

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional
REDD/CCAD-GIZ

Mapeo de la Cobertura Forestal

► **Volumen, Biomasa y Carbono Forestal**

Sistemas de Monitoreo de Bosques

Herramientas

Bases Técnicas para la Construcción de Funciones Alométricas de volumen y biomasa en Centro América y República Dominicana

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN
BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional
REDD/CCAD-GIZ

Bases Técnicas para la Construcción de Funciones Alométricas de volumen y biomasa en Centroamérica y República Dominicana

Esta publicación muestra una serie de elementos técnicos y operacionales necesarios de considerar en la construcción de funciones alométricas y de volumen para la Región, en el marco de las actividades del Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ).
Componente III de Monitoreo y Reporte del Programa.

Publicado por:

Programa Regional REDD/CCAD-GIZ
Oficina Registrada Apartado Postal 755
Bulevar, Orden de Malta, Edificio GIZ, Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, La Libertad.
El Salvador, C.A.
E info@reddccadgiz.org
I www.reddccadgiz.org

Responsable:

Abner Jiménez, Especialista Sectorial.
Programa REDD/CCAD-GIZ
abner.jimenez@giz.de

Autores:

Patricio Emanuelli Avilés - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Fabián Milla Araneda - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Abner Jiménez Galo, Especialista Sectorial. Programa REDD/CCAD-GIZ

Equipo Técnico Regional de Monitoreo:

Ramón Díaz, Ministerio de Ambiente, República Dominicana
Wing Lau, INAFOR, Nicaragua
Marta Lucia Sanchez, MARENA, Nicaragua
Magalys Castillo, ANAM, Panamá
Efraín Duarte, ICF, Honduras
María Isabel Chavarria, SINAC, Costa Rica
German Novelo, FOREST DEPT, Belice
Rolando Montenegro, INAB, Guatemala
Francisco Rodriguez, MARN, El Salvador

Diseño Gráfico:

Alfonso Quiroz Hernández - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Maritza Toledo Vargas

Octubre 2014

Componente: Monitoreo y Reporte

Área Temática: Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

Enfoque Regional

ISBN 978-956-358-206-2

C O N T E N I D O S

1. RESUMEN	4	
2. INTRODUCCIÓN	5	
	9	Estado del arte respecto a funciones alométricas en Centroamérica y República Dominicana
3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE FUNCIONES ALOMÉTRICAS	13	
4. COMENTARIO FINAL	18	
5. BIBLIOGRAFÍA	19	

1. Resumen

En el marco de los objetivos del Componente de Monitoreo del Programa REDD-CCAD-GIZ surge el requerimiento de contar con factores de emisión locales, a fin de reportar los stocks y cambios de stock de carbono de los bosques de los países de la Región a nivel del tiers 2 o 3 del IPCC. En la Región Centroamericana existen más de 5000 especies arbóreas, lo que plantea un gran desafío si se quiere aplicar el tiers 3, vale decir, que se cuente con funciones de biomasa específicas, así como también si se apunta a reportar en función del método de estimación indirecto de biomasa, pues este último requiere contar con buenas funciones de volumen. Adicionalmente, las funciones de volumen son también un requisito fundamental para tomar decisiones relativas a la gestión forestal más allá del servicio ambiental de captura de carbono. Así, el Programa plantea un Plan de Evaluación de Volumen, Biomasa y Carbono en Centroamérica y la República Dominicana 2013-2015, que permita avanzar en la generación de los factores de emisión requeridos.

2. Introducción

La estimación del carbono que se encuentra secuestrado en los bosques es una parte esencial para la implementación de políticas de manejo, planes de mejora o proyectos para el control de las emisiones de CO₂ en el ambiente. Para la determinación de los montos de carbono y otros elementos químicos que existen en el bosque se utiliza la estimación de la biomasa del bosque (Schlegel, 2001). La biomasa forestal es definida como la cantidad de materia seca que existe en un árbol, componente del árbol o bosque por encima y por debajo del suelo, normalmente cuantificada en toneladas por hectáreas de peso seco o verde (Gayoso *et al.*, 2002). Es frecuente separarla por componentes ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca, madera muerta y materia orgánica del suelo (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2009a).

Los estudios de biomasa son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado, ya que la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1 (Arreaga, 2002).

Existen dos tipos de métodos para la estimación de la biomasa: los métodos directos destructivos e indirectos no destructivos.

El primer método consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco (Schlegel, 2001). Mediante este método se obtiene información de cada componente del árbol generándose funciones alométricas, las cuales se relacionan con algunas variables de estado del árbol como diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a la altura de tocón (DAT) y altura total (HT) (Gayoso *et al.*, 2002).



En el caso del método indirecto, se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste utilizando la densidad básica para determinar el peso seco total del árbol o del rodal (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2009b; Schlegel, 2001).

Las ecuaciones de biomasa son más exactas por ser específicas para cada parte del árbol y especie (Schlegel, 2001; Risio, 2012). La ventaja de esta técnica es que las prácticas destructivas se realizan una sola vez y a partir de las ecuaciones generadas se puede estimar la variable independiente basándose en datos de inventarios forestales (Arreaga, 2002). Sin embargo, presentan las desventajas de ser específicas para un mínimo grupo de individuos o especies y se trata de un método complejo, costoso y que puede ocasionar algún nivel de impacto en el ambiente al utilizar un muestreo destructivo cortando el árbol para su medición (Schlegel, 2001; Risio, 2012).

Respecto a las estimaciones a partir de funciones de volumen de fustes, la desventaja radica en que generalmente esta información sólo existe para un número limitado de especies (Gayoso *et al.*, 2002) y, además, la mayoría de las ecuaciones para determinar volumen sólo utilizan el diámetro normal y la altura total del árbol, por lo que no incluyen otros componentes como raíces, hojas y ramas (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009).

Adicionalmente, en estas estimaciones se requiere contar con información sobre la densidad básica de la madera, la cual se relaciona directamente con las propiedades físicas (rigidez y resistencia, hinchamiento y contracción), acústicas y térmicas de la madera (Muñoz *et al.*, 2010) y es indicadora de la calidad y el rendimiento de la misma y sus derivados (Arango *et al.*, 2001). Sin embargo, es afectada por la cantidad de madera temprana y tardía, el espesor de las paredes de las fibras, el tamaño y tipo de las células y su proporción relativa, espesor de las fibras y la composición química de la madera (Monteoliva *et al.*, 2002; Espina, 2006). Además, puede variar ampliamente dentro de un árbol, aumentando desde la médula hacia el exterior o axialmente desde la base del tronco hacia el ápice (Monteoliva *et al.*, 2002; Gutiérrez-Vásquez *et al.*, 2012). El patrón de variación de la densidad tiene relación también con la edad, dado que durante los primeros años el árbol produce madera con anillos de crecimiento anchos, donde hay una mayor proporción de madera temprana de baja densidad (Pereyra y Gelid, 2002).

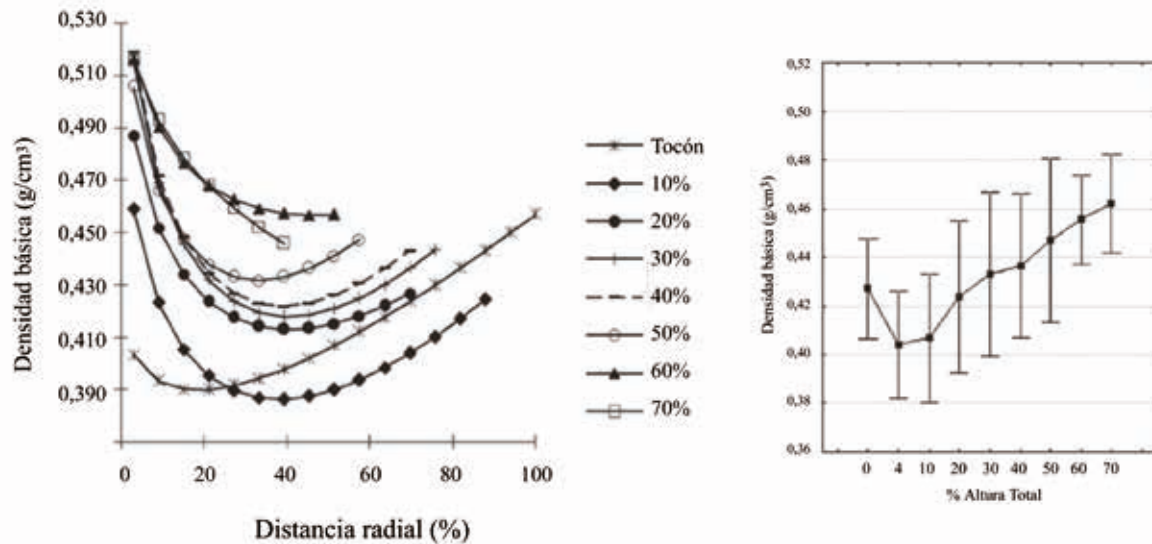


Fig. 2.
Variación radial y longitudinal de la densidad básica de la madera (Fuente: Omonte y Valenzuela, 2011)

Para determinar el peso seco total o biomasa total del árbol con información proveniente de inventarios forestales es posible la utilización de los factores de expansión de la biomasa (FEB) (Schlegel, 2001; Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009; Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2009b). El factor de expansión de la biomasa es la razón entre el total de biomasa (en base seca) por encima del suelo de los árboles y el total de biomasa (en base seca) de los fustes (Arreada, 2002). Los factores de expansión de biomasa difieren en función de muchas variables como las especies que componen el bosque, la edad, la estructura del rodal y la estación, y son aplicables factores diferentes a las existencias, el crecimiento y la extracción (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez *et al.*, 2009a).

Además, la contribución porcentual de los diferentes componentes (fuste, ramas, hojas y raíces) en la biomasa total de un árbol varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural. El componente

de un árbol que tiene mayor incidencia en la biomasa total es el fuste, aportando entre 55 – 70%. Las ramas, hojas y corteza representan individualmente, sólo pequeños porcentajes del total (10-37%, 3%, 5-16% respectivamente) (Parra, 2001).

En el marco de los objetivos del Componente de Monitoreo del Programa REDD-CCAD-GIZ surge el requerimiento de contar con factores de emisión locales, a fin de reportar los stocks y cambios de stock de carbono de los bosques de los países de la Región a nivel del tiers 2 o 3 del IPCC. En la Región Centroamericana existen más de 5000 especies arbóreas, lo que plantea un gran desafío si se quiere reportar a la CMNUCC a nivel del tiers 3, vale decir, que se cuente con funciones de biomasa específicas, así como también si se apunta a reportar en función del método de estimación indirecto de biomasa, pues este último requiere contar con buenas funciones de volumen. Adicionalmente, las funciones de volumen son también un requisito fundamental para tomar decisiones relativas a la gestión forestal más allá del servicio ambiental de captura de carbono. Así, el Programa plantea un plan de evaluación de volumen, biomasa y carbono en Centroamérica y la República Dominicana 2013-2015, que permita avanzar en la generación de los factores de emisión requeridos.

Estado del arte respecto a funciones alométricas en Centroamérica y República Dominicana

El desarrollo de investigaciones para la obtención de información específica de las características del bosque en los países de Centroamérica es aún escaso, es así como se mantiene la utilización de información general sobre aspectos esenciales, tales como la biomasa y el volumen, para la planificación a futuro de planes de acción locales, donde se necesita mayor exactitud en las estimaciones. Países como Honduras y Panamá presentan poca información sobre estimaciones de variables relevantes del bosque, por su parte El Salvador, Belice y República Dominicana muestran escasa información, mientras que Costa Rica es el país con mayor investigación.

El cuadro muestra el número de funciones de biomasa recopiladas durante la fase de revisión bibliográfica, separadas por país y componente. Se recopiló un total de 279 funciones. Costa Rica aporta con más de la mitad de las funciones

que se han generado (55%) y es el país donde claramente se han realizado la mayor cantidad de estudios y está a la vanguardia respecto del resto de los países. Lo siguen Nicaragua y Guatemala con un 24% y 14% de participación respectivamente.

En relación a los componentes de las ecuaciones recopiladas, se observa que se han desarrollado modelos orientados principalmente a la *biomasa aérea* participando con un 53% del total (147 ecuaciones). Esta considera la biomasa *sobre el suelo* donde se incluye componentes como fuste, ramas, follaje, frutos, etc. Para componentes individuales se encontró mayor participación en funciones de biomasa para *fuste y ramas* con 13% y 12% respectivamente. En menor grado biomasa de *hojas* 9% y *raíces* 5%. La *biomasa total*, aquella que incluye todos los componentes aéreos y subterráneos tiene muy poca participación 3% (8 ecuaciones) esto dado probablemente por la dificultad y costos que implica realizar estudios en relación a la obtención de biomasa aérea y de raíces al mismo tiempo.

Tabla 1. Número de funciones de biomasa por país y componente recopiladas y los porcentajes de participación por componente y país.

Biomasa	Número de Funciones por Componente															
País	Tocones	Tallos	Pastos	Frutos	Lianas	Requis	Madera	Ramas/ Follaje	Total	Raíces	Hojas	Ramas	Fuste	Aérea	Total	Partic. País %
Costa Rica	66	25	16	21	9	7		3	2	2	1		1		153	55
Nicaragua	35	10	13	4			6								68	24
Guatemala	35		5												40	14
Reg. Tropicales	7				3										10	4
Panamá	2				1	1						1		1	6	2
Honduras	2														2	1
Total	147	35	34	25	13	8	6	3	2	2	1	1	1	1	279	100
Partic. Comp. (%)	53	13	12	9	5	3	2	1	1	1	0	0	0	0	100	

Belice. El desarrollo de funciones relacionadas con características del bosque en Belice está aún en sus inicios y es casi nula. Viergever *et al.* (2008) y Brown *et al.* (2005) realizaron investigaciones tendientes a obtener información a través de utilización de imágenes satelitales de la Sabana, en ambos casos los sistemas no entregaron resultados satisfactorios al subestimar o sobrestimar valores de altura o cobertura aérea. Por otra parte Lambert *et al.* (1980) y Brown

et al. (2005) proponen metodologías de análisis en sabana y bosques tropicales secos mediante el método destructivo para la obtención del peso de las partes del árbol por separado, específicamente en el caso de Brown *et al.* (2005) los análisis apuntan al desarrollo de funciones alométricas. No se obtuvieron funciones locales o valores de referencia en las investigaciones desarrolladas por los autores.

Costa Rica. Es el país que muestra una mayor cantidad de información de la caracterización del bosque con respecto a los otros países de Centroamérica. La cantidad de estudios revisados y funciones generadas superan en número a todas las de los otros países. La mayoría de los estudios recabados utilizan el método directo, utilizándose también el método indirecto en congruencia con información de inventarios del bosque. Los modelos alométricos de biomasa tienen como variable predictora principal el DAP, con autores como Ávila (2000), Cifuentes-Jara (2008), Cole y Ewel (2006), Jobse (2008) que incluyen a la HT como segunda variable de estimación de la biomasa. La mayoría de las investigaciones se desarrollaron en bosques húmedos tropicales, montanos premontanos o secos. Las estimaciones de volumen son aún menos estudiadas: Cuenca (2009), Calero (2008), Redondo y Montagnini (2006), Campos *et al.* (2000), Segura (1999), Cubero y Rojas (1999), Redondo (2007), son los autores que incluyen estimaciones de volumen en sus análisis.

Guatemala. En Guatemala los análisis para el desarrollo de funciones se realizaron, en su mayoría, de manera indirecta para la determinación del peso de las partes del árbol, la altura y DAP. UNV/INAB/CONAP (2006) y López *et al.* (1999) realizaron muestreos indirectos mediante imágenes satelitales e inventarios forestales, respectivamente, mientras que Aguilar (2001) y Castellanos *et al.* (2007) utilizaron tanto el muestreo indirectos mediante valores dasométricos para el desarrollo de ecuaciones alométricas, como el muestreo directo destructivo, para dar mayor exactitud en el desarrollo de los análisis. Los muestreos realizados en el país fueron llevados a cabo en los bosques de coníferas, mixtos, naturales y latifoliadas, desde donde se obtuvieron modelos de biomasa con la variable DAP como la principal variable de correlación y la HT como la segunda con mayor correlación, siendo ocupada en menor frecuencia. Los autores Castellanos *et al.* (2007), OCIC (2000), Arreaga (2002) y López *et al.* (1999) desarrollaron factores de ajuste del volumen y de biomasa durante sus investigaciones, siendo este último factor obtenido del peso específico de la madera.

Honduras. Los análisis realizados en Honduras corresponden a muestreos indirectos mediante inventario forestal. Alberto y Elvir (2008) desarrollaron funciones de biomasa que incluyeron como única variable predictora al DAP, mientras que Ramírez y Salgado (2006) incluyen a la HT como segunda variable para la determinación de la biomasa aérea. Estos mismos autores incluyen ecuaciones para estimar el volumen donde utilizan el DAP y la HT para los cálculos. Los bosques analizados por los autores en Honduras se centraron en coníferas y plantaciones.

Nicaragua. A diferencia de los otros países, en Nicaragua los muestreos se realizaron mediante el método destructivo, principalmente en bosques húmedos tropicales, para la obtención del volumen y biomasa de cada una de las partes que componen el árbol. El desarrollo de funciones para la estimación de la biomasa incluye principalmente al DAP y a la HT. De las investigaciones analizadas, sólo Ruiz (2002) y Moraes (2001) desarrollan FEB para determinar la relación entre la biomasa de fuste en la biomasa total de los árboles.

Panamá. Las investigaciones realizadas en Panamá son tanto usando el método directo como el indirecto, utilizando información de inventarios forestales para su desarrollo. Los modelos alométricos locales generados por Kirby y Potvin (2007), Kraenzel *et al.* (2003) y Breugel *et al.* (2011) incluían al DAP como única variable predictora.

3. Metodología propuesta para la construcción de funciones alométricas

El Programa REDD-CCAD-GIZ propone un método de trabajo que permita combinar las ventajas de los métodos directo (destrutivo) e indirecto (uso de volumen, densidad básica y FEB) de estimación de biomasa forestal.

La propuesta plantea trabajar en función de los tipos de bosque de cada país, distribuyendo un total de 600 puntos de muestreo, lo que implicaría la evaluación de 18200 árboles en pie, para recopilar la información base de diámetros a distintas alturas mediante relascope electrónico (Criterion RD 1000), DAP y altura total para la construcción de funciones de volumen. Esto se logra midiendo en cada punto de muestreo seleccionado 32 árboles distribuidos sistemáticamente en las 4 direcciones geográficas y considerando los 8 árboles más cercanos al rumbo norte, este, sur y oeste respectivamente. Complementariamente, se recopilará en estos árboles muestras tarugos de incremento a la altura del DAP con la finalidad de evaluar la densidad básica de las especies.

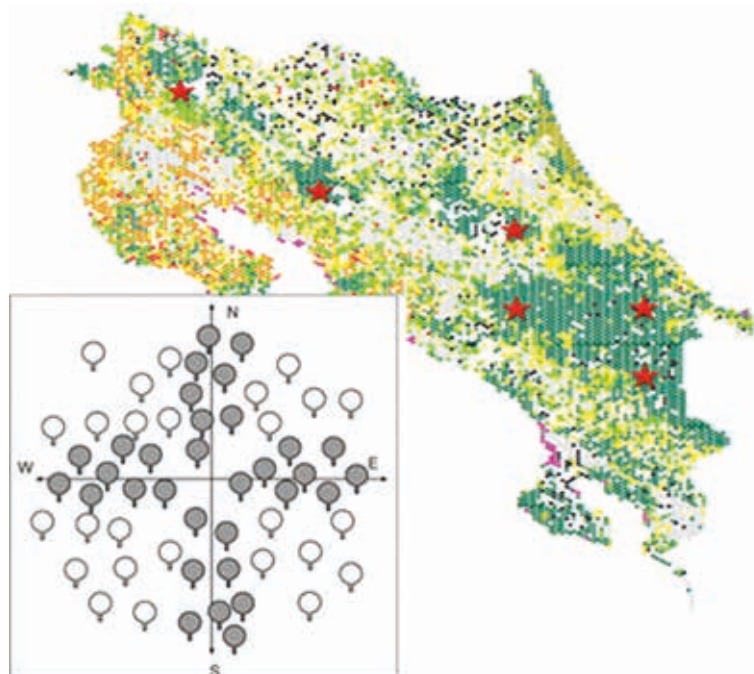


Fig. 3.
Distribución sistemática de 32 árboles, en torno a cada punto de muestreo, para la medición de árboles en pie.

A nivel Regional, se seleccionarán en una siguiente etapa 500 árboles muestra para aplicar el método destructivo y pesaje de los componentes de la biomasa aérea total. Estos árboles serán seleccionados de 100 puntos de muestreo de los 600 evaluados previamente, y en cada uno de ellos se escogerán en forma dirigida, de acuerdo a la importancia de las especies y el rango diamétrico detectado en la etapa previa, 5 de los árboles evaluados anteriormente en pie.

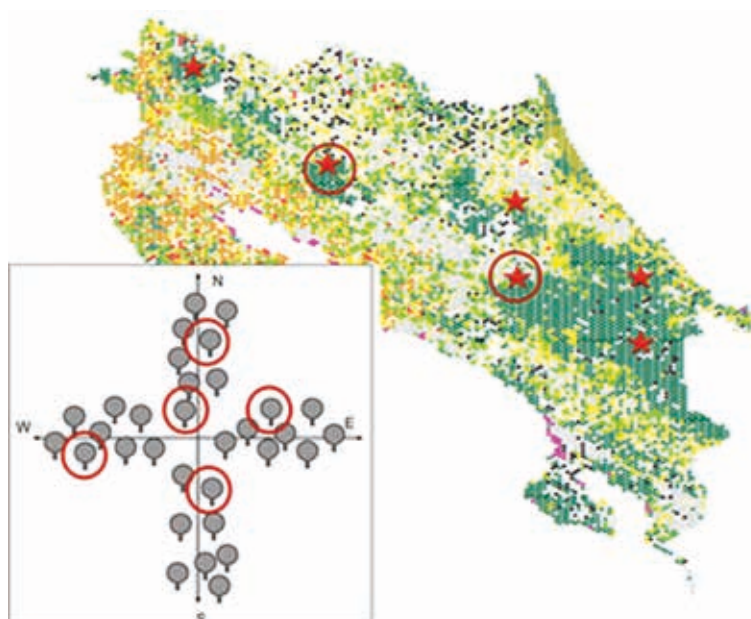


Fig. 4.
Selección de los puntos de muestreo y los árboles a ser evaluados con el método destructivo.

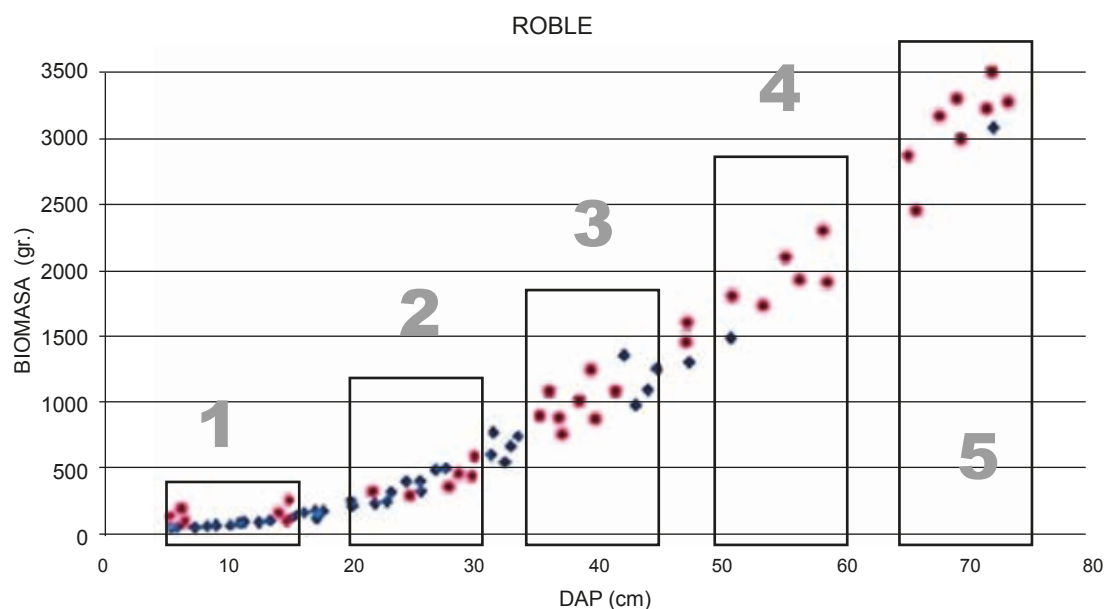


Fig. 5.
Ejemplo de selección dirigida de árboles considerando 5 grupos de clases diamétricas (Fuente: Gayoso y Guerra, 2013)

Se procederá al volteo, pesaje en terreno y recolección de las muestras que permitan evaluar el contenido de humedad y la densidad básica de cada uno de los árboles y sus componentes.

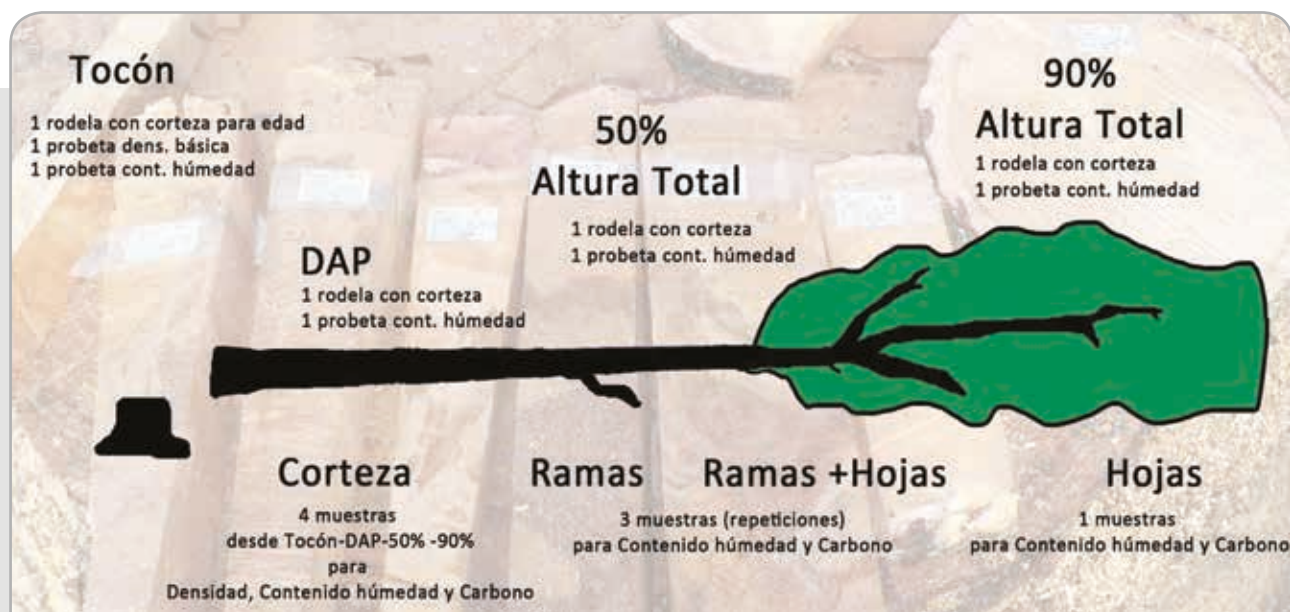


Fig. 6.
Ejemplo de selección de los puntos de recolección de muestras para los análisis de laboratorio en cada árbol volteado (Fuente: Gayoso y Guerra, 2013)

Con estos antecedentes se podrá desarrollar funciones de biomasa total, de biomasa por componente, y relaciones matemáticas que permitan estimar densidad básica y factores de expansión de biomasa en función del DAP. Asimismo, con la correspondencia entre la información obtenida mediante el método destructivo y la derivada de la medición de los árboles en pie, será posible realizar un análisis de la exactitud y posibles sesgos tanto en la medición de diámetros a distintas alturas del fuste, como en la estimación de volumen y en la predicción de la densidad básica de la madera.

En términos de las operaciones en terreno deberá tenerse en cuenta que:

- Para obtener resultados insesgados del cálculo del volumen en pie para las mediciones del diámetro a distintas alturas con Criterion RD1000, se deben preferir distancias largas (no superiores a la altura del árbol) en cualquiera de las posiciones donde se pueda visualizar gran parte del fuste del árbol (Rodríguez *et al*, 2010).
- La mejores alturas de muestreo para estimar la densidad básica promedio del fuste son al 10% y al 20% de la altura total del árbol (Omonte y Valenzuela, 2011).

Tanto en el caso de las funciones de volumen, como en las de biomasa y en las relaciones funcionales para la densidad básica y los FEB, se tendrán funciones por especie, o por grupos de especies (2 o más especies en base a: Densidad-Morfología-Taxonomía), en la medida que se cuente con un mínimo 30 árboles en cada caso; de no lograrse este mínimo de árboles podrá contarse al menos con funciones por tipo de bosque.

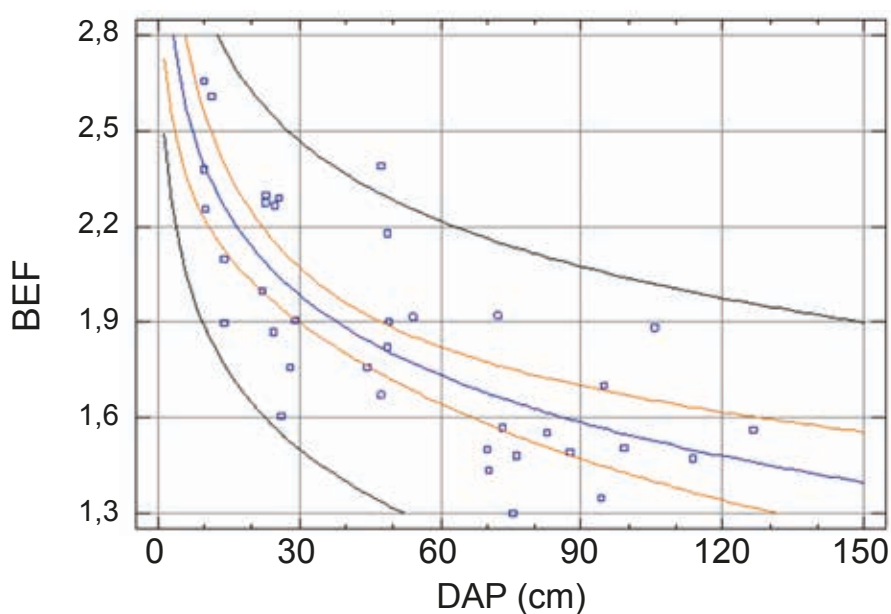


Fig. 7.
Ejemplo de la relación entre FEB y DAP del árbol. Para la especie *Araucaria araucana*: $BEF = 3.22964 - 0.365448 \times \ln(DAP)$
(Fuente: Gayoso, 2013)

4. Comentario final

El Componente de Monitoreo del Programa REDD-CCAD-GIZ establece que los decisores e instituciones de los países de Centroamérica y República Dominicana, obligados a reportar a UNFCCC, dispongan del material de datos necesarios acerca de la supervisión de las emisiones de CO₂ por deforestación y degradación de bosques. Ello implica que se cuente con funciones de biomasa de las especies en función de su relevancia económica y ecológica y, al mismo tiempo, también se disponga de información relacionada con el volumen de los bosques a fin de establecer adecuadamente las prescripciones silvícolas que permitan el manejo sustentable del recurso forestal. El plan propuesto permitirá cumplir con estos objetivos en forma efectiva y eficiente.

Al final del plan propuesto, los países de Centroamérica y República Dominicana contarán con una base de funciones de volumen, factores de expansión de biomasa, densidad básica y funciones de biomasa, a nivel de especies, grupos de especies o tipo de bosques, que permitan reportar las emisiones de CO₂ por deforestación y degradación de bosques, utilizando los resultados de los inventarios nacionales forestales que realicen. Adicionalmente, se encuentra ya en desarrollo una aplicación informática (+Funciones) para sistematizar las funciones alométricas existentes en cada uno de los países en los que el Programa REDD-CCAD-GIZ tiene injerencia, complementándose aquellas ya existentes que han sido recopiladas con las que se generen mediante el desarrollo del Plan de Evaluación de Volumen, Biomasa y Carbono en Centroamérica y la República Dominicana 2013-2015 presentado.

5. Bibliografía

1. Aguilar, S. 2001. Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado en el área de aprovechamiento anual 2001, Uaxactún, Flores, Petén. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Petén. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Santa Elena, Péten, Guatemala. 68 p.
2. Alberto, D.; Elvir, J. 2008. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales en Honduras. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(1): 67-78.
3. Arango, B.; Hoyos, J.; Vásquez, A. 2001. Variación de la Densidad Básica de la Madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 54(1-2): 1275-1284.
4. Arreaga, W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 86 p.
5. Avila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 116 p.
6. Breugel, M.; Ransijn, J.; Craven, D.; Bongers, F.; Hall, J. 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *Forest Ecology and Management* 262: 1648-1657.
7. Brown, S.; Pearson, T.; Slaymaker, D.; Ambagis, S.; Moore, N.; Novelo, D.; Sabido, W. 2005. Creating a Virtual Tropical Forest from Three-Dimensional Aerial Imagery to Estimate Carbon Stocks. *Ecological Applications* 15(3): 1083-1095.
8. Calero, W. 2008. Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata* L.) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 87 p.

9. Campos, J.; Finegan, B.; Maldonado, T. 2000. Almacenamiento de carbono y conservación de biodiversidad por medio de actividades forestales en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica: potencialidades y limitantes. CATIE, Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica. 70 p.
10. Castellanos, E.; Bonilla, C.; Quilo, A.. 2007. Cuantificación de carbono capturado por bosques comunales y municipales de cinco municipios en los departamentos de San Marcos y Huehuetenango. Informe Final Proyecto AGROCYT No. 051-2004. Centro de Estudios Ambientales, Universidad del Valle de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 99 p.
11. Cifuentes-Jara, M. 2008. Aboveground biomass and ecosystem Carbon Pool in Tropical Secondary Forest Growing in Six Life Zones of Costa Rica. Tesis para optar al grado de Doctor of Philosophy in Environmental Sciences. Oregon State University. 195 p.
12. Cole, T.; Ewel, J. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management* 229: 351-360.
13. Cubero, J., Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bambacopsis quinata* Jacq.) en cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis para optar al grado de licenciado en Ciencias Forestales. Universidad Nacional, Facultad de Ciencia de la Tierra y el Mar. Heredia, Costa Rica. 93 p.
14. Cuenca, R. 2009. Evaluación de productividad en volumen y el potencial de fijación de carbono en plantaciones mixtas en la zona Caribe de Costa Rica. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 189 p.
15. Domínguez-Cabrera, G.; Aguirre-Calderón, O.; Jiménez-Pérez, J.; Rodríguez-Laguna, R.; Díaz-Balderas, J. 2009. Biomasa Aérea y Factores de Expansión de Especies Arbóreas en Bosques del Sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 59-64.
16. Espina, A. 2006. Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile. Trabajo de Título presentado como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Trabajo de Título para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 26 p.

17. Gayoso, J.; Guerra, J.; Alarcón, D. 2002. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. Informe Final, Proyecto FONDEF D98I1076. Documento N°1. Valdivia, Chile. 157 p.
18. Gayoso, J.; Guerra, J. 2013. Metodología para la generación de funciones alométricas. Convenio Asesoría Técnica: Generación y complemento de funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono en especies forestales nativas. Presentación realizada en el Taller “Estrategia de Bosques y Cambio Climático: disponibilidad y generación de funciones alométricas para especies nativas de Chile”. Organizado por la Corporación Nacional Forestal y la Universidad Mayor. Santiago, Chile. 02 de mayo de 2013.
19. Gayoso, J. 2013. Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (ARAUCARIA). Desarrollado por Programa Bosques PROCARBONO de la Universidad Austral de Chile para la Unidad de Cambio Climático, Gerencia Forestal de la Corporación Nacional Forestal. Santiago Chile. 50 p.
20. Gutiérrez-Vásquez, B.; Cornejo-Oviedo, E.; Gutiérrez-Vásquez, M.; Gómez-Cárdenas, M. Variación y predicción de la densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L. *Revista Fitotécnica Mexicana* 35(5):87-90.
21. Jobse, J. 2008. Impacts of Forest-to-Agriculture Conversion on Aboveground and Soil Carbon and Nitrogen Stocks along a Bioclimatic Gradient in Costa Rica. Tesis para optar al grado de Doctor of Philosophy in Wildlife Sciences. Oregon State University. 208 p.
22. Kirby, K.; Potvin, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246: 208-221.
23. Kraenzel, M.; Castillo, A.; Moore, T.; Potvin, C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management* 173: 213-225.
24. Lambert, J.; Arnason, J.; Gale, J. 1980. Leaf-Litter and Changing Nutrient Levels in a Seasonally Dry Tropical Hardwood Forest Belize, C.A. *Plant and Soil* 55: 429-443.

25. López, P.; Rodas, O.; López, J.; Mansilla, C.; Véliz, R.; Tuy, H. 1999. Potencial de Carbono y Absorción de Dióxido de Carbono de la Biomasa en Pie por Encima del Suelo en los Bosques de la República de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 45 p.
26. Monteoliva, S.; Senisterra, G.; Marquina, J.; Marlats, R., Villegas, S. 2002. Estudio de la variación de la densidad básica de la madera de ocho clones de sauce (*Salix spp.*) Rev. Fac. Agron. 105(1): 77-82.
27. Moraes, C. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 116 p.
28. Muñoz, F.; Neira, A.; Cancino, J. 2010. Efecto del Raleo en la Densidad Básica de la Madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. *Revista Interciencia* 35(8): 581-585.
29. OCIC. 2000. Propuesta del proyecto de Reducción de emisiones de GEI para cinco concesiones forestales Comunitarias en la reserva de la Biosfera Maya Petén, Guatemala. Reporte final del grupo Asesor OCIC. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 125 p.
30. Omonte, M; Valenzuela, L. 2011. Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 13(2): 211-224.
31. Parra, G. 2001. Funciones de Biomasa Total y por componentes del Espino (*Acacia caven* Mol.) en Penciahue, VII Región. Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería Forestal. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Forestales. Talca, Chile. 70 p.
32. Pereyra, O., Gelid, M. 2002. Estudio de la Variabilidad de la Densidad Básica de la Madera de *Pinus taeda* para Plantaciones de Misiones y Norte de Corrientes. *Revista Floresta* 33(1): 3-19.
33. Ramírez, C.; Salgado, J. 2006. Resultados del inventario de bosques y árboles 2005-2006. Evaluación Nacional Forestal. Proyecto apoyo al inventario y evaluación nacional de bosques y árboles. TCP/HON/3001. Tegucigalpa, Honduras. 85 p.
34. Redondo, A. 2007. Growth, carbon sequestration, and management of nature tree plantations in humid regions of Costa Rica. *New Forest* 34: 253-268.

35. Redondo, A.; Montagnini, F. 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbón sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232: 168-178.
36. Rodríguez, F.; Fernández A.; Lizarralde, I.; S. Condés. 2010. Criterion™ RD1000: Una oportunidad para calcular el volumen de árboles en pie. 5° Congreso Forestal Español. 11 p.
37. Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastorales y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 119 p.
38. Schlegel, B. 2001. Estimación de la Biomasa y Carbono en Bosques del Tipo Forestal Siempreverde. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. 18 al 20 de Octubre. Valdivia, Chile. 13 p.
39. Segura, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación cordillera volcánica central, Costa Rica. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 133 p.
40. Silva-Arredondo, F.; Návar-Cháidez, J. 2009a. Estimación de Factores de Expansión de Carbono en Comunidades Forestales Templadas del Norte de Durango, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 155-163.
41. Silva-Arredondo, F.; Návar-Cháidez, J. 2009b. Factores de Expansión de Biomasa en Comunidades Forestales Templadas del Norte de Durango, México. *Rev. Mex. Cien. For* 1 (1): 55-62.
42. UNV/INAB/CONAP. 2006. Dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los años 1991, 1996 y 2001 y mapa de cobertura forestal 2001. Fase II: dinámica de la cobertura forestal. Universidad del Valle de Guatemala (UNV), Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Edwin Castellanos López (Coordinador General). Ciudad de Guatemala, Guatemala. 96 p.
43. Viergever, K.; Woodhouse, I.; Stuart, N. 2008. Monitoring the World's Savanna Biomass by Earth Observation. *Scottish Geographical Journal*. 124 (2-3): 218-225.

Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Apartado Postal 755
Bulevar, Orden de Malta, Edificio GIZ,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, la Libertad
El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddccadgiz.org
I www.giz.de
www.reddccadgiz.org



Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Apartado Postal 755
Bulevar, Orden de Malta, Edificio GIZ,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, la Libertad
El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddccadgiz.org
I www.giz.de
www.reddccadgiz.org