



**UNIVERSIDAD EARTH
UNIDAD DE CARBONO NEUTRO**

GUÍA PRÁCTICA PARA LA MEDICIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LA BIOMASA FORESTAL

RICARDO O. RUSSO
Profesor del Área Forestal

**Guácimo, Limón, CR
2009**

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. ANTECEDENTES	4
4. METODOLOGÍA	5
5. BIBLIOGRAFÍA	10
6. ANEXOS	10
6.1. Cómo medir la altura de los árboles	11
6.2. Cuadro de Tangentes	14
6.3. Biomasa del Bosque Seco Tropical	15
6.4. Aproximaciones metodologías del IPCC	16
6.5. Flujo de actividades para calcular C en la biomasa	17

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en la concentración de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera desde el inicio de la era industrial ha provocado un aumento en la temperatura media del orden del 0,6 °C, lo que ha inducido cambios en los procesos climáticos, con consecuencias negativas tanto biológicas como económicas y sociales (PNUMA, 2003). Se acepta que casi un 20% de las emisiones de CO₂ provienen de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales, de manera que la interrupción de la deforestación y el restablecimiento de la cobertura forestal a través de la reforestación y manejo sostenible del bosque natural, implica recapturar el CO₂ atmosférico y mitigar el calentamiento global.

Biomasa, según el DRAE¹ tiene dos acepciones: a) Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen; y b) Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Para el propósito de esta guía se adapta la segunda acepción y se refiere a la biomasa forestal, constituida por las hojas, ramas, troncos y raíces de los árboles y arbustos en un sistema forestal, ya sea un bosque natural o una plantación o en un sistema agroforestal, los que transforman la energía radiante del sol en energía química a través del proceso de la fotosíntesis, y fijan CO₂ de la atmósfera en forma de hidratos de carbono en su biomasa.

Existen diversas metodologías aplicables para la medición de carbono en la biomasa forestal; una muy conocida es la publicada por FAO (1997, 2000) y otra universalmente aceptada es la descrita por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2003, 2006), en sus directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GEI).

Esta guía es una herramienta para facilitar las actividades de sensibilización de la Unidad de Carbono Neutro de la Universidad EARTH y no se pretende sustituir otras valiosas herramientas y metodologías existentes, sino facilitar su aplicación, al discutir procedimientos básicos de medición forestal.

¹ DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA – DRAE <http://www.rae.es>

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar competencias para realizar mediciones de carbono en la biomasa forestal en áreas manejadas para alcanzar la neutralidad de carbono.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer herramientas y formas para cuantificación de carbono en la biomasa de plantaciones forestales.
- Determinar el método más práctico y factible para hacer mediciones de carbono en la biomasa de bosques naturales.

3. ANTECEDENTES

El CO₂ existe naturalmente en la atmósfera, pero la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) está liberando el carbono almacenado en éstos a una velocidad sin precedentes. De igual forma, la deforestación libera el carbono almacenado en los árboles. Las emisiones anuales de esta fuente actualmente llegan a 23 mil millones de toneladas métricas, que representan el 1% de la masa total de CO₂ que existe en la atmósfera (PNUMA, 2003).

Los proyectos forestales que se consideran para mitigar las concentraciones de GEI en la atmósfera se agrupan en tres tipos: a) *Proyectos de conservación de carbono*: orientados al control de las tasas de deforestación, protección de bosques, manejo forestal mejorado y control de incendios forestales; b) *Proyectos de captura de carbono*: como las plantaciones forestales, que generan adicionalidad al incrementar la superficie cubierta por bosques y la biomasa mediante forestación, reforestación, agroforestería y enriquecimiento de bosques naturales degradados; y c) *Proyectos de sustitución de carbono*:

relacionados con actividades específicas para generar bioenergía que permitan el reemplazo de combustibles fósiles.

Costa Rica adquirió el compromiso de ser neutral en carbono o “C-Neutral” para el año 2021, el concepto de “Carbono Neutralidad” se refiere a la práctica de balancear, a nivel de país, los equivalentes de emisiones de CO₂, incluyendo no solamente a emisiones directas de CO₂, sino también, emisiones de los otros gases de efecto invernadero (GEI), tales como: metano, óxido nitroso, fluoruros de carbono, medidos en términos de sus equivalentes de dióxido de carbono (<http://www.encc.go.cr/carbono/>).

En la Universidad EARTH, la Neutralidad de Carbono constituye un aporte a esta iniciativa y una forma local de mitigar el Cambio Climático. Compensar emisiones es emprender un proyecto que permita capturar CO₂ atmosférico, o adquirir bonos de carbono. Las plantaciones forestales y los bosques naturales son sumideros de carbono que en función de la zona de vida pueden secuestrar entre 2 y 10 t de C por hectárea por año. Una tonelada de C almacenado en la biomasa forestal es equivalente al secuestro de 3,67 toneladas de CO₂ atmosférico, por es importante tener competencias para calcular la cantidad de C almacenado en la biomasa forestal.

4. METODOLOGÍA

Para determinar la biomasa de una plantación forestal o un bosque natural existen métodos destructivos directos y no destructivos por medio de mediciones de volumen. El método destructivo más simple consiste en cortar los árboles en una parcela de área conocida y pesar la biomasa de los fustes, ramas y hojas directamente, determinando posteriormente su peso seco.

En los métodos no destructivos se hace una estimación de la biomasa por medio de cálculos del volumen a partir de mediciones directas en el campo, donde se calcula la densidad de la plantación (número de árboles por hectárea), se miden los diámetros y altura de los árboles y se calcula el área

basal. También se puede calcular biomasa y posteriormente carbono por medio de modelos basados en análisis de regresión entre las variables colectadas en el terreno o en inventarios forestales y sus correspondientes variables dependientes de biomasa.

Para llevar la iniciativa de Neutralidad de Carbono, la Universidad EARTH implementó una metodología de cuantificación que permitió determinar, por un lado, las emisiones de CO₂ y, por otro, las existencias de carbono en la vegetación (que incluye bosque natural, plantaciones y sistemas agrícolas). A continuación, se detallan algunos de los aspectos metodológicos.

Carbono en la biomasa aérea de bosques naturales (primarios y secundarios) y de plantaciones forestales.

Para determinar el carbono (C) acumulado en la biomasa de las áreas de bosques naturales (primarios y secundarios) y de plantaciones forestales, primero se calculó el volumen maderable. Para ello se determina el área basal en cada una de las unidades muestrales. El área basal (AB) es la sumatoria de las áreas transversales (área del tronco a 1,30 m de altura) de todos los árboles con un diámetro mayor a 10 cm existentes en una hectárea (y se expresa en m²/ha).

$$AB = \sum_{i=1}^n at_i$$

para 1 ha

$$AB = [(DAP_{medio})^2 \times 0,7854]_{(m^2/arb)} \times N_{(arb/ha)}$$

Luego se determina su altura media. El producto del AB multiplicado por la altura y por un coeficiente de forma (relación entre el volumen real y el volumen aparente de un árbol) es el volumen maderable o volumen de los fustes.

$$Vol = AB \times H \times 0,5$$

Luego, a partir del volumen se determina el contenido de carbono, que es el producto del volumen multiplicado por el contenido de materia seca (% MS, se consideró 50%) y por el contenido de C en la MS (% C = 50% aceptado el IPCC).

$$\text{Cantidad de C} = \text{Vol.} \times 0,5 \times 0,5$$

A esta cantidad de C se le aplica el Factor de Extensión de la Biomasa (FEB) igual a 1,6 considerando un 60% adicional contenido en ramas y follaje (en la literatura este factor se menciona con rango entre el 60% y el 90%) y la cifra total se multiplica por el área respectiva de cada una de las unidades.

Caracterización del área de muestreo:

El muestreo es un procedimiento por medio del cual se estudia una parte de la población llamada muestra, con el objetivo de inferir con respecto a toda la población. En nuestro caso la población es una plantación forestal o un bosque natural. El sitio dentro del área con plantación o bosque natural a muestrear debe de ser representativo del rodal que nos interesa calcular la captura de carbono.

Selección de árboles para el muestreo:

Para el muestreo de biomasa se establecerán en cada sitio de estudio como mínimo tres parcelas circulares de 100 m² (con un radio de 5,64 m, establecidas con una cuerda). Dentro de cada parcela se cuenta el número de árboles existentes con un diámetro a la altura del pecho, medida a 1,30 m desde el suelo (DAP), igual o superior a 10 cm, para calcular la densidad expresada en árboles por hectárea (arb/ha). Por ejemplo, como la parcela es de 100 m², cada individuo contabilizado dentro de la misma representa 100 árboles por hectárea (1 ha = 10.000 m²). En cada árbol dentro de la muestra se mide el diámetro (con una cinta diamétrica, una forcípula o bien se mide la

circunferencia del fuste o tronco a 1,30 m de altura y se divide entre $\pi = 3,1416$).

A los efectos de este ejercicio sólo se considera la biomasa aérea (biomasa sobre el suelo) de cada árbol se divide en 3 componentes: 1) Biomasa del fuste total: 2) Biomasa de ramas y 3) Biomasa de hojas.

Para otros Inventarios de Carbono también se toman datos para la determinación de la biomasa de los otros componentes o estratos, como la necromasa (biomasa muerta), el sotobosque y la hojarasca. Para esto se consideraran tres muestras de biomasa por estrato, las cuales se llevan también al laboratorio para secar en el horno y determinar el contenido de materia seca.

FACTOR DE EXPANSIÓN O EXTENSIÓN DE LA BIOMASA

El Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) es un coeficiente que permite añadir a la biomasa de los fustes, obtenida a partir del volumen inventariado en campo, la biomasa correspondiente a las ramas, hojas y raíces. Es decir, los FEB expanden el peso seco del volumen calculado de existencias para incluir los componentes no maderables del árbol o el bosque.

Antes de aplicar dichos FEB, el volumen maderable (m^3) debe convertirse a peso en seco (ton), multiplicando por un factor de conversión conocido como densidad básica de la madera (D) en (t/m^3). Los BEF no tienen dimensión, dado que convierten entre unidades de peso.

Por ejemplo, si en nuestro muestreo tenemos una densidad de 350 arb/ha, un DAP medio de 22 cm y una altura media de 18 m, tenemos que:

- $AB = (0,22 \text{ m})^2 \times 0,7854 \times 350 \text{ arb/ha} = 13,3 \text{ m}^2/\text{ha}$
- $Vol = 13,3 \text{ m}^2/\text{ha} \times 18 \text{ m} \times 0,5 = 119,7 \text{ m}^3/\text{ha}$
- $Biomasa = 119,7 \text{ m}^3/\text{ha} \times 0,5 \text{ t/m}^3 = 59,9 \text{ ton/ha}$

Si a esa cantidad de biomasa se le aplica un:

- FEB = 1,3 : Biomasa total = 59,9 ton/ha x1,3 = 77,9 ton/ha
- FEB = 1,5 : Biomasa total = 59,9 ton/ha x1,5 = 89,9 ton/ha

Los FEB van a variar en función de las características y las dimensiones de los árboles evaluados. Árboles de diámetros menores y muy ramificados presentan FEB mayores.

En las directrices del IPCC (IPCC, 2006), se usa la expresión **Factores de Conversión y Expansión de la Biomasa** (FCEB - BCEF, del inglés *Biomass Conversion and Expansion Factors*), que combinan conversión y expansión. Tienen como dimensión (t/m^3) y transforman mediante una única multiplicación existencias de volumen como la que hacemos en nuestro ejercicio (m^3) directamente en biomasa aérea (t). Los FCEB son más apropiados y son los que se presentan en los cuadros las directrices del IPCC (adjunto parcial) . Se los puede aplicar directamente a datos de inventarios forestales basados en volumen y a registros operativos, sin tener que recurrir a densidades básicas de madera (D). Dan mejores resultados cuando se los ha derivado localmente y cuando se basan directamente en el volumen venal. Matemáticamente, los BCEF y BEF se relacionan mediante la fórmula:

$$BCEF = BEF \times D$$

Donde BEF: Factor de expansión de la biomasa y D: densidad de la madera

Vista parcial del cuadro 4.5 (IPCC, 2006)

CUADRO 4.5 (CONTINUACION) FACTORES DE CONVERSIÓN Y EXPANSIÓN DE BIOMASA POR DEFECTO (BCEF), TON BIOMASA (M^3 DE MADERA) ⁻¹						
BCEF para la expansión del volumen de existencias venables en crecimiento a biomasa aérea (BCEF _E), para conversión del incremento anual neto (BCEF _I) y para la conversión del volumen de retirada de madera y madera combustible a retirada de biomasa aérea (BCEF _R)						
Zona climática	Tipo de bosque	BCEF	Nivel de existencias en crecimiento (m^3)			
			<20	21-40	41-80	>80
Mediterráneo, tropical seco, subtropical	maderas duras	BCEF _E	5,0 (2,0-8,0)	1,9 (1,0-2,6)	0,8 (0,6-1,4)	0,66 (0,4-0,9)
		BCEF _I	1,5	0,5	0,55	0,66
		BCEF _R	5,55	2,11	0,89	0,73
	coníferas	BCEF _E	6,0 (3,0-8,0)	1,2 (0,5-2,0)	0,6 (0,4-0,9)	0,55 (0,4-0,7)
		BCEF _I	1,5	0,4	0,45	0,54
		BCEF _R	6,67	1,33	0,67	0,61

5. BIBLIOGRAFÍA

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. By Sandra Brown. FAO Forestry Paper No. 134. Rome.
(<http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm>)

_____. 2001. Global forest resources assessment 2000 – main report. FAO Forestry Paper No. 140. Rome (www.fao.org/forestry/site/7949/en)

_____. 2004. National forest inventory. Field manual. Template. Forest Resources Assessment WP 94. Rome,
(<http://www.fao.org/docrep/008/ae578e/AE578E00.htm#TopOfPage>)

IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change of the United Nations). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
(<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf.html>)

_____. 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 4: Tierras Forestales. Aalde, H., Gonzalez, P. , Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle, S., Raison, J., Schoene, D. y Ravindranath, N.H. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, París, Francia.
(http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf)

MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arlington, VA, Estados Unidos, 91 p.
(<http://www.winrock.org/ecosystems/files/carbon.pdf>)

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2003. Cambio Climático: compendio informativo. Traducción de “*Climate Change, Information Kit*” elaborada por el PNUMA y la Secretaría sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Unidad de Cambio Climático de Uruguay (Dirección Nacional de Medio Ambiente). Montevideo, Uruguay. 69 p.
(<http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/Kioto/documentacion/pdfs/cambio-climatico-compendio-uruguay.pdf>)

6. ANEXOS

ANEXO 1

Cómo medir la altura de los árboles

Estrategia de muestreo A: Para cada especie, se miden dos árboles en cada clase de copa para obtener una idea de la variación general.

Estrategia de muestreo B: Se establecen parcelas de muestreo, y miden todos los árboles en una parcela.

Usando Clinómetro

Materiales:

Clinómetro
Cinta métrica de 30 o 50 metros
Hoja de datos

Criterios para la clase de copa:

Árboles dominantes: sus doseles están por encima de los doseles de los árboles vecinos, sobresaliendo del resto. El 80% o más de su dosel está totalmente expuesto al pleno sol.

Árboles codominantes: sus copas se entremezclan con muchas otras, con el 50-80% de su dosel completamente expuesto al pleno sol.

Árboles intermedios: la mayoría de sus copas están por debajo de la altura de otros del grupo, y reciben el 20-50% de pleno sol.

Árboles suprimidos: la altura de sus doseles es totalmente inferior a la de todos los otros árboles, y apenas reciben luz solar directa.

Procedimiento:

- 1) Se registra la ubicación del muestreo en la hoja de datos.
- 2) Se mide una distancia de 20 o 30 m desde la base de un árbol; desde este punto, la persona usará el clinómetro.
- 3) Se sujeta el clinómetro con la mano derecha, y se mira a través del lente con el ojo derecho, al tiempo que se mantiene abierto el ojo izquierdo en dirección a la parte superior del árbol. Una escala movable con lecturas de ángulos en grados, en costado y de tangentes del otro, debería hacerse visible, y girará a medida que el clinómetro se inclina hacia arriba y hacia abajo; una ilusión óptica extiende el retículo de la rayita fuera del marco del clinómetro.

- 4) Se Coloca el clinómetro de manera que la rayita coincida con la parte superior del árbol. Se usa el clinómetro para leer los ángulos o las tangentes hasta la parte superior del árbol hasta su base.
- 5) Se cierra el ojo izquierdo y se hace la primera lectura hasta la parte superior de la copa del árbol y se registra el ángulo o la tangente en la hoja de datos. Esta primera lectura mide el ángulo formado por la visual al ápice del árbol y la visual a la altura del ojo de la persona que observa.
- 6) Se repita la operación y se hace la segunda lectura hasta la base del árbol y se registra el ángulo o la tangente en la hoja de datos. Esta segunda lectura mide el ángulo formado por la visual a la altura del ojo de la persona que observa la visual a la base del árbol. Luego se suman ambas lecturas para el cálculo de la altura total.

Fórmula para calcular la altura del árbol

$$\text{Altura del árbol} = \text{Distancia al árbol} \times (\text{tg al ápice} + \text{tg a la base})$$

Si no se dispone de un clinómetro se pueden medir los ángulos con un transportador escolar y convertirlos a tangentes con el cuadro del anexo 2, o con calculadora científica.

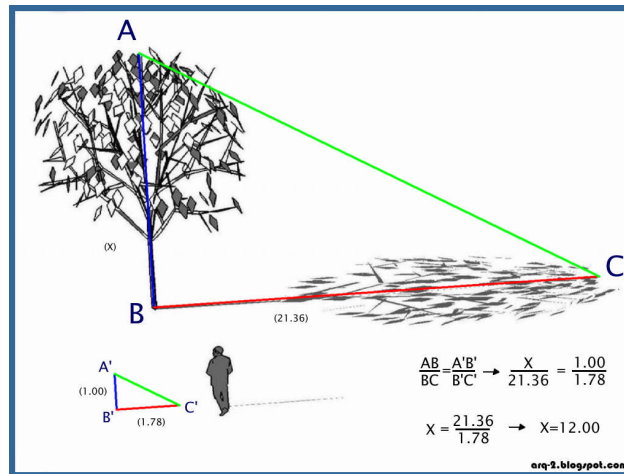
Métodos prácticos alternativos

Método de la Sombra

Si no se cuenta con un clinómetro, se puede usar un método práctico alternativo de proporciones: con un vara de madera de 1 m de alto y una cinta métrica; se puede medir la sombra del árbol con la cinta métrica; y después, medir la sombra de la vara, y Hacer una relación de proporciones con la sombra del árbol. Ambas medidas deben tomarse a la misma hora del día. Tener en cuenta que este método no es muy preciso.

$$\frac{\text{altura del árbol}}{\text{sombra del árbol}} = \frac{\text{vara (1 metro)}}{\text{sombra de la vara}}$$

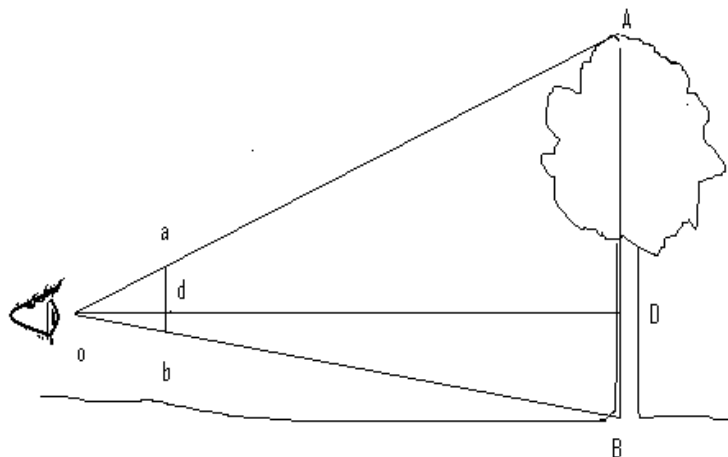
$$\text{Altura del árbol (m)} = \frac{\text{vara (m)} \times \text{sombra del árbol (m)}}{\text{sombra de la vara (m)}}$$



Método de la Vara de Staff

Este método se basa en la semejanza de triángulos, en donde existe proporcionalidad entre sus lados.

- 1) Se toma una vara cuya longitud sea igual a la distancia entre el ojo y el puño de la persona observadora.
- 2) Se acerca o aleja del árbol hasta que la visual que va del ojo al extremo superior de la vara y llega al ápice del árbol a medir y la visual que va del ojo al extremo inferior de la vara y llega a la base del árbol a medir coinciden.
- 3) En ese momento se produce una semejanza de triángulos en donde la altura del árbol es a la longitud de la vara como la distancia al árbol es a la distancia del ojo a la vara. Como la distancia del ojo a la vara es igual a la longitud de la vara, entonces la distancia a la que nos ubicamos del árbol es la altura del árbol.



$$\frac{AB \text{ (altura)}}{oD \text{ (distancia)}} = \frac{ab \text{ (vara)}}{od \text{ (brazo)}}$$

ANEXO 2

Cuadro de Tangentes

<u>Ángulo</u> <u>grados</u>	<u>tangent</u> <u>e</u>	<u>Ángulo</u> <u>grados</u>	<u>tangent</u> <u>e</u>	<u>Ángulo</u> <u>grados</u>	<u>tangent</u> <u>e</u>
0	0.0000	30	0.5773	60	1.7317
1	0.0175	31	0.6008	61	1.8037
2	0.0349	32	0.6248	62	1.8804
3	0.0524	33	0.6493	63	1.9622
4	0.0699	34	0.6744	64	2.0499
5	0.0875	35	0.7001	65	2.1440
6	0.1051	36	0.7265	66	2.2455
7	0.1228	37	0.7535	67	2.3553
8	0.1405	38	0.7812	68	2.4745
9	0.1584	39	0.8097	69	2.6044
10	0.1763	40	0.8390	70	2.7467
11	0.1944	41	0.8692	71	2.9033
12	0.2125	42	0.9003	72	3.0767
13	0.2309	43	0.9324	73	3.2698
14	0.2493	44	0.9656	74	3.4862
15	0.2679	45	1.0000	75	3.7306
16	0.2867	46	1.0354	76	4.0091
17	0.3057	47	1.0722	77	4.3295
18	0.3249	48	1.1105	78	4.7023
19	0.3443	49	1.1502	79	5.1418
20	0.3639	50	1.1916	80	5.6679
21	0.3838	51	1.2347	81	6.3095
22	0.4040	52	1.2798	82	7.1099
23	0.4244	53	1.3269	83	8.1372
24	0.4452	54	1.3762	84	9.5045
25	0.4663	55	1.4279	85	11.4157
26	0.4877	56	1.4823	86	14.2780
27	0.5095	57	1.5396	87	19.0404
28	0.5317	58	1.6001	88	28.5437
29	0.5543	59	1.6640	89	56.9168

ANEXO 3

Biomasa del bosque seco Tropical

Todavía no se ha terminado de procesar completamente los datos sin embargo Kauffman *et al* (2002) obtuvo datos preliminares de los diferentes componentes del bosque. En hacienda La Pacífica, con una temperatura media anual de 27,5 °C lo cual da una biotemperatura de sólo 23,5 (por exceso de calor) y que tiene una precipitación media anual de 1679 mm, se obtuvo una biomasa de los árboles mayores a 10 cm en DAP de 81,4 ton/ha, mientras que Bagaces con aproximadamente la misma temperatura y biotemperatura pero con 1369 mm de precipitación tiene 98,8 ton/ha. Todavía más alto resultó el valor obtenido para el Parque Nacional Santa Rosa donde con temperatura de 25.4 °C para 24.5 °C de biotemperatura presenta una biomasa de 131,1 ton/ha.

Estos valores de biomasa de los árboles mayores a 10 cm son importantes porque, según los cálculos preliminares de Kauffman *et al* (2002) estos representan un 70,2% de la biomasa total arriba del suelo del bosque seco Tropical. Así otros componentes, sin considerar el carbono dentro del suelo, representan un 29,8%.

Cuadro 3. Variables ambientales y Biomasa medida en el bosque seco Tropical

Variable	La Pacífica	Bagaces	Santa Rosa
Temperatura media anual (°C)	27,5	27,5	25,4
Biotemperatura media anual (°C)	23,5	23,5	24,5
Precipitación media anual (mm)	1679	1369,0	1589
Número meses secos	5,5	5,25	5,25
Evapotranspiración potencial (mm)	1407	1386	1488
Evapotranspiración real (mm)	1030	947	1028
Relación de ETP	0,83	1,01	0,91
Zona de Vida	bh-Pc	bh-Pcs	bh-P (c)
Biomasa (ton/ha) Árboles > 10 cm DAP	81,42	98,87	131,08
NPP (Productividad primaria neta)	27,8	25,6	27,8
Predicción Formula Tosi (1997)	150,2	138,1	149,9
Árboles (70%)	105,1	96,7	104,9

Fuente: La Pacífica, datos de mediciones del Proyecto; Bagaces, calculado de Holdridge et al. 1971 cuyos datos aportó Armond Joyce; Santa Rosa: datos del Proyecto.

Fuente: Watson, V. et al. 2002. Contenido de carbono en el bosque seco tropical. En Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: investigaciones y resultados en Mesoamérica. UNA, INISEFOR, Heredia, CR. pp. 111-118.

ANEXO 4

Aproximaciones Metodológicas del IPCC para Cálculos de Existencias de Carbono

El IPCC establece diferentes niveles de enfoque o aproximaciones metodológicas para el cálculo de existencias de carbono en ecosistemas (en inglés, “*tiers*”).

- Nivel 1:

- No se requiere recolección de nuevos datos. Valores de referencia obtenidos de tablas del IPCC o similares por tipos de bosques regionales (p.ej. bosque húmedo tropical en América Latina).
- Ninguna capacidad de distinguir tipos de bosque en sitios concretos.
- Alto nivel de error ($\pm 50\%$).
- Suposiciones generales (p.ej. emisiones instantáneas por deforestación).
- Método de ganancias y pérdidas.

- Nivel 2

- Usa valores de referencia más específicos que Nivel 1 (p.ej. datos nacionales).
- Mejor delineación de estratos (p.ej. subtipos de bosques).
- Modelos generales de emisiones.
- Método de ganancias y pérdidas o incrementos medios anuales.

- Nivel 3

- Alto nivel de precisión.
- Basado en parcelas permanentes y modelos específicos (al menos para biomasa arbórea).
- Alto costo de implementación.
- Modelos detallados de emisiones (p.ej. degradación de madera muerta y suelos).
- Método de diferencia de existencias.

ANEXO 5

Flujo de actividades para calcular carbono en la biomasa

