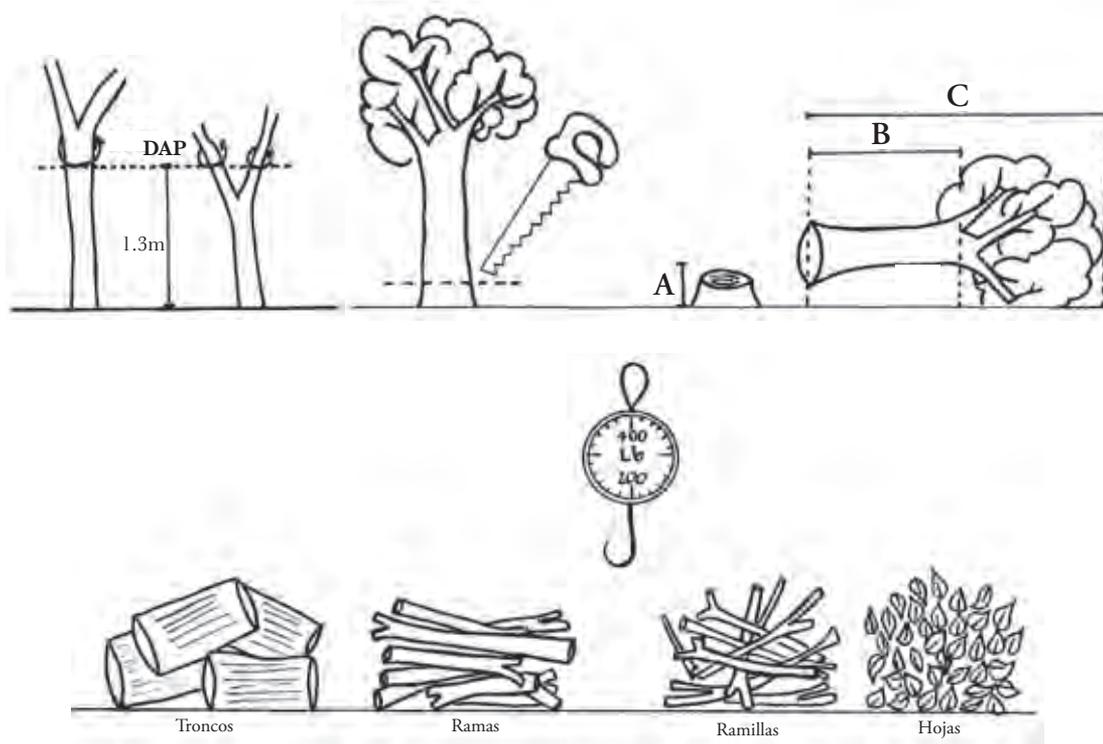
Sería ideal poder contar con ecuaciones para cada una de las especies que podamos encontrar en un bosque pero eso requeriría aplicar un muestreo destructivo, cuya labor es bastante intensa, particularmente con los árboles grandes. Existen ecuaciones genéricas que combinan distintas especies de árboles. Sin embargo, hay que tener cuidado de separar las coníferas de las latifoliadas, debido a que las características que influyen en la cantidad de biomasa para ambos grupos son diferentes. En el caso de este estudio, se corta un aproximado de 20 árboles por cada ecuación generada.

Los árboles seleccionados para cortar y recabar la información necesaria para las ecuaciones deben de ser representativos del bosque o sistema a evaluar. Preferiblemente se eligen árboles de diferente tamaño (rango diamétrico) con el propósito de crear una ecuación de regresión que represente las diversidad de tamaños de los individuos posibles a encontrar.

Los pasos requeridos para coleccionar la información para generar las ecuaciones de biomasa son:

- 1) Selección de los árboles que van a ser talados, teniendo en cuenta el DAP, edad u otra variable de clasificación que represente el sitio.
- 2) Geoposicionar el árbol utilizando un GPS.
- 3) Medir el DBase, aproximadamente a 30cm del suelo
- 4) Medir el DAP, 1.3m del suelo, antes de cortarlo.
- 5) Una vez que el árbol esté cortado y en el suelo, el diámetro del tronco se mide cada dos metros, hasta la primera rama o bifurcación. La longitud desde la base hasta la primera rama es también conocida como "altura comercial" (sección B, Figura 4). Esta medición ayuda a determinar el volumen del tronco para después calcular el factor de expansión el cual facilita la conversión de inventarios tradicionales de volumen en inventarios de biomasa.
- 6) Medir la altura total del árbol incluyendo desde el tocón hasta la copa (secciones A+B+C. Figura 4).
- 7) El árbol es separado en componentes: tronco, ramas, ramillas y hojas.
- 8) Se pesa independientemente cada componente para obtener el peso húmedo total de cada uno.
- 9) Se colecta una muestra de cada componente dentro de bolsas plásticas bien identificadas para determinar el contenido de humedad en el laboratorio

Figura 4
Técnica utilizada para estimar el peso del árbol



2.4.3 Análisis de laboratorio y cálculos

El proceso descrito anteriormente busca la estimación del peso de los árboles en función del diámetro y/o altura de los individuos y en el peso húmedo de los otros componentes. El siguiente paso consiste en estimar el peso seco de todos los componentes. Una muestra de cada componente es colectada y llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad con el fin de poder calcular el peso seco total.

a) Determinación del contenido de humedad del material vegetal.

Para determinar el porcentaje de materia seca, las muestras se colocan en un horno de convección, a temperaturas bajas y constantes previniendo la quema de estas.

Las muestras vegetales siguen los siguientes pasos:

1. Se pesa la muestra para conocer el peso húmedo. Este peso se recomienda que se obtenga en el campo.
2. Las muestras se colocan dentro de bolsas de papel.
3. Las muestras se ponen en un horno de convección de 50°C a 60°C. Estas temperaturas son inferiores a las recomendadas por otros grupos (Avoided Deforestation Partners, 2009), pero esto asegura que las muestras se mantengan en buenas condiciones durante el proceso de secado. Dichas temperaturas también implican que las muestras requieran de un mayor número de días para eliminar toda la humedad.
4. Todos los días el peso de las muestras se observa, hasta alcanzar un peso constante, que nos indica el peso seco. Con este dato y el peso húmedo original de la muestra se determina el porcentaje de materia seca.

b) Estimación de biomasa seca

Teniendo el peso húmedo y seco de las muestras vegetales, el cociente que se obtiene de la siguiente ecuación representa el porcentaje de materia seca:

$$MS = PS/PH \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: MS = materia seca de la muestra ; PS = Peso seco de la muestra (g); PH = Peso húmedo de la muestra (g).

La conversión del peso húmedo de campo a biomasa se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$BT = PHc \times MS \quad \text{(Ecuación. 2)}$$

Donde: BT = Biomasa total Seca (Kg.) de la hojarasca, maleza, arbustos o árboles jóvenes; PHc = Peso húmedo total registrado en campo (Kg.); MS = materia seca de la muestra.

c) Densidad de carbono y contenido total de carbono en maleza y hojarasca

La conversión de biomasa seca a carbono se hace utilizando el factor de conversión estándar de 0.5 (IPCC, 2003). El uso de este factor es ampliamente encontrado en la literatura. Según nuestra experiencia el contenido de biomasa del material vegetal que hemos medido oscila de 0.45 a 0.48. El error que resulta de utilizar el 0.5 es insignificante al compararlo con el error que surge del uso de las ecuaciones genéricas de biomasa y la variabilidad natural de los bosque.

Para la maleza y hojarasca medidas en la parcela pequeña, el contenido de carbono es convertido a toneladas para luego dividirlo dentro del área de muestreo, en hectáreas, usando la Ecuación 3.

$$tC/ha = (BT \times 0.5/1000) / \text{área parcela (ha)}$$

(Ecuación 3)

El resultado de la Ecuación 3, se conoce como *Densidad de Carbono*, el cual se promedia con el resultado de las otras parcelas. Este promedio es utilizado para calcular el *Contenido de Carbono Total* en estos componentes multiplicándolo por el área total del bosque, como lo podemos observar en la Ecuación 4.

$$CT_{m-h} = \text{Densidad de carbono} \times \text{área total del bosque}$$

(Ecuación 4)

d) Densidad de Carbono y contenido total de carbono en árboles y arbustos

Para la vegetación como arbustos, árboles jóvenes y adultos, las ecuaciones de biomasa son utilizadas para convertir las variables de tamaño en biomasa. Si el número de arbustos y árboles jóvenes fueran pocos, la biomasa de éstos se puede medir directamente cortando todo el material encontrado dentro de la subparcela. Si este fuera el caso, es necesario coleccionar muestras y llevarlas al laboratorio para determinar materia seca, como se ha explicado con anterioridad.

Cuando no es posible cortar los individuos, como los árboles grandes, las ecuaciones de biomasa son necesarias. Idealmente, las ecuaciones deben ser desarrolladas localmente para las distintas especies o tipos de plantas. En la práctica, las ecuaciones genéricas desarrolladas por otros investigadores en varias partes del mundo son usadas cuando el tiempo y los recursos no permiten llevar a cabo el intenso trabajo de campo que implica la generación de una de éstas ecuaciones.

Estas ecuaciones generales son reconocidas por otras metodologías y pueden ser utilizadas para hacer aproximaciones de casos locales. Utilizar las ecuaciones genéricas tiene la ventaja de ahorrar tiempo y esfuerzo, puesto que ya están aprobadas y disponibles para su uso. Sin embargo, las especies incluidas en las fórmulas genéricas no siempre son las mismas que las que se miden en el área de interés, por lo que, a pesar de que incluyen muchas especies

de diferentes lugares, estas no son completamente equivalentes a las ecuaciones desarrolladas localmente. También debe considerarse el tipo de bosque (conífero o latifoliado), rangos de DAP's, rangos de precipitación, zonas de vida y altitud para su correcta aplicación.

El CEAB-UVG ha desarrollado ecuaciones de biomasa específicas para algunas especies que son comunes en Guatemala (*Pinus* spp., *Quercus* spp., entre otras).

Cuadro 4
Resumen de las ecuaciones más comunes utilizadas para los bosques mixtos del altiplano occidental de Guatemala

Tipo de Bosque	Precipitación (mm / año)	Ecuación	Rango de DAP (cm)	r ²	Referencia
Latifoliada genérica (seco)	900 - 1500	$Y = 0.2035 \times (\text{DAP})^{2.3196}$	1 - 63	0.97	Pearson <i>et al.</i> , 2005
Latifoliada genérica (húmedo)	1500 - 4000	$Y = \exp[-2.289 + 2.649 \times \ln(\text{dbh}) - 0.021 \times (\ln(\text{dbh}))^2]$	5 - 148	0.98	Pearson <i>et al.</i> , 2005
Latifoliada local <i>Quercus</i> spp.	900-1500	$Y = 0,1773 \times (2,2846 \wedge \text{DAP})$	11 - 45	0.86	CEAB-UVG
Conífera Local	1000-2500 aprox.	$Y = 0,1377 \times (\text{DAP})^{2.4038}$	5 - 52	0.94	CEAB-UVG

Las ecuaciones del Cuadro 4 nos ayudan a estimar la biomasa arriba del suelo. Para estimar la biomasa abajo del suelo se usan los factores estándares encontrados en la literatura (IPCC, 2003) de acuerdo al tipo de árbol y bosque que pertenezca.

Una vez calculada la biomasa por árbol, el siguiente paso es calcular la densidad de carbono por hectárea y el total de carbono. Con ese propósito, el promedio del contenido de carbono por árbol debe ser calculado. Al inicio se usó un procedimiento estándar forestal, en donde la unidad de cálculo era la parcela. Por lo tanto, todos los árboles de cada parcela eran sumados y después el resultado de cada parcela se promediaba.

Sin embargo, debido a la variabilidad de tamaños de árboles dentro de cada parcela, la desviación estándar de las parcelas resultaba alta, de 50% hasta arriba del 100% del valor de la

media. El problema más común encontrado en las mediciones era que dentro del bosque aparecía uno o varios árboles grandes (con DAP mayor a 1m), provocando la sobrestimación de carbono, al resultar una media no representativa, sobre todo cuando las parcelas son pocas.

Considerando esa situación, se consultó con varios expertos en estadística y se decidió definir como la unidad de cálculo los árboles individuales, en vez de la parcela. Esto hace que se tenga un mayor número de unidades muestrales (total de árboles inventariados), reduciendo a la vez el efecto que los árboles grandes provocan en la variabilidad de los resultados; la media general del bosque no cambia. En este nuevo sistema de cálculo, la biomasa se estima para cada árbol por individual, se calcula un promedio utilizando la parcela como un sistema de submuestreo para calcular la varianza de la media. La conversión

de carbono de cada árbol se hace utilizando el factor de 0.5 y se multiplica por la densidad de árboles en un área dada (nuestra parcela), aplicando la ecuación 5.

$$tC/Ha = \text{Promedio de carbono por árbol} \times \text{densidad de árboles (árboles/ha)}$$

(Ecuación 5)

Este nuevo enfoque reduce la variabilidad en un 20%-30%, y en algunos casos hasta el 50%. Este es el resultado de dos

mejoras: primero, el tamaño de la muestra se incrementa, se usa el total de árboles en vez de las parcelas; segundo, las parcelas aun se utilizan pero sólo para calcular la densidad de árboles en un área, variable que no tiene tanta variabilidad. Es importante notar que a pesar de estos cambios, la variabilidad de los resultados de carbono aun siguen estando arriba de 10%, requisito usual para plantaciones forestales. Debido a que los bosques evaluados no son plantados y tienen intervención humana, la variabilidad aun sigue siendo alta, lo cual se ve reflejado en los resultados de carbono.

Cuadro 5
Comparación de las dos metodologías estadísticas, utilizando como unidad de medida las parcelas por un lado y los árboles por otro

Estimaciones con parcelas como unidad de medida	Estimaciones con árboles como unidad de medida
1. La ecuación de biomasa se utiliza con el diámetro de los árboles medidos	1. La ecuación de biomasa se utiliza con el diámetro de los árboles medidos
2. Se multiplica la biomasa por árbol obtenido anteriormente por el factor 0,5 para convertirlo a carbono por árbol	2. Se multiplica la biomasa por árbol obtenido anteriormente por el factor 0,5 para convertirlo a carbono por árbol
3. Se suma el carbono de todos los árboles en cada parcela y se divide por el área de la parcela para estimar la densidad de carbono.	3. Se calcula el promedio del contenido de carbono de todos los árboles medidos, no importando la parcela a la cual pertenecía. El tamaño de la muestra es el de todos los árboles inventariados.
4. Se calcula el promedio de densidad de carbono estimado por todas las parcelas medidas. El tamaño de la muestra es el de todas las parcelas evaluadas.	4. El promedio de carbono por árbol se multiplica por la densidad de árboles estimada.
5. Se multiplica la densidad media de carbono por la superficie forestal total (Ecuación 4), para obtener el <u>Carbono Total en los árboles (CTa)</u>	5. Se multiplica la densidad media de carbono por la superficie forestal total (Ecuación 4), para obtener el <u>Carbono Total en los árboles (CTa)</u>

2.5 Carbono almacenado en los suelos

La medición de carbono en los suelos es un procedimiento completamente diferente que el de carbono en la vegetación, por esta razón la presente sección es propia de suelos.

2.5.1 Toma de muestras en campo

Las muestras de suelo se toman dentro de la primera subparcela, la más pequeña, si las condiciones lo permi-

ten, si no puede tomarse dentro del área del resto de subparcelas. Para medir el contenido de carbono en el suelo, el área donde se coleccionará la muestra debe estar limpia de materia orgánica. La toma de muestras del suelo se lleva a cabo al azar dentro de la parcela menor y consiste en insertar un tubo de volumen conocido en el suelo. El CEAB-UVG usa un tubo de 10cm con un volumen de 188cc que viene como parte de un equipo estándar para muestrear suelos. La muestra se coloca en una bolsa plástica bien identificada y se lleva al laboratorio para analizar el nivel de carbono.

2.5.2 *Análisis de laboratorio para muestras de suelo*

Las muestras de suelo están sujetas a los siguientes pasos:

1. Se colocan en un recipiente abierto para secarlas al aire libre (aproximadamente 3-5 días). Es importante ser cuidadoso de no exponer las muestras bajo la luz solar directa para evitar la oxidación de materia orgánica. También es importante romper los gránulos que el suelo pueda haber formado, permitiendo así una aireación y secado más rápido.
2. Las muestras secas al aire son procesadas por medio de un tamiz # 10 (aberturas de 2 mm) para separar las rocas del suelo fino (Avoided Deforestation Partners, 2009).
3. Se pesa por separado el suelo fino y las rocas. Las rocas no se incluyen en los cálculos posteriores porque se asume que no tienen cantidades significativas de carbono.
(Si fuera necesario, las muestras de suelo fino se almacenan y se sellan en bolsas plásticas para determinar el nivel de materia orgánica posteriormente).
4. Previo al análisis de carbono la muestra de suelo fino se pasa por otro tamiz, # 100 (aberturas de 150 micrómetros). La segunda tamizada es necesaria para obtener una muestra más homogénea para el analizador de carbono.
5. 1g de esa muestra muy fina se coloca en el horno y se seca a 105°C (Avoided Deforestation Partners, 2009) durante 2 horas para estimar la humedad.
6. Paralelamente, una segunda muestra se utiliza para estimar el porcentaje de carbono en el suelo por medio del analizador de carbono y nitrógeno (Flash EA 1112 de Elantech)
7. El analizador de carbono y nitrógeno se calibra con ácido aspártico proporcionado por el fabricante (ácido L-aspártico de prueba -Termo Electro Sp.A: C: 36,09%, N: 10,52%).
8. La calibración del aparato se prueba con un suelo estándar proveído por el fabricante.
9. Después de que el analizador está correctamente calibrado, las muestras de suelo se colocan dentro del

analizador y se determina automáticamente el porcentaje de carbono y nitrógeno.

10. Procedimientos estándar de control de calidad (QC/QA) se utilizan incluyendo la inyección de duplicados, suelo estándar y blancos durante toda la secuencia del análisis.

Durante los primeros inventarios de carbono el CEAB-UVG utilizaba el método estándar Walkley-Black (1965) para la estimación de carbono en el suelo. Este método se basa en la oxidación del carbono activo del suelo, usando ácido crómico con un exceso de sulfato ferroso concentrado. El ácido crómico se mezcla con el suelo, y después esta mezcla se titula con el sulfato ferroso, hasta que la muestra cambia de color, lo que nos indica que el carbono fue oxidado completamente. Existe una relación lineal entre la cantidad de sulfato ferroso usado y el contenido de carbono, y conociendo la cantidad utilizada de sulfato es como se puede estimar el carbono del suelo.

El método de Walkley-Black fue posteriormente sustituido por el analizador de carbono automático. El método químico tiene errores y menos precisión debido a que depende mucho de las habilidades, destrezas y capacidad de percepción del laboratorista. Utilizando el analizador de carbono se logran los resultados en menor tiempo, mayor precisión y una cantidad casi nula de desechos, por lo que actualmente únicamente se usa este método.

2.5.3 *Densidad de carbono y contenido total de carbono en los suelos*

Para obtener la cantidad total de carbono en el suelo del bosque evaluado, es necesario realizar los siguientes cálculos después de los análisis de laboratorio. El peso de la fracción fina se obtiene en el laboratorio y, después de tener en cuenta el volumen predeterminado del tubo de muestreo, la densidad aparente del suelo se determina utilizando la siguiente ecuación, variable que será utilizada para el cálculo total del carbono en el suelo (Ecuación 6).

$$D = PSf / Vol$$

(Ecuación 6)

Donde: D = Densidad del suelo (g/cm^3); PSf = Peso seco de la fracción fina (g); Vol = Volumen del cilindro (cc).

Para calcular la densidad de carbono en el suelo se usa la Ecuación 7.

$$\mathbf{tC/ha_s = Prof. \times D \times \% CO} \quad \mathbf{(Ecuación 7)}$$

Donde: tC/ha_s = Densidad de Carbono en el suelo, en los primeros 10 cm de suelo (tonC/ha); Prof. = Profundidad del muestreo (cm); D = Densidad (g/cm^3); %C.O. = Contenido porcentual de carbono orgánico en el suelo.

Para obtener *Carbono Total en suelos*, el promedio de la densidad del suelo se multiplica por el total del área del bosque, como en la ecuación 4.

2.6 Contenido total de carbono en el bosque

Con el fin de obtener la cantidad total de carbono en la superficie del bosque, la cantidad del carbono estimado por cada componente se debe sumar:

$$\mathbf{CTb = CTm + CTh + CTa + CTs} \quad \mathbf{(Ecuación 8)}$$

Dónde: CTb = Carbono total en el bosque (toneladas); CTm = Carbono total en la maleza; CTh = Carbono total en la hojarasca; CTa = Carbono total en los árboles; CTs = Carbono total en el suelo.

3. Incertidumbre de la estimación

La estimación del total de carbono (ecuación 8) tiene un nivel de incertidumbre que es determinado por la incertidumbre de cada componente. Las incertidumbres de los componentes son calculadas por separado y la total se calcula promediando las varianzas individuales utilizando procedimientos estadísticos estándares. El nivel de variación en los resultados individuales dependerá del tamaño de la muestra y la variabilidad real encontrada en campo. Normalmente, el componente con mayor variabilidad es el suelo, que usualmente es el componente con menos

muestras debido al alto costo del análisis de éstas. Por lo que el suelo es el que usualmente aporta mayor error a la estimación total de carbono en un bosque.

Como se discutió con anterioridad la variabilidad en árboles también puede ser alta, en especial en bosques naturales e intervenidos. Estimar la varianza utilizando los árboles como unidad de análisis es una forma de reducir este problema.

4. Conclusiones

El presente informe describe con detalle la metodología utilizada por el CEAB-UVG para la estimación del contenido de carbono en bosques o sistemas agroforestales de Guatemala. Cada uno de los pasos está comparado con informes y estudios realizados por organismos internacionales, así como empresas líderes de consultorías especializadas en mediciones de carbono y cambio climático. La metodología descrita en este documento ha sido desarrollada durante los últimos 10 años como resultado de la práctica y adaptación a condiciones locales encontradas en los bosques de Guatemala. Es importante mencionar que esta metodología está basada en los procedimientos forestales estándares con algunos pequeños cambios para adaptarla a las condiciones locales.

La ciencia de la medición de carbono está constantemente haciendo mejoras, de igual manera, en el CEAB-UVG

hemos buscado mejorar las áreas en donde el error estándar era alto, particularmente en la generación de ecuaciones a nivel local y la estimación de la variabilidad total de los resultados. Constantemente se apoya a estudiantes que realizan sus tesis, trabajamos conjuntamente con distintas organizaciones y centros de investigación para sugerir modificaciones a ésta metodología para que se adapten a sus necesidades.

De esta manera, el CEAB-UVG está contribuyendo con literatura sobre el tema de medición de carbono. También se trabaja en integrar la base de datos de mediciones de carbono de más de 12 años, con el objetivo final de generar el mapa de línea base sobre el carbono capturado por los ecosistemas terrestres en Guatemala. Esto ayudará a los esfuerzos nacionales que buscan presentar proyectos sobre secuestro de carbono y deforestación evitada.

5. Literatura citada y bibliografía

Avoided Deforestation Partners. 2009. REDD Methodology Framework. Version 1.0 http://www.netinform.net/KE/files/pdf/1_REDD-MF%20REDD%20methodology%20framework%20v1.1.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Castellanos, E y C. Flores. 2006. "Estimación del Contenido de Carbono en Bosques del Altiplano Occidental de Guatemala". Informe de Mediciones del año 2004. Universidad del Valle de Guatemala y CARE Guatemala. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/ceab/cea/informes%20de%20proyectos/Informe%20%20de%20Carbono%20I_2004.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Castellanos, E. Bonilla, C. Quilo, A. 2007. Cuantificación de carbono capturado por bosques comunales y municipales de cuatro municipios de los departamentos de San Marcos y Huehuetenango. Informe final Proyecto AGROCYT 051-2004. Universidad del Valle de Guatemala y CARE Guatemala. <http://www.uvg.edu.gt/investigacion/ceab/cea/informes%20de%20proyectos/Informe%20Carbono%202.pdf>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Córdova, L. 2002. Estimación de Biomasa y Carbono para *Pinus oocarpa* Schied, *P. maximinoi* H.E. Moore y *P. Caribaea morelet*. Var. *hondurensis* en algunos bosques naturales de Guatemala. Tesis, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

CONAP. 2008. Guatemala y su biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Oficina Técnica de Biodiversidad. Guatemala.

GOFC-GOLD. 2009. REDD Sourcebook. Global Observation of Forest a Land Cover Dynamics. http://www.gofc-gold.uni-jena.de/redd/sourcebook/Sourcebook_Version_Nov_2009_cop15-1.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

IARNA. 2004. Perfil Ambiental de Guatemala, Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación

sistemática. Universidad Rafael Landívar e Instituto de Incidencia Ambiental. <http://www.infoiarna.org.gt/article.aspx?id=198>, revisado el 3 de noviembre de 2010.

IPCC. 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

IPCC. 2003. Good Practice Guidance for LULUCF. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html, revisado el 2 de noviembre de 2010.

MacDicken, K.G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development. Forest Carbon Monitoring Program. http://www.winrock.org/clean_energy/files/carbon.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

MAGA. 2002. Atlas Temático de la República de Guatemala. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Pearson, T., S. Walker y S. Brown. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-use change, and Agroforestry Projects. BioCarbon Fund and Winrock International. http://www.winrock.org/ecosystems/files/winrock-biocarbon_fund_sourcebook-compressed.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Pearson, T., S. Brown y R. Birdsey. 2007. Measurement Guidelines of Sequestration of Forest Carbon. General Technical Report NRS-18. USDA Forest Service. http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs18.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI). 2007. Model Rule 1/5/07 final version with corrections. http://www.rggi.org/docs/model_rule_corrected_1_5_07.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Schumacher, B. 2002. Methods for the determination of total organic carbon in soils and sediments. Ecological

Risk Assessment Support Center, US.EPA. <http://www.epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

UNFCCC. 2007. Approved afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology AR-AM0010. United Nations Framework Convention on Climate Change, Clean Development Mechanism Executive Board. http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/approved_ar.html, revisado el 2 de noviembre de 2010.

UNFCCC. 2009. "Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM Projects activities. A/R Methodological Tool". Ver. 2 <http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.pdf>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

U.S. DOE. 2007. Technical Guidelines Voluntary Reporting of Greenhouse Gases (1605(b)) Program. Chapter 1, Emissions Inventories; Part 1 Appendix: Forestry; Section 3: Measurement Protocols for Forest Carbon Sequestration.

U.S. Department of Energy. <http://www.eia.doe.gov/oiat/1605/Forestryappendix%5B1%5D.pdf>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Voluntary Carbon Standard. 2008. Voluntary Carbon Standard ver 2007.1. http://www.v-c-s.org/docs/Voluntary%20Carbon%20Standard%202007_1.pdf, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Voluntary Carbon Standard. 2008. Guidance of Agriculture, Forest and Other Land Uses Projects <http://www.v-c-s.org/docs/Guidance%20for%20AFOLU%20Projects.pdf>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

Voluntary Carbon Standard. 2008. Approved VCS Methodology VM0003 "Methodology for Improved Forest Management through Extension of Rotation Age". Ver 1. <http://www.v-c-s.org/docs/VM0003-Methodology-for-Improved-Forest-Management-through-Extension-of-Rotation-Age.pdf>, revisado el 2 de noviembre de 2010.

6. Anexos

Anexo 1: Inventarios forestales de carbono en el altiplano occidental de Guatemala, UVG-CARE

2004			
No.	Bosque	Municipalidad	Departamento
1	Chiquililá	San Idelfonso Ixtahuacán	Huehuetenango
2	Pozo de Piedra	San Idelfonso Ixtahuacán	Huehuetenango
3	El Ceñido	Tectitán	Huehuetenango
4	Cheosh	Tectitán	Huehuetenango
5	Ojo de Agua	Cabricán	Quetzaltenango
6	Xacaná Chiquito	Cabricán	Quetzaltenango
7	El Cebollín	Cabricán	Quetzaltenango
8	Txemuj	Huitán	Quetzaltenango
9	La Empalizada	Huitán	Quetzaltenango
10	Las Ventanas	San José Ojetenam	San Marcos
11	Guadalupe	San José Ojetenam	San Marcos
12	Bojonal	Sipacapa	San Marcos
13	Chalanchac	Tejutla	San Marcos
14	Xesaná	Santa María Chiquimula	Totonicapán
15	El Rancho	Santa María Chiquimula	Totonicapán
16	Tax	Totonicapán	Totonicapán
17	Chuamazán	Totonicapán	Totonicapán
18	Caxaj	Totonicapán	Totonicapán
2005 - 2006			
No.	Bosque	Municipalidad	Departamento
19	Cucuná	Tacaná	San Marcos
20	Chemealón	Tacaná	San Marcos
21	Tuichapze	Tacaná	San Marcos
22	Toninchincalaj	Tacaná	San Marcos
23	Sutquim	Tacaná	San Marcos
24	La Cumbre	Tacaná	San Marcos
25	La Libertad	Tacaná	San Marcos
26	El Grande Comunal	San José Ojetenam	San Marcos
27	Coscopik	San José Ojetenam	San Marcos
28	El Zapatillo	San José Ojetenam	San Marcos
29	El Astillero	San José Ojetenam	San Marcos
30	Las Nubes	San José Ojetenam	San Marcos
31	El Grande Municipal	San José Ojetenam	San Marcos
32	El Herrador	Cuilco	Huehuetenango

2005 - 2006			
No.	Bosque	Municipalidad	Departamento
33	Chimulaj	Cuilco	Huehuetenango
34	Sandoval	Cuilco	Huehuetenango
35	Jovi	Cuilco	Huehuetenango
36	Tuyá	Cuilco	Huehuetenango
37	El Progreso Uno	Tectitán	Huehuetenango
38	El Progreso Dos	Tectitán	Huehuetenango
39	El Espinero	Tectitán	Huehuetenango
40	La Avanzada	Tectitán	Huehuetenango
41	El Gavilucho	Tectitán	Huehuetenango
42	El Chalum	Tectitán	Huehuetenango
43	La Sombra	Tectitán	Huehuetenango
2007			
No.	Bosque	Municipalidad	Departamento
44	Leones	Santa María Chiquimula	Totonicapán
45	Xebé	Santa María Chiquimula	Totonicapán
46	Chuipac	Totonicapán	Totonicapán
47	Leoncitos	Santa María Chiquimula	Totonicapán
48	San Rafael 1	Tacaná	San Marcos
49	San Rafael 2	Tacaná	San Marcos
50	Tocanaque	Tacaná	San Marcos
51	Sanajabá 1	Tacaná	San Marcos
52	Sanajabá 2	Tacaná	San Marcos
53	Paxoj	Cabricán	Quetzaltenango
2008 - Bosques revisados			
No.	Bosque	Municipalidad	Departamento
54	Txemuuj	Huitán	Quetzaltenango
55	Ojo de Agua	Cabricán	Quetzaltenango
56	Cebollín	Cabricán	Quetzaltenango
57	Las Ventanas	San José Ojetenam	San Marcos
58	Guadalupe	San José Ojetenam	San Marcos

Anexo 2: Ubicación geográfica de los inventarios de carbono realizados en el altiplano occidental de Guatemala



