



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS DE LICENCIATURA

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE
LA COBERTURA FORESTAL SEGÚN ZONA DE VIDA Y
TIPO DE BOSQUE PARA COSTA RICA**

CARMEN AMELIA ULATE QUESADA

CARTAGO, COSTA RICA

2011



Instituto Tecnológico de Costa Rica



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

TESIS DE LICENCIATURA

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE
LA COBERTURA FORESTAL SEGÚN ZONA DE VIDA Y
TIPO DE BOSQUE PARA COSTA RICA**

CARMEN AMELIA ULATE QUESADA

CARTAGO, COSTA RICA

2011

Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipos de bosque para Costa Rica

Carmen Amelia Ulate Quesada*

RESUMEN

El manejo y conservación de los bosques tropicales y el cambio climático guardan una estrecha relación, debido a que estos bosques almacenan gran cantidad de biomasa y a la vez contribuyen con la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. En el presente trabajo, se estimó a partir de datos existentes la biomasa aérea en los diferentes tipos de bosque y zonas de vida en toda Costa Rica. Se realizó una búsqueda exhaustiva de información, la cual se tomó de bases de datos, publicaciones, tesis, parcelas permanentes de muestreo y de inventarios forestales realizados desde 1976 hasta 2011. El promedio de biomasa aérea por tipo de bosque, varió de 2 t/ha para el bosque secundario temprano hasta 445,40 t/ha para el bosque primario. La variación por piso altitudinal en los bosques primarios, fue de 20 t/ha para el piso subalpino a 445,40 t/ha para el piso montano bajo. El gradiente de humedad en los bosques primarios causó una variación de la biomasa aérea de 161,33 a 445,40 t/ha para el bosque seco y el bosque muy húmedo, respectivamente. Por último, se realizaron comparaciones con datos de biomasa existentes en otros sitios de Mesoamérica.

Palabras claves: *bosques tropicales, cambio climático, área basal, volumen, bosque primario, bosques secundarios tempranos, intermedios, tardíos.*

*Ulate Quesada, CA. 2011. Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 61 p.

Analysis and comparison of the aboveground biomass of the forest cover by life zone and forest types in Costa Rica

Carmen Amelia Ulate Quesada

ABSTRACT

The management and conservation of tropical forests and climate change are related because these forests store biomass and also contribute with the reduction of the emission of green house gases. In this paper, were calculated the existing aboveground biomass in different forest types, with their respective life zone. Were performed an exhaustive search of information, which was taken from databases, thesis, permanent sample plots and forest inventory made in previous years. The average biomass by forest type, ranged from 2 t/ha for early secondary forest to 445,40 t/ha to primary forest. The variation of altitudinal belts in primary forest, was 20 t/ha for subalpine to 445,40 t/ha for the montane low. The moisture gradient in primary forests caused a variation of the aboveground biomass of 161,33 to 445,40 t/ha for dry forest and wet forest, respectively. Then, comparisons were made with existing biomass data in other places of Mesoamerica.

Key words: *tropical forests, climate change, basal area, volume, primary forest, secondary forest early, middle, late.*

ACREDITACIÓN

Este proyecto de graduación ha sido aceptado por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobado por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA BIOMASA DE LA COBERTURA FORESTAL SEGÚN ZONA DE VIDA Y TIPO DE BOSQUE PARA COSTA RICA

Miembros del Tribunal Evaluador

Edgar Ortiz Malavassi, Ph.D.
Director de Tesis

Ruperto Quesada Monge, Ph.D.
Lector
Director Escuela de Ingeniería Forestal

Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D.
Lector

Carmen Amelia Ulate Quesada
Estudiante

DEDICATORIA

Primeramente a Dios nuestro Padre, creador de la naturaleza, fuente de vida, esperanza y amor.

A mi madre Marta Cecilia Quesada García, por sus oraciones, confianza y aliento para lograr mis metas, ejemplo de lucha y esfuerzo cotidiano y por brindarme siempre su apoyo incondicional en todas mis decisiones.

A mis hermanas, Marta Elena y Verónica y a sus familias, por estar siempre a mi lado cuando más los he necesitado y darme sabios consejos a lo largo de mi vida y mi carrera.

A mis tíos, Martín y Miguel, los cuales jugaron el papel de padre en estos últimos años, me acompañaron y apoyaron siempre.

A mi novio, Luis Manolo Alvarado Blanco, que supo soportar mis crisis, irritación, tristeza, llanto, frustración e ira, así como compartir la alegría, la risa, el éxito, el logro y la felicidad.

A las personas que por siempre me están ayudando en mi formación humana, en especial a todos los profesores que en el transcurso del tiempo me impregnaron de conocimiento.

Carmen Amelia Ulate Quesada

AGRADECIMIENTO

Agradezco,

Primeramente a Edgar Ortiz Malavassi, mi profesor guía, por todo el apoyo brindado durante la realización de este estudio.

También agradezco al Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y a la Cooperación Alemana para el Desarrollo GIZ, por el soporte financiero sin el cual no podría haber realizado la tesis.

A Ruperto Quesada, profesor y miembro del tribunal evaluador, por la ayuda y colaboración con la información y bases de datos necesarias para la elaboración de este estudio.

Al personal docente y administrativo, por brindarme su apoyo, disposición y atención a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ACREDITACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	11
General.....	11
Específicos.....	11
REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
1. Bosques Primarios.....	12
2. Bosques Intervenidos.....	12
3. Bosques Secundarios.....	13
3.1. Primera etapa: Bosque secundario temprano o colonización inicial.....	13
3.2. Segunda etapa: Bosque secundario intermedio o joven.....	14
3.3. Tercera etapa: Bosque secundario tardío o maduro.....	14
4. Zonas de Vida.....	15
5. Biomasa.....	16
6. Importancia de los bosques en el cambio climático.....	17
METODOLOGÍA.....	19
1. Área de estudio.....	19
1.1. Ubicación Geográfica.....	19
1.2. Descripción general del país.....	19
1.2.1. Sistema de clasificación de zonas de vida según Holdridge.....	19
1.2.2. Los Ecosistemas Boscosos.....	21
2. Recolección de datos.....	21
2.1. Procesamiento de datos para estimar biomasa.....	21
2.1.1. Cuando solo volumen se reporta.....	21
2.1.2. Cuando existe diámetro y altura.....	24
2.1.3. Cuando solo área basal se reporta.....	24
2.1.4. Cuando se reporta solo diámetro.....	24
3. Análisis de la información.....	25

4 Mapa	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40
BIBLIOGRAFÍA PARA DATOS DE BIOMASA.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución y porcentaje del área terrestre de las zonas de vida presentes en Costa Rica, según piso y ámbito altitudinal.	20
Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para calcular la biomasa, según grupos de especies esciófitas, heliófitas y esciófitas parciales.	24
Cuadro 3. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en el piso altitudinal basal y tipo de bosque para Costa Rica.	26
Cuadro 4. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en el piso altitudinal premontano y tipo de bosque para Costa Rica.	28
Cuadro 5. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en el piso altitudinal montano bajo y tipo de bosque para Costa Rica.	31
Cuadro 6. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en los pisos altitudinales montano y subalpino y tipo de bosque para Costa Rica.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de las zonas de vida en Costa Rica (Basado en Bolaños <i>et al.</i> 2005).	20
Figura 2. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en el piso altitudinal basal.	28
Figura 3. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en el piso altitudinal premontano.	30
Figura 4. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en el piso altitudinal montano bajo.	33
Figura 5. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en los pisos altitudinales montano y subalpino.....	35
Figura 6. Relación de la biomasa arriba del suelo (t/ha) y el área basal (m ² /ha) de los datos muestreados.	35
Figura 7. Biomasa arriba del suelo (t/ha) por zona de vida en Costa Rica.....	36
Figura 8. Mapa de puntos de referencia para el cálculo de biomasa arriba del suelo en Costa Rica.	37

INTRODUCCIÓN

Las áreas boscosas se consideran dinámicas, interactivas y autoperpetuantes, se definen como comunidades de organismos vivientes donde los árboles son los dominantes en la vegetación e interactúan estrechamente entre ellos y con el ambiente. Sin embargo, existen procesos de desaparición de estos ecosistemas, debido al saqueo de las maderas preciosas y la expansión de la frontera agrícola (Quesada y Castillo 2004). La importancia que tienen las especies arbóreas que componen un ecosistema tan complejo como el bosque, radica en que todas cumplen una función ecológica como fuente de alimento y refugio para otras especies, así como lo es el almacenamiento de biomasa y captación de carbono (Quirós 2002).

La cantidad de biomasa en un bosque es el resultado de la diferencia entre la producción a través de la fotosíntesis y el consumo en los procesos de la respiración y la cosecha. Por lo tanto, es una medida útil para evaluar los cambios en la estructura del bosque (Brown 1997). Las estimaciones de la densidad de la biomasa pueden proveer los medios para calcular la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removido de la atmósfera por los bosques que vuelven a crecer o por las plantaciones, para determinar los porcentajes de producción de biomasa y los límites superiores para el secuestro de carbono. Los cambios en la densidad de la biomasa forestal se logran mediante la sucesión natural, las actividades humanas tales como la silvicultura, cosecha y la degradación, así como los efectos naturales de los incendios forestales y el cambio climático (Brown 1997).

En Costa Rica, con lo que respecta a biomasa de cobertura forestal, existen muchos vacíos de información, ya que no hay bases de datos ni investigaciones detalladas que demuestren la tasa de fijación de carbono que poseen los bosques tropicales presentes en el país. Debido a esto, en el presente trabajo se analizará la variación de la biomasa arriba del suelo en los diferentes tipos de bosque y zonas de vida presentes en el país, por medio de una búsqueda exhaustiva de

información, con el fin de cuantificar la biomasa aérea y compararla con datos existentes en otras partes de Mesoamérica. La finalidad de realizar este estudio es la generación de una base de datos para calcular la biomasa arriba del suelo según zona de vida y tipos de bosque para Costa Rica.

OBJETIVOS

General

Comparar y analizar la información de biomasa arriba del suelo de la cobertura forestal existente en Costa Rica según zona de vida y tipos de bosque.

Específicos

- Recopilar información existente de biomasa arriba del suelo, área basal y volumen de la cobertura forestal en las zonas de vida y en los diferentes tipos de bosque de Costa Rica.
- Estimar la biomasa arriba del suelo de la cobertura forestal existente en las zonas de vida y tipos de bosque del territorio de Costa Rica.
- Generar una base de datos para el cálculo de la biomasa arriba del suelo por zonas de vida y tipos de bosque para Costa Rica.
- Comparar los datos obtenidos de biomasa arriba del suelo de la cobertura forestal por zonas de vida y tipos de bosque en Costa Rica con datos existentes en otros sitios de Mesoamérica.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Bosques Primarios

Los bosques primarios se definen como bosques vírgenes o bosques poco afectados y solamente de forma temporal por factores atropógenos (Lamprecht 1990, Guariguata y Kattan 2002). Una función importante de los bosques primarios es la conservación de la biodiversidad, debido a la alta cantidad de flora y fauna que dependen del equilibrio de sus ecosistemas (Quirós 2002).

La biomasa existente en los bosques tropicales, juega un papel muy importante en el ciclo global del carbono, ya que puede presentarse como un reservorio de carbono en sitios no alterados, o como fuente de dióxido de carbono en las zonas que han sido sometidas a deforestación. Sin embargo, la magnitud absoluta y los determinantes ambientales de la biomasa de los bosques tropicales son poco conocidos (Malhi *et al.* 2006). Según un estudio realizado por Bautista y Torres (2003), la biomasa promedio estimada para un bosque tropical del Ejido NohBec, Quintana Roo, México, es aproximadamente 105,6 t/ha, dicha densidad fue calculada mediante una metodología indirecta basada en datos existentes de volumen total.

2. Bosques Intervenidos

Los bosques intervenidos se definen según Quesada (2009) como bosque natural, que fue sometido a una intervención humana, que comúnmente se le llama aprovechamiento, intervención forestal, cosecha o extracción forestal. En un estudio realizado en bosques intervenidos en Nueva Quezada, Nicaragua, por Lagos y Venegas (2003) se reportó un promedio de biomasa almacenada de 357,97 t/ha. Dichos valores, dependen de la intensidad con que sea aprovechado el bosque y de las condiciones e impactos que se generen.

3. Bosques Secundarios

Los bosques secundarios se definen como el crecimiento forestal que se produce naturalmente después de un disturbio, perturbación al ecosistema o modificación drástica del bosque, causada por catástrofes naturales o por intervención humana (Brown y Lugo 1990, Müller *et al.* 1992).

En bosques secundarios de la Zona Atlántica de Costa Rica, se han realizado estudios, de los cuales se reporta un dato de 103 t/ha de biomasa aérea acumulada, indicando que los bosques secundarios poseen una mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea que las pasturas. Por otro lado, también han encontrado niveles de almacenamiento de 90,78 t/ha en bosques secundarios de Costa Rica (Chacón *et al.* 2007).

Según Finegan (1992) el proceso dinámico de colonización de especies en sitios abandonados se realiza paulatinamente en varias etapas a saber: a) Primera etapa: Bosque secundario temprano o colonización inicial, b) Segunda etapa: Bosque secundario intermedio o joven, c) Tercera etapa: Bosque secundario tardío o maduro. A continuación se detalla una explicación de cada una de ellas.

3.1. Primera etapa: Bosque secundario temprano o colonización inicial.

Los bosques secundarios tempranos son los que comprenden los primeros dos o cinco años después del abandono (Guariguata y Kattan 2002). Los mismos han sido de gran importancia en lugares como en el este de los Estados Unidos y más recientemente en el Amazonas, por su rol en el secuestro del carbono (Feldpausch *et al.* 2007).

Estudios realizados en el Amazonas, determinaron que el promedio de biomasa arriba del suelo acumulada en sitios que comprendían de 1 a 5 años de edad fue de 4,4 t/ha/año. Lo cual sugirió que los bosques secundarios tempranos acumulan

una menor cantidad de biomasa aérea que los bosques tropicales maduros, debido a sus diferencias de edad (Feldpausch *et al.* 2007).

3.2. Segunda etapa: Bosque secundario intermedio o joven.

Los bosques secundarios intermedios comprenden desde los cinco hasta los 20 años de edad (Guariguata y Kattan 2002). En esta etapa, la acumulación de biomasa arriba del suelo es mayor, comparada con los bosques tempranos, reportándose un promedio de 5,7 t/ha/año, para árboles ubicados en el Amazonas (Feldpausch *et al.* 2007). Esto debido a que la tasa de crecimiento del bosque secundario intermedio es más lenta con respecto a la primera etapa, por ende, es capaz de almacenar una mayor cantidad de biomasa aérea (Feldpausch *et al.* 2007). Un estudio realizado por Yepes *et al.* (2010) en Colombia, reportó datos de biomasa aérea que varían entre 5,65 t/ha para bosques de 11 años y 103,26 t/ha para bosques de 20 años.

3.3. Tercera etapa: Bosque secundario tardío o maduro.

Los bosques que entran en esta etapa son los que van de los 20 hasta los 100 años de edad (Guariguata y Kattan 2002). El bosque secundario tardío o maduro, presenta un mayor potencial en lo que es el almacenamiento de biomasa arriba del suelo, esto debido a que han tenido el suficiente tiempo para desarrollarse, antes de llegar al punto de saturación, donde su tasa de crecimiento es mínima. En un estudio realizado por Letcher y Chazdon (2009), para bosques secundarios maduros de 25 años de edad, en la Estación Biológica La Selva, en Costa Rica, se indicó un promedio de biomasa aérea de 158,82 t/ha. En Colombia, para bosques de 25 años de edad, se reportan datos de biomasa aérea de 124,25 t/ha (Yepes *et al.* 2010).

4. Zonas de Vida.

Naturalmente se presentan grupos de ecosistemas o asociaciones vegetales que comparten características semejantes como rangos de temperatura, precipitación y humedad, de tal forma que se pueden definir divisiones balanceadas de los parámetros climáticos para agruparlas. A estas agrupaciones Holdridge (1982), las llamó *zonas de vida*. Por lo tanto las zonas de vida son conjuntos de asociaciones, sin importar que cada grupo incluya una cadena de diferentes unidades de paisaje o de medios ambientes, que pueden variar desde pantanos hasta cimas de montañas (Quesada 2007).

En un estudio realizado por Bolaños *et al.* (1996) en las cercanías del Arenal, San Carlos, Costa Rica, se determinó el volumen total por hectárea de los bosques muy húmedos premontanos, pluviales premontanos y pluviales montano bajo existentes en el lugar. Al analizar los datos, Bolaños *et al.* (1996) concluyen que los bosques de las zonas de vida pluviales almacenan una mayor cantidad de biomasa aérea que el bosque muy húmedo premontano. Esa situación se debe a que en los climas pluviales no ocurre periodo seco, sino que presentan una alta precipitación anual.

Estudios realizados por Chacón *et al.* (2007) en bosques húmedos de Costa Rica han reportado valores de carbono entre 111,39 y 137,77 t/ha. Brown *et al.* (1989), reportaron que en la zona de vida bosque húmedo, es donde se presenta una mayor concentración de biomasa aérea por unidad de área. Suponen que los árboles presentes en esa zona de vida, tienen un balance de agua más favorable, lo que optimiza la acumulación de biomasa arriba del suelo, en relación con otras zonas de vida.

5. Biomasa

Según FAO (2004), la biomasa se define como toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta. La biomasa viva comprende la biomasa por encima del suelo y de la biomasa por debajo del suelo; mientras que la biomasa total abarca la biomasa viva, la biomasa de la madera muerta y la biomasa presente en el mantillo o en la hojarasca.

Las plantas, a través del proceso de fotosíntesis almacenan la energía solar, en forma de energía química, la cual es almacenada en la biomasa y es parte de un proceso fundamental de circulación de elementos que sustentan la vida, así como la base energética de la cadena alimentaria (Viquez *et al.* 1993). Por otro lado, se puede decir que la densidad de la biomasa es una variable útil para comparar los atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas forestales a través de una amplia gama de condiciones ambientales (Brown 1997).

Las estimaciones de la densidad de biomasa de los bosques son extremadamente relevantes para el estudio de ciclos biogeoquímicos globales, tales como el del carbono y del nitrógeno. Esto debido a que la cantidad de otros elementos y nutrientes en los bosques, también se relaciona con la cantidad de biomasa presente (Brown 1997).

La biomasa total de una región o país se obtiene a partir del producto de la densidad de la biomasa y el área correspondiente de los bosques. Para la mayoría de los bosques o formaciones arbóreas, las estimaciones de la densidad de biomasa se basan únicamente en la biomasa de los árboles con un diámetro medido a 1,3 m del suelo mayor o igual a 10 cm, que es el diámetro normal mínimo medido en la mayoría de los inventarios de bosques (Brown 1997). La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que esta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes. Además,

representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera o conservado y fijado en una determinada superficie (Brown *et al.* 1996).

6. Importancia de los bosques en el cambio climático

El cambio climático es uno de los temas globales de nuestro tiempo y los bosques desempeñan un papel importante en él. Los cambios en la cubierta, el uso y el manejo de los bosques producen las fuentes y los sumideros de dióxido de carbono que se intercambia con la biosfera (Brown 1997).

Por otro lado, la biomasa de los bosques es relevante para los temas relacionados con el cambio global. Por ejemplo, el papel de los bosques tropicales en los ciclos biogeoquímicos globales; especialmente el ciclo del carbono y su relación con el efecto invernadero, ha aumentado el interés en la estimación de la densidad de la biomasa en los bosques tropicales.

La biomasa de los bosques proporciona estimaciones de los reservorios de carbono en la vegetación forestal ya que aproximadamente el 50% de ella es el carbono (Brown 1997). Además, los bosques y otras asociaciones de árboles están constantemente asecados por la demanda de madera. Frente a esta realidad se presenta un nuevo panorama a nivel mundial, donde se valoran los bosques por los beneficios que brindan (servicios ambientales), como la captura de dióxido de carbono, la calidad del agua que proporcionan, la oportunidad de perpetuar la biodiversidad del planeta, así como también la oportunidad de recreación (Chaves 2000).

Debido a lo anterior, los bosques y las diferentes asociaciones de árboles son fuente de energía indispensable y aportan recursos que cumplen funciones ecológicas vitales para el medio ambiente (Chaves 2000). A la vez, son un medio para almacenar gran cantidad de carbono y reducir las emisiones de gases de

efecto invernadero. Debido a esto, en los últimos tiempos, los países le están brindando una mayor atención al problema del calentamiento global (Brown 1997).

Es por eso, que cualquier plan de manejo con fines de conservación y reducción de los niveles actuales de carbono atmosférico, deberá dar énfasis a la conservación de bosques secundarios y al mantenimiento o aumento de la densidad de árboles en las pasturas (Chacón *et al.* 2007). Igualmente se puede lograr evitando la deforestación o la tala, protegiendo los bosques en las reservas, cambiando los regímenes de explotación (por ejemplo, la tala de impacto reducido o alargar los tiempos de rotación), y aumentando el control de otras perturbaciones antropogénicas tales como incendios y plagas (Brown 2000).

METODOLOGÍA

1. Área de estudio

El estudio se realizó para todo Costa Rica, debido a que este país cuenta con una gran diversidad de bosques, los cuales son de suma importancia debido a que funcionan como reservorios de carbono.

1.1. Ubicación Geográfica

Costa Rica se ubica entre los 08°02'26' y 11°13'12" de latitud Norte y los 82°33'48" y 85°57'57" de longitud Oeste (Herrera 1986, IGN 2005). Con dicha posición geográfica, el país se localiza en la faja Tropical del Nuevo mundo (Neotrópico) y a su vez en la zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y sus oscilaciones latitudinales. Debido a esto las condiciones climáticas generales están determinadas por las oscilaciones del sol entre los paralelos 23°30' N y S, los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, faja conocida como Trópico (Gómez 1986).

1.2. Descripción general del país

1.2.1. Sistema de clasificación de zonas de vida según Holdridge

En Costa Rica existen 12 zonas de vida o formaciones vegetales distribuidas en pisos altitudinales: basal, premontano, montano bajo, montano y subalpino. En el Cuadro 1, se indican los pisos altitudinales y las diferentes zonas de vida descritas por Holdridge (1982), adicionalmente se expresan el ámbito de la altitud, el rango de precipitación y las provincias de humedad para cada piso altitudinal. En la Figura 1, se presenta la ubicación geográfica de las 12 zonas de vida descritas en Costa Rica, en la cual se resalta la cobertura que abarcan los bosques húmedos y muy húmedos, así como los bosques secos del Pacífico Norte (Guanacaste) (Quesada 2007).

Cuadro 1. Distribución y porcentaje del área terrestre de las zonas de vida presentes en Costa Rica, según piso y ámbito altitudinal.

Piso Altitudinal	Límites de biotemperatura (°C grados Centígrados)	Rango altitudinal (msnm)	Zonas de vida	Rango de precipitación (mm)	Provincia de humedad	Área (%)
Basal	Más de 24	0 - 700 según región	Bosque seco	1000 - 2000	subhúmedo	2,07
			Bosque húmedo	2000 - 4000	húmedo	13,98
			Bosque muy húmedo	4000 - 8000	perhúmedo	16,54
Premontano	Entre 24 - 18	700 - 1400 según región	Bosque húmedo	1000 - 2000	húmedo	1,74
			Bosque muy húmedo	2000 - 4000	perhúmedo	10,08
			Bosque pluvial	4000 - 8000	superhúmedo	8,58
Montano bajo	Entre 18 - 12	1400 - 2700	Bosque húmedo	1000 - 2000	húmedo	0,47
			Bosque muy húmedo	2000 - 4000	perhúmedo	2,16
			Bosque pluvial	4000 - 8000	superhúmedo	6,78
Montano	Entre 12 - 6	±2400 - 3700	Bosque muy húmedo	1000 - 2000	perhúmedo	0,03
			Bosque pluvial	2000 - 4000	superhúmedo	2,29
Subalpino	Entre 6 - 3	2800 - 4000	Páramo pluvial	1000 - 2000	superhúmedo	0,09

Basado en: Holdridge (1982); ITCR (2008).

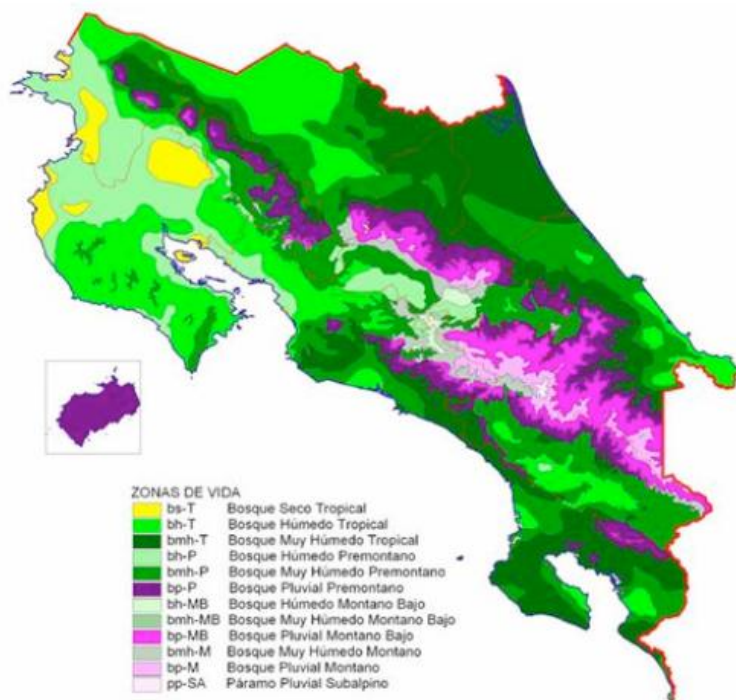


Figura 1. Distribución geográfica de las zonas de vida en Costa Rica (Basado en Bolaños *et al.* 2005).

1.2.2. Los Ecosistemas Boscosos.

Se determinó la biomasa arriba del suelo existente en los bosques primarios, secundarios (temprano, intermedio y tardío) e intervenidos. Los mismos se clasificaron por zona de vida. Los métodos que se utilizaron para el cálculo de la biomasa arriba del suelo se describen en la siguiente sección.

2. Recolección de datos

Se realizó una búsqueda exhaustiva de todos los datos existentes de área basal, volumen, biomasa arriba del suelo, diámetro, altura y número de árboles, por zona de vida y en diferentes tipos de bosques de todo el país. La información se tomó de tesis, de parcelas permanentes de muestreo y de inventarios forestales realizados en años anteriores. La información se agrupó en una base de datos y se indicaron los diferentes diámetros mínimos, los distintos porcentajes de muestreo, los errores y las incertidumbres de cada caso en específico.

2.1. Procesamiento de datos para estimar biomasa

Se procesaron los datos con los diferentes métodos existentes para el cálculo de biomasa arriba del suelo, de acuerdo con la información que se obtuvo y las variables necesarias para aplicarlos.

2.1.1. Cuando solo volumen se reporta

Se empleó la metodología utilizada por Brown (1997) para la estimación de la densidad de la biomasa de formaciones leñosas, basada en datos de volumen por hectárea existentes. Dicho método se desarrolla a continuación:

MÉTODO: Densidad de la biomasa aérea basada en datos de volumen existentes.

Este método se basó en datos existentes de volumen inventariado por hectárea (VOB/ha) y se aplicó en bosques primarios, intervenidos y secundarios, los cuales crecen en climas húmedos y secos. El volumen inventariado incluyó todos los árboles, comerciales o no, con un diámetro mínimo de 10 cm a la altura del pecho. También se encontraron inventarios con diámetros mínimos mayores, donde la información del VOB/ha, se utilizó con algunos ajustes, como se muestra a continuación.

Ecuación general

La densidad de la biomasa se calculó a partir de VOB/ha, primero, estimando la biomasa del volumen inventariado y luego "expandiendo" este valor, para tener en cuenta la biomasa de otros componentes sobre la superficie, de la siguiente manera (Brown y Lugo 1992, Brown 1997):

$$\text{Densidad de la biomasa sobre el suelo (t/ha)} = \mathbf{VOB * WD * BEF}$$

donde:

WD = densidad media ponderada por volumen de madera (1 de biomasa secada en horno por m³ de volumen verde).

BEF = factor de expansión de biomasa (relación de la biomasa sobre el suelo de árboles secada en horno con la biomasa del volumen de fustes inventariado secada en horno).

Densidad media ponderada por volumen de madera (WD)

Se calculó un promedio ponderado (basado en el dominio de cada especie, medido en volumen) de un valor de densidad de la madera, de la siguiente manera:

$$WD = \left\{ \left(\frac{V1}{Vt} \right) \cdot WD1 + \left(\frac{V2}{Vt} \right) \cdot WD2 + \dots + \left(\frac{Vn}{Vt} \right) \cdot Wdn \right.$$

donde:

V1, V2 ,.... Vn = volumen de la especie 1, 2, ..hasta la especie enésima
Vt = volumen total WD1 WD2 ,..... Wdn = densidad de madera de la especie 1, 2 ,..... hasta la especie enésima.

Cuando no se encontró el dato de densidad de la madera de ciertas especies forestales, se utilizó una media aritmética de 0,60 (t/m³ o g/cm³) recomendada por Brown (1997) para especies desconocidas.

Factor expansión de la biomasa (BEF)

Se determinó el factor de expansión de la biomasa arriba del suelo mediante las siguientes ecuaciones (Brown y Lugo 1992):

$$BEF = \exp \{3,213 - 0,506 \ln * (BV)\} \text{ para } BV < 190 \text{ t/ha}$$

1,74 para BV ≥ 190 t/ha

donde:

BV = biomasa arriba del suelo del volumen inventariado en t/ha, calculada como el producto de VOB / ha (m³/ha) y densidad de la madera (t/m³).

2.1.2. Cuando existe diámetro y altura

Se calculó la biomasa arriba del suelo por árbol, usando las siguientes ecuaciones alométricas preparadas para Costa Rica:

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para calcular la biomasa arriba del suelo, según grupos de especies esciófitas, heliófitas y esciófitas parciales.

Grupo de especies	Ecuación
<i>Esciófitas</i>	$bt = 0,01689 * d^{1,6651} * ht^{1,4412}$
<i>Heliófitas y Esciófitas parciales</i>	$bt = 0,01363 * d^{1,8528} * ht^{1,2611}$

Fuente: Ortiz (1997). Donde d= Diámetro a 1,3 m de altura (cm), ht= altura total (m).

2.1.3. Cuando solo área basal se reporta

Para estimar la biomasa arriba del suelo usando área basal, se utilizó el modelo polinómico de regresión, desarrollado por Ortiz (2010) con la siguiente ecuación:

$$Y = 0,15948 * X^2$$

Donde:

Y es Biomasa (t/ha)

X es área basal (m²/ha)

2.1.4. Cuando se reporta solo diámetro

Se determinó la biomasa arriba del suelo por árbol utilizando la siguiente ecuación desarrollada por Ortiz *et al.* (2010):

$$Y = 0,1491 * d^{2,3494}$$

Donde:

Y es Biomasa (Kg/ha)

d es Diámetro a 1,3 m de altura (cm)

3 Análisis de la información

Se realizó el cálculo del promedio, del error y de los respectivos límites de confianza ($\alpha = 0,05$), por zona de vida y tipo de bosque. Luego se procedió a comparar los datos generados en esta investigación con datos existentes en Mesoamérica, para determinar si existen o no diferencias entre los datos.

4 Mapa

Con la información que se recopiló de las coordenadas de los diferentes lugares, se realizó el mapa de puntos de referencia para el cálculo de biomasa arriba del suelo, el cual se hizo siguiendo la metodología de Ortiz y Soto (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó que existen variaciones en la cantidad de biomasa aérea encontrada en los diferentes tipos de bosque, clasificados a la vez por zona de vida (Cuadros 3, 4, 5 y 6).

Cuadro 3. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en el piso altitudinal basal y tipo de bosque para Costa Rica.

Zona de Vida		Tipo de Bosque				
		Primario	Intervenido	Secundario Tardío (> 20 años)	Secundario Intermedio (5-20 años)	Secundario Temprano (2-5 años)
Bosque seco Tropical (bs-T)	Biomasa (t/ha)	161,33	129,59	79,58	17,66	13,11
	Coefficiente Variación	59,31	139,70	51,75	120,98	57,37
	G (m²/ha)	13,98	23,35	21,03	7,93	6,86
	Coefficiente Variación	132,92	64,51	27,84	60,31	60,94
	Número Observaciones	13	16	37	14	6
Bosque húmedo Tropical (bh-T)	Biomasa (t/ha)	164,32	91,56	102,39	48,40	14,94
	Coefficiente Variación	48,17	77,91	101,17	64,33	89,74
	G (m²/ha)	24,89	21,18	20,89	13,97	6,32
	Coefficiente Variación	56,19	44,08	61,03	53,30	91,31
	Número Observaciones	27	126	25	9	7
Bosque muy húmedo Tropical (bmh-T)	Biomasa (t/ha)	207,00	137,23	153,70	63,19	13,05
	Coefficiente Variación	63,69	69,47	64,73	75,17	82,12
	G (m²/ha)	30,59	21,73	21,02	13,97	3,79
	Coefficiente Variación	45,34	61,39	56,47	61,86	121,19
	Número Observaciones	40	110	41	40	10

En el Cuadro 3 se observa que la biomasa arriba del suelo presenta diferencias notables entre los bosques intervenidos y los bosques secundarios tardíos. Dichas diferencias posiblemente surgen debido a diversos factores como la edad del bosque, el nivel de intervención, el impacto y el estado final del bosque después de un aprovechamiento. La biomasa aérea de las tres zonas de vida del piso altitudinal basal tienen la misma tendencia con relación a los tipos de bosque (Figura 2).

El bosque seco tropical presentó datos de biomasa aérea que van desde 161,33 hasta 13,11 t/ha, los cuales corresponden al bosque primario y secundario temprano respectivamente. Sin embargo, Uslar *et al.* (2004), reportó para un bosque seco ubicado en Santa Cruz, Bolivia, datos de área basal de 5,37 m²/ha y de biomasa aérea de 4,61 t/ha; indicando que la biomasa aérea almacenada en los bosques secos en Costa Rica, es alta en comparación con lo encontrado en Bolivia. Estas diferencias, posiblemente se deben a los factores ambientales presentes en cada bosque.

Para los bosques húmedo y muy húmedo, se obtuvieron datos de biomasa aérea que oscilan entre 207 y 13,05 t/ha. Los bosques de tipo forestal siempre verde estudiados por Schlegel (2001) en la región centro-sur de Chile, también se pueden clasificar como bosques húmedos o muy húmedos, debido a que se encuentran por debajo de los 1000 m.s.n.m. y presentan precipitaciones desde 1500 a 4000 mm/año. Dichos bosques se encuentran en estado de desarrollo adulto y presentan datos de biomasa aérea de 160,02 t/ha en Chaihuín y de 140,07 t/ha en Buenaventura. Estos datos son comparables con los promedios de 164,32 t/ha para el bosque primario y 153,70 t/ha para el bosque secundario tardío, ambos correspondientes al piso altitudinal basal que se muestran en el Cuadro 3.

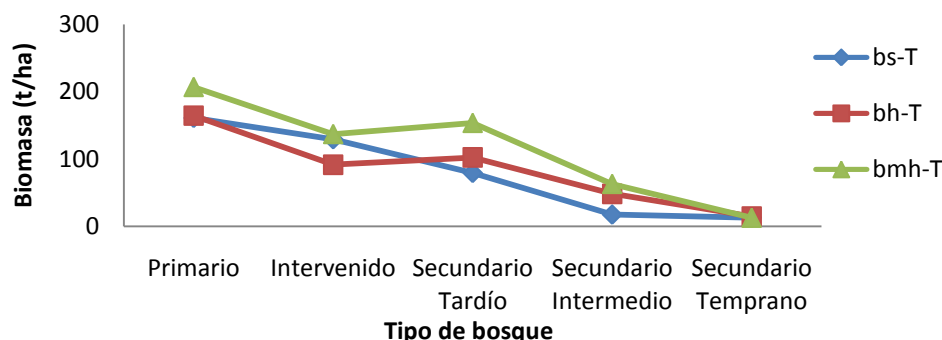


Figura 2. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en el piso altitudinal basal.

Cuadro 4. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en el piso altitudinal premontano y tipo de bosque para Costa Rica.

Zona de Vida		Tipo de Bosque				
		Primario	Intervenido	Secundario Tardío (> 20 años)	Secundario Intermedio (5-20 años)	Secundario Temprano (2-5 años)
Bosque húmedo Premontano (bh-P)	Biomasa (t/ha)	247,49	154,93	87,04	130,52	21,90
	Coefficiente Variación	28,22	53,68	85,45	95,26	NA
	G (m ² /ha)	32,84	26,08	16,24	25,33	0,00
	Coefficiente Variación	52,22	53,72	69,48	51,69	NA
	Número Observaciones	6	8	18	44	1
Bosque muy húmedo Premontano (bmh-P)	Biomasa (t/ha)	219,59	134,60	104,20	71,16	22,49
	Coefficiente Variación	103,74	90,31	60,33	97,07	118,60
	G (m ² /ha)	21,76	23,89	21,91	12,48	6,17
	Coefficiente Variación	100,50	48,23	44,05	88,85	125,60
	Número Observaciones	18	66	46	27	9
Bosque pluvial Premontano (bp-P)	Biomasa (t/ha)	233,26	145,96	158,04	62,76	69,02
	Coefficiente Variación	59,53	46,37	58,75	76,31	130,52
	G (m ² /ha)	30,16	24,09	12,12	13,13	5,34
	Coefficiente Variación	61,49	48,19	136,97	91,31	172,74
	Número Observaciones	20	20	5	7	5

Se obtuvieron datos de biomasa aérea (t/ha) de los diferentes bosques y zonas de vida presentes en el piso altitudinal premontano (Cuadro 4). Dichos datos van desde 247,49 t/ha en el bosque primario, hasta 21,90 t/ha en el bosque secundario temprano, ambos datos correspondientes a la zona de vida bosque húmedo. En cuanto al bosque muy húmedo, se determinaron promedios de biomasa aérea de 104,20 t/ha para el bosque secundario tardío y 71,16 t/ha para un bosque secundario intermedio. Datos similares se presentaron en el bosque pluvial, donde para el bosque intervenido se obtuvo un promedio de biomasa de 145,96 t/ha y para el bosque secundario temprano 69,02 t/ha.

Para un bosque secundario en la zona de vida bosque húmedo premontano, Rodríguez y Pratt (1998) reportaron datos de biomasa aérea de 224 t/ha, el cual es similar al promedio obtenido por Lagos y Vanegas (2003) en Nueva Quezada, Nicaragua, de 284,35 t/ha, para un bosque secundario tardío en la misma zona de vida. Al comparar los datos anteriores con lo obtenido en este trabajo, se nota una clara diferencia entre ellos, debido a que en Costa Rica para el bosque secundario tardío en la zona de vida bosque húmedo premontano se obtuvo un promedio de 87,04 t/ha, lo cual es muy bajo en relación con lo reportado por estos autores.

Lo mismo sucede con los datos de biomasa aérea para el bosque intervenido en la zona de vida bosque muy húmedo, debido a que Rodríguez y Pratt (1998) indican un valor 351 t/ha y Lagos y Venegas (2003) en Nueva Quezada, Nicaragua, obtuvieron un promedio de biomasa arriba del suelo almacenada de 357,97 t/ha, los cuales son superiores al alcanzado en este estudio (134,60 t/ha).

El promedio obtenido para la zona de vida bosque pluvial premontano y bosque secundario tardío en este estudio es de 158,04 t/ha, el cual, es un dato bajo en comparación con lo obtenido por Rodríguez y Pratt (1998), los cuales reportaron un promedio de 224 t/ha de biomasa aérea para un bosque con las mismas condiciones mencionadas anteriormente.

Esta situación posiblemente se debe a diversos factores, como las diferencias en las edades de los bosques, el estado de desarrollo alcanzado por los mismos y el nivel de recuperación logrado por cada uno.

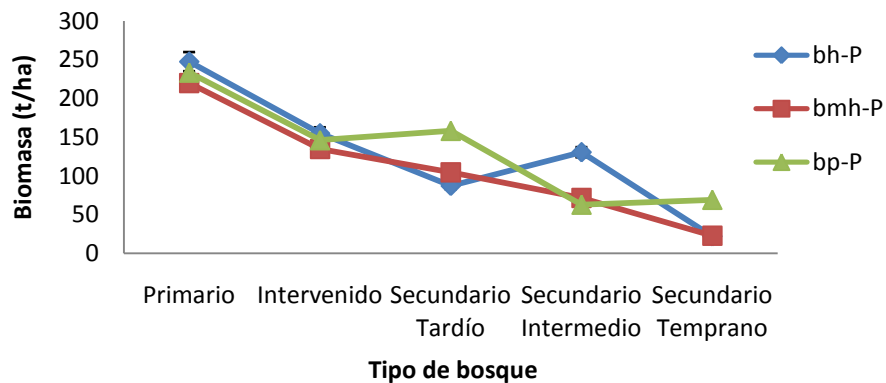


Figura 3. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en el piso altitudinal premontano.

Gráficamente se visualiza una tendencia de disminución de los valores de biomasa aérea, conforme la edad de los bosques desciende (Figuras 2, 3, 4 y 5). Moraes (2001) también identificó altas correlaciones entre la edad y la cantidad de biomasa aérea de los bosques. En algunos casos, la variabilidad entre los valores de carbono almacenados en los bosques intervenidos y los bosques secundarios tardíos puede estar altamente relacionada con la incertidumbre en la asignación de las edades de dichos bosques.

Cuadro 5. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en el piso altitudinal montano bajo y tipo de bosque para Costa Rica.

Zona de Vida		Tipo de Bosque				
		Primario	Intervenido	Secundario Tardío (> 20 años)	Secundario Intermedio (5-20 años)	Secundario Temprano (2-5 años)
Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB)	Biomasa (t/ha)	211,03	119,50	119,50	51,20	17,10
	Coefficiente Variación	27,03	NA	NA	NA	NA
	G (m²/ha)	19,85	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente Variación	141,42	NA	NA	NA	NA
	Número Observaciones	2	1	1	1	1
Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB)	Biomasa (t/ha)	445,40	209,45	158,67	97,90	32,60
	Coefficiente Variación	37,85	12,73	49,29	NA	NA
	G (m²/ha)	29,75	17,29	18,18	0,00	0,00
	Coefficiente Variación	141,42	141,42	92,15	NA	NA
	Número Observaciones	2	2	3	1	1
Bosque pluvial Montano Bajo (bp-MB)	Biomasa (t/ha)	243,09	347,00	141,51	150,47	36,21
	Coefficiente Variación	77,87	68,61	73,52	102,46	113,90
	G (m²/ha)	21,36	38,10	22,33	22,30	8,75
	Coefficiente Variación	124,65	60,31	71,88	86,98	132,63
	Número Observaciones	4	6	8	7	4

En las zonas de vida y tipos de bosque presentes en el piso altitudinal montano bajo (Cuadro 5), se obtuvieron promedios de biomasa arriba del suelo que van desde 445,4 t/ha para un bosque primario en la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), hasta 17,1 t/ha para un bosque secundario temprano en la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB), lo cual demuestra la tendencia dada en casos anteriores, y que se puede observar en la Figura 4, donde los bosques de mayor edad o de un estado de desarrollo maduro, son los que presentan mayor cantidad de biomasa almacenada.

En el bosque húmedo montano bajo, los valores de biomasa aérea variaron de 211,03 hasta 71,10 t/ha, para los bosques primario y secundario temprano respectivamente. Dichos datos son comparables con el promedio de 257,60 t/ha que obtuvieron Phillips *et al.* (2011) en bosques primarios ubicados en la misma zona de vida, en las regiones Andina y Caribe de Colombia.

Para la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo, los promedios de biomasa arriba del suelo obtenidos van desde 445,40 hasta 32,60 t/ha, en bosque primario y bosque secundario temprano, respectivamente. Sin embargo, los datos que reportaron Hernández (2001) y Phillips *et al.* (2011), son inferiores a los obtenidos en este estudio, ya que para bosques primarios ubicados en el Estado de Bolívar, Venezuela, en la zona de vida bmh-MB, Hernández (2001) indicó un promedio de biomasa aérea de 267,24 t/ha y Phillips *et al.* (2011), para un bosque en las mismas condiciones, pero en la región Amazonía de Colombia, reportó un valor de 255,20 t/ha de biomasa arriba del suelo. Dichas diferencias posiblemente se deben al estado de desarrollo en que se encuentran los bosques primarios, a las diferencias en los tipos de suelo y a las especies que componen los bosques.

El bosque pluvial montano bajo (bp-MB) mostró un promedio de 347 t/ha de biomasa arriba del suelo para el bosque intervenido, siendo este el valor más alto. El bosque secundario temprano obtuvo el dato de 36,21 t/ha de biomasa aérea, resultando el dato más bajo en esta zona de vida. Dichos datos se pueden comparar con el promedio de biomasa aérea obtenido por Rodríguez y Pratt (1998) en bosques secundarios tardíos de Costa Rica encontrados en la zona de vida bp-MB, el cual reportó un valor de 284 t/ha. Esto posiblemente se debe a que los bosques son de edades, composición y estructura similares.

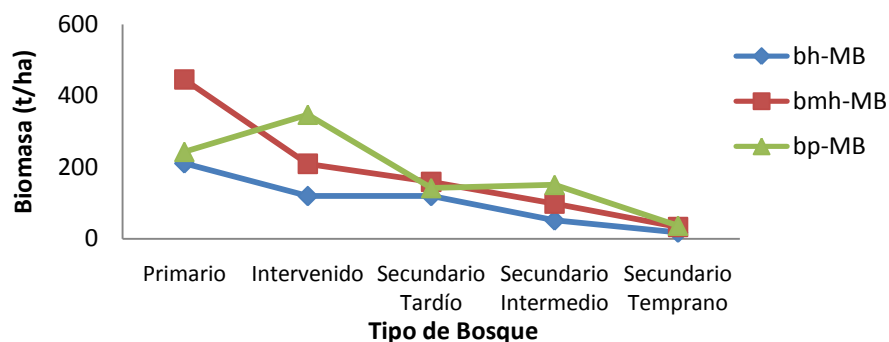


Figura 4. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en el piso altitudinal montano bajo.

Cuadro 6. Biomasa arriba del suelo (t/ha) según zona de vida presente en los pisos altitudinales montano y subalpino y tipo de bosque para Costa Rica.

Zona de Vida		Tipo de Bosque				
		Primario	Intervenido	Secundario Tardío (> 20 años)	Secundario Intermedio (5-20 años)	Secundario Temprano (2-5 años)
Bosque muy húmedo Montano (bmh-M)	Biomasa (t/ha)	412,80	181,58	171,11	81,50	27,20
	Coefficiente Variación	32,61	62,01	15,78	NA	NA
	G (m ² /ha)	39,54	26,42	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente Variación	58,53	67,21	NA	NA	NA
	Número Observaciones	18	7	2	1	1
Bosque pluvial Montano (bp-M)	Biomasa (t/ha)	215,75	255,32	43,52	39,27	22,20
	Coefficiente Variación	59,24	37,19	139,09	132,97	20,39
	G (m ² /ha)	14,93	38,20	10,64	0,00	0,00
	Coefficiente Variación	173,21	27,58	79,07	NA	NA
	Número Observaciones	3	33	13	2	2
Páramo pluvial Subalpino (Pp-S)	Biomasa (t/ha)	20,00	14,00	14,00	6,00	2,00
	Coefficiente Variación	NA	NA	NA	NA	NA
	G (m ² /ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente Variación	NA	NA	NA	NA	NA
	Número Observaciones	1	1	1	1	1

En los pisos altitudinales montano y subalpino (Cuadro 6) se obtuvieron promedios de biomasa arriba del suelo que van desde 412,80 t/ha para un bosque primario en la zona de vida bosque muy húmedo montano (bmh-M), hasta 2 t/ha para un bosque secundario temprano en la zona de vida páramo pluvial subalpino (Pp-S). Al igual que en casos anteriores, los bosques que presentan mayor edad, son lo que obtuvieron datos mayores de biomasa aérea.

Duque (2010) presentó datos promedio de biomasa aérea de 131,91 t/ha en un estudio realizado en bosques intervenidos de Colombia, en la zona de vida bmh-M. Dicho valor es menor al obtenido en este trabajo (181,58 t/ha), esto es posible que se deba a las diferencias en las especies, la estructura, composición y tipos de suelos presentes en ambos bosques.

Al comparar el dato reportado por Duque (2010), donde obtuvo un promedio de biomasa aérea de 105 t/ha para bosques primarios ubicados en Colombia, en la zona de vida bosque pluvial montano (bp-M) con el resultado obtenido en este estudio de 215,75 t/ha para bosques con las mismas condiciones; se determina que la biomasa aérea almacenada en los bosques ubicados en la zona de vida bp-M en Costa Rica, es alta en comparación con lo encontrado en los bosques de Colombia.

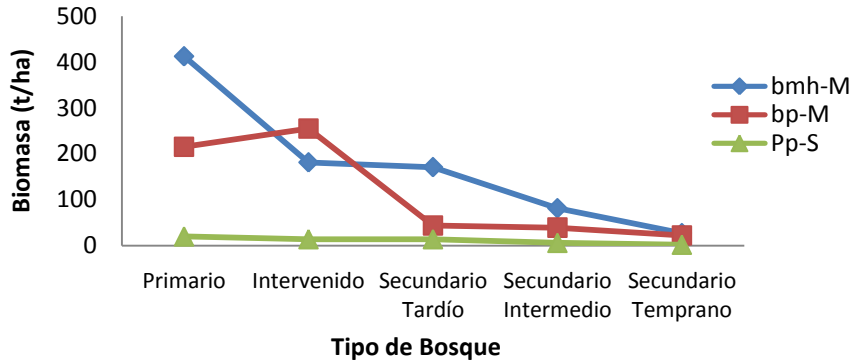


Figura 5. Biomasa arriba del suelo (t/ha), según la zona de vida y el tipo de bosque presente en los pisos altitudinales montano y subalpino.

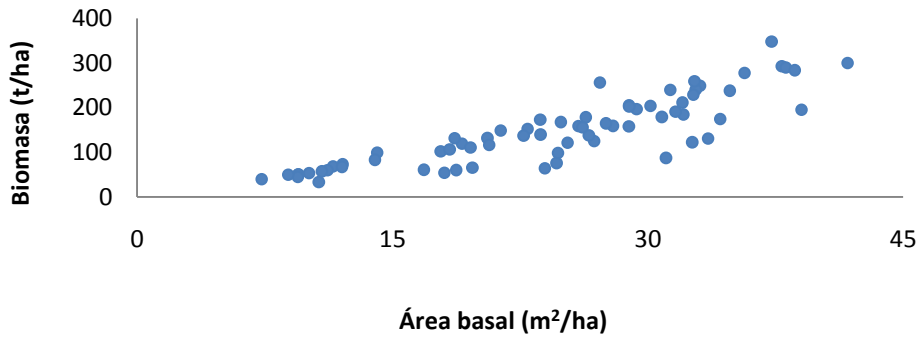


Figura 6. Relación de la biomasa arriba del suelo (t/ha) y el área basal (m²/ha).

En la Figura 6, se presenta la relación entre las variables área basal (m²/ha) y biomasa aérea (t/ha) (datos de biomasa aérea sin tomar en cuenta la ecuación $Y=0,15948 \cdot X^2$, donde la biomasa (Y) se da en función del área basal (X)), la cual coincide con lo observado por Arreaga (2002) en un estudio realizado en la Reserva de Biosfera Maya, en el departamento de Petén, Guatemala, donde se presentó una alta correlación entre estas variables. Brown y Lugo (1992) indican que el efecto en el aumento de área basal, influye directamente en la ganancia de biomasa al destacar la importancia de individuos mayores en las estimaciones de almacenamiento de carbono.

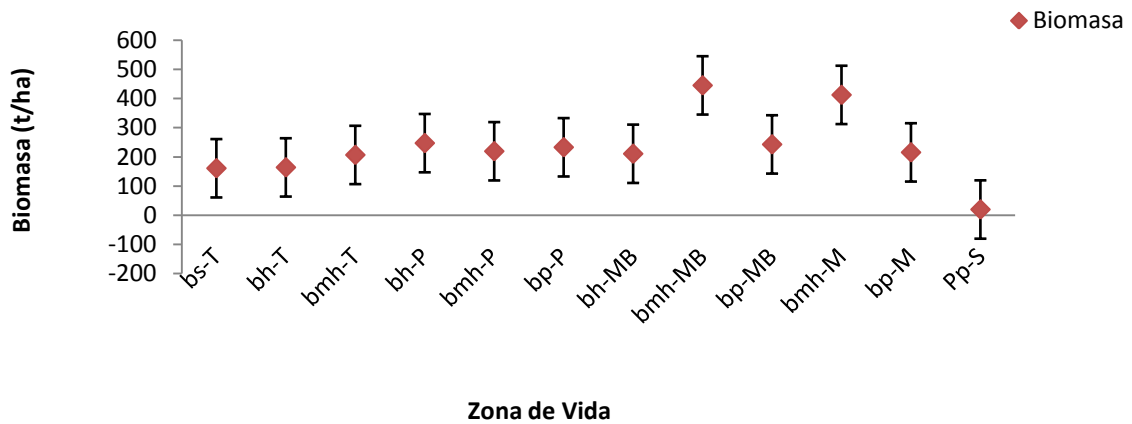


Figura 7. Biomasa arriba del suelo (t/ha) por zona de vida para bosques primarios en Costa Rica.

Como se puede observar en la Figura 7, las zonas de vida de los bosques primarios que presentan un promedio mayor de biomasa aérea, son las que se encuentran en el piso altitudinal montano bajo y montano, los cuales presentan rangos de temperatura entre 18 – 12 °C y 12 – 6 °C, respectivamente. El páramo pluvial subalpino, presentó datos muy bajos, esto debido a la vegetación existente, la cual almacena poca biomasa aérea. La mayor parte de la biomasa en esta zona de vida se encuentra en el suelo. Por otro lado, el bosque seco, con un promedio de temperatura anual de más de 24°C y con un rango de precipitación de 1000 – 2000 mm, presenta el promedio menor de biomasa arriba del suelo. Según Guariguata y Kattan (2002), las sequías en los bosques provocan déficits hídricos, afectando los tejidos de la planta, haciendo que la deficiencia de agua juegue un papel importante en la ganancia de carbono, y por ello, su influencia se hace sentir no sólo en el funcionamiento de la planta sino en su tasa de crecimiento.

En la Figura 8 se representan los diferentes sitios de dónde se obtuvieron los datos e información para la estimación de biomasa aérea por zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. En el mapa se pueden apreciar lugares que no presentan datos de biomasa arriba del suelo, esto posiblemente se debe a

factores limitantes para la toma de datos (terrenos quebrados, elevación) o a las actividades agropecuarias (piña, banano, arroz, la caña de azúcar, palma, melón y ganadería).

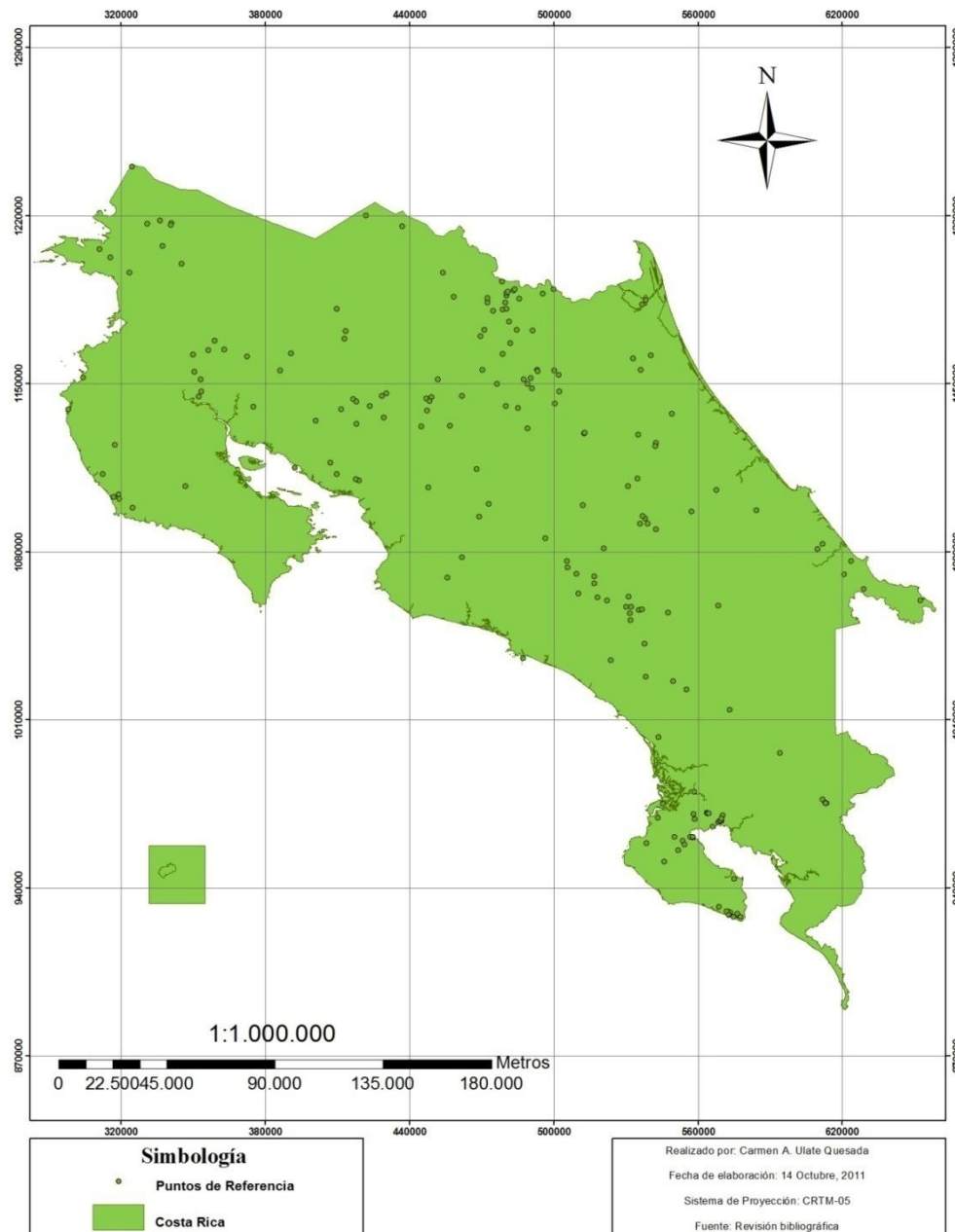


Figura 8. Mapa de puntos de referencia para el cálculo de biomasa arriba del suelo en Costa Rica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La biomasa encontrada por tipo de bosque fue variable (ver Cuadros 3, 4, 5 y 6), siendo el bosque secundario temprano el que reportó el menor dato (2 t/ha); mientras que el promedio mayor de biomasa aérea, se presentó en el bosque primario con 445,40 t/ha. Posiblemente lo anterior se debe a las diferencias en la edad de los bosques, a los factores edafo-climáticos, a las especies o a alguna intervención de los bosques.
- Entre los pisos altitudinales también se encontraron variaciones, ya que según los Cuadros 3, 4, 5 y 6, para el bosque primario, el piso altitudinal subalpino, fue el que presentó un promedio menor de biomasa aérea (20 t/ha), mientras que el piso altitudinal montano bajo, mostró el dato mayor de biomasa arriba del suelo (445,40 t/ha). Esto posiblemente se debe a las diferencias en la elevación y a la vez en la temperatura, cantidad y calidad de la energía lumínica que presenta cada piso altitudinal.
- Para el bosque primario, el bosque seco promedió 161,33 t/ha, mientras que el bosque muy húmedo obtuvo un valor de 445,40 t/ha de biomasa aérea, como se muestra en los Cuadros 3, 4, 5 y 6. Esto posiblemente se debe a la gradiente de humedad presente en los bosques.
- Debido a la variabilidad de los bosques, es necesario realizar más estudios enfocados a determinar la cantidad de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en las zonas de vida y en los distintos tipos de bosque, esto para obtener datos más exactos de la biomasa presente en nuestros bosques.

- Promover estudios que evalúen, brinden datos y faciliten el conocimiento de la dinámica de la biomasa en los distintos bosques y zonas de vida, esto para poder ampliar los datos y tener una mejor estimación de la biomasa aérea presente en los bosques de Costa Rica. Estos estudios pueden ser: inventarios de biomasa, investigación del crecimiento de los bosques, el establecimiento de más parcelas permanentes, e incluso, desarrollar modelos de crecimiento, enfocados a la biomasa viva y total.
- Monitorear las parcelas permanentes de muestreo (PPM) ya establecidas, para poder llevar un control más detallado y a la vez cuantificar la biomasa aérea y determinar las regiones que poseen sitios con abundante o escasa biomasa arriba del suelo. También, mediante programas de PSA, fomentar la conservación, e incluir estos bosques en estudios futuros.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreaga, W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 86 p.
- Bautista, J; Torres, J. 2003. Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del Ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo: serie ciencias forestales y del ambiente*. 9(1): 69-75.
- Berbeco, M. 2011. Temperate forest carbon cycling: The importance of tree species in a changing global environment. Tesis Ph.D. TUFTS University. 112 p.
- Bolaños, R; Alpízar, E; Echeverría, J; Aylward, B. 1996. Estimación de la productividad forestal de bosques secundarios en tres micro-cuencas de Arenal, Costa Rica. San José, CR. 29 p.
- Bolaños, R.; Watson, V., y Tosi, J. 2005. Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge), Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. University of Illinois. Department of natural resources and environmental sciences. Urbana, Illinois, USA.
- _____. 2000. Forestry, Climate Change, and Kyoto. Seventeenth annual C. E. Farnsworth memorial lecture, Faculty of Forestry, SUNY College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, NY.
- Brown, S; Gillespie, A; Lugo, A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 35(4): 881-902.
- Brown, S; Lugo, A. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*. 6(1): 1-32

- _____. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*.17: 8-18.
- Brown, S; Sathaye, J; Cannell, M; Kauppi, P. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Common wealth Forestry Review*. 75(1): 80-91.
- Chacón, M; Harvey, C; Delgado, D. 2007. Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. no. 51-52: 19-32.
- Chaves Arce, MA. 2000. Aplicación de una metodología para la estimación de biomasa leñosa arriba del suelo en árboles individuales, en la región Atlántica de Costa Rica. *Práctica de especialidad*. Cartago, CR: ITCR. 48 p.
- Duque, A. 2010. Estimación de los contenidos de carbono en los bosques naturales de Colombia para el desarrollo de proyectos REDD. Proyecto de fortalecimiento de la capacidad técnica y científica colombiana para el apoyo a proyectos de reducción de emisiones por deforestación. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencias Forestales. CO. 45 p.
- FAO. 2004. Actualización de la evaluación de los recursos forestales mundiales a 2005: Términos y definiciones. (en línea). Consultado 8 set. 2011. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/ae156s/ae156s00.htm#TopOfPage>
- Feldpausch, T; Prates, C; Fernández, E; Riha, S. 2007. Secondary forest growth deviation from chronosequence predictions in central Amazonia. *Global Change Biology*. 13: 967-979.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. Trad. Luján, R. CATIE/COSUDE, Turrialba, Costa Rica. 30 p.
- Gómez, L. D. 1986. Vegetación de Costa Rica, apuntes para una biogeografía costarricense. *Vegetación y Clima de Costa Rica*. Volumen 1. Gómez, L.D. y Herrera, W. editores. Primera edición, UNED, San José, Costa Rica. 323 p.
- Guariguata, M; Kattan, G. 2002. *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales*. 1^{er} Ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 692 p.

- Hernández, L. 2001. Densidad de biomasa aérea en bosques extensos del Neotrópico húmedo. Caso de la Cuenca del Río Caura, Venezuela. *Revista Forestal Iberoamericana*. 1(1): 24-34.
- Herrera, W. 1986. *Clima de Costa Rica. Vegetación y Clima de Costa Rica. Volumen 2*. Gómez, L.D. y Herrera, W. editores. Primera edición, UNED, San José, Costa Rica. 118 p.
- Holdridge, L. 1982. *Ecología basada en zona de vida*. Trad. del inglés por Jiménez, H. Segunda reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216 p.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2005. *División territorial administrativa de la República de Costa Rica*. Comisión Nacional de División Territorial Administrativa. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica. 254 p.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). 2008. *Atlas de Costa Rica 2008*. Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, CR. Base de datos.
- Lagos Real, OJ; Vanegas Berríos, SS. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quezada, Río San Juan. *Práctica de Especialidad*. Managua, NI, UCA. 121 p.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenible*. Trad. Carrillo, A. Alemania, GTZ. 332 p.
- Letcher, S; Chazdon, R. 2009. Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. *Biotropica*. 41(5): 608-617.
- Lynn, C. 2010. *Carbon dynamics of forest in Washington, U.S. and the effects of climate-driven changes in fire regimes on carbon storage potencial*. Tesis Ph.D. University of Washington. 192 p.
- Malhi, Y; Wood, D; Baker, T; Wright, J; Phillips, O; Cochrane, T; Meir, P; Chave, J; Almeida, S; Arroyo, L; Higuchi, N; Killeen, T; Laurance, S; Laurance, W; Lewis, S; Monteagudo, A; Neill, D; Vargas, P; Pitman, N; Quesada, CA. 2006. *Global Change Biology*. 12: 1107-1138.

- Martínez-Yrizar, Sarukhan, A.J.; Pérez Jiménez, A; Rincon, E; Maass, J.M; Solís Magallanes, A; Cervantes, L. 1992. Above ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology*. 8:87-96.
- Moraes, C. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba,CR,CATIE. 116 p.
- Müller, E; Guillén, L; Fedlemeier, CH; Cartín, F. 1992. Bosque secundario: Una reforestación natural. Proyecto CATIE/COSUDE-COSEFORMA. Costa Rica. 5 p.
- Ortiz, E. 1997. Refinement and evaluation of two methods to estimate aboveground tree biomass in Tropical Forests. Tesis Ph.D. Syracuse, New York, US. State University of New York College of environmental Science and Forestry.120 p.
- Ortiz, E. 2010. Estimación de biomasa arriba del suelo usando área basal en bosques tropicales de la península de Osa, Costa Rica. In Congreso Agropecuario y Forestal, (13th, 2010, San José, CR). Congreso. San José, CR.
- Ortiz, E; Vílchez, B; Chazdon, R. 2010. Estimación de biomasa arriba del suelo usando diámetro y altura en bosques tropicales de la Península de Osa. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. (en preparación).
- Ortiz, E; Soto, C. 2010. Libro de laboratorios. Curso: Sistemas de Información Geográfica con Arc Gis. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 104 p.
- Phillips J.F; Duque A.J; Cabrera K.R; Yepes A.P; Navarrete D.A; García, M.C; Álvarez, E; Cabrera E; Cárdenas, D; Galindo G; Ordóñez, M.F; Rodríguez M.L; Vargas D.M. 2011. Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá, CO. 16 p.

- Quesada, R. 2007. Los bosques de Costa Rica. In Congreso nacional de ciencias: Exploraciones fuera y dentro del aula, (9th, 2007, Cartago, CR). Congreso. Cartago, CR. p. 1-16.
- Quesada, R; Castillo, M. 2004. Caracterización de la vegetación de la Estación Biológica Sirena mediante dos parcelas permanentes, Parque Nacional Corcovado, Área de Conservación Osa. Informe final proyecto de investigación. Cartago, CR.
- Quesada, R. 2009. Definiciones forestales. (en línea). Consultado 20 set. 2011. Disponible en www.sirefor.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=9
- Quirós, K. 2002. Composición florística y estructural para el bosque primario del Hotel La Laguna del Lagarto Lodge, Boca Tapada de Pital, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 91 p.
- Rodríguez, J; Pratt, L. 1998. Potencial de carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de Costa Rica. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible (CLACDS). (Documento en proceso).
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. In Simposio Internacional medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 2001, Valdivia, CL. Simposio. Valdivia, CL.
- Uslar, Y; Mostacedo, B; Saldías, M. 2004. Composition, structure, and dynamic of a semideciduous dry forest in Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 39(1): 25-43.
- Viquez Avendaño, J; Sánchez Jiménez, F; Mauricio Vásquez, P. 1993. Oportunidades para el aprovechamiento de los recursos biomásicos en la región de los cerros de Escazú: Proyecto BUN-CODECE. San José, CR. 40p.
- Yepes, A; del Valle, J; Jaramillo, S; Orrego, S. 2010. Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical*. 58(1): 427-445.

BIBLIOGRAFÍA PARA DATOS DE BIOMASA

- Abarca Mata, C; Picado Valverde, F. 1998. Evaluación del aprovechamiento forestal de bajo impacto en la Península de Osa, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 58 p.
- Abarca Solano, CL. 1995. Validación de una metodología para evaluar el impacto del aprovechamiento del bosque tropical en la composición florística. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 44 p.
- Acosta Vargas, LG. 1998. Análisis de la composición florística y estructura para la vegetación del piso basal de la zona protectora La Cangreja, Mastatal de Puriscal. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 69 p.
- Aguiar Sobrinho, J. 1977. Análisis de cuatro fases sucesionales de la masa boscosa en la región de San Carlos, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 124 p.
- Aguilar, LA; Muñoz, MG. 1994. Determinación de diámetros mínimos de corta y selección de árboles para planes de manejo en la Vertiente Norte y Atlántica del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 96 p.
- Agüero Guerrero, E. 1995. Evaluación de crecimiento en tres parcelas permanentes de muestreo, en bosque secundario de diferentes edades en la Finca La Tirimbina, La Virgen, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 50 p.
- Alfaro Reyna, T. 2006. Estudio de condiciones para nuevas cosechas en bosques naturales en la Zona Norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 153 p.
- Alpízar, W; Arce, H; Arce, H; Jiménez, V; Mata, L; Vargas, JR. 1981. Análisis preliminar con énfasis en el recurso forestal de la zona Murciélagos, Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 56 p.

- Arias Lobo, MA. 1981a. Ensayo de metodología para la evaluación silvicultural del bosque tropical. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 92 p.
- Arias Lobo, MA. 1981b. Inventario Forestal de la Finca "Los Amanes", Guápiles, Río Jiménez. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 81 p.
- Arias Sanabria, CE. 1993. Inventario para el manejo silvicultural en bosques de altura de la Cordillera de Talamanca, con énfasis en áreas de fuertes pendientes. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 39 p.
- Avendaño, F; Retana, I. 1982. Inventario Forestal en la Cuenca Piloto La Suiza, Turrialba. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 134 p.
- Barrantes, C; Muñoz, J. 1995. Inventario del recurso maderable y de dos especies no maderables, *Zamiaskinneri* y *Reinhardtigracilis* para dos Fincas en Baja Talamanca, Limón, Costa Rica. 1995: Lineamientos para su manejo. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 54 p.
- Barrantes Reyes, W. 2004. Plan general de manejo forestal de la Finca La Martita, Puerto Viejo de Sarapiquí. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 163 p.
- Barrantes Rodríguez, A. 1979. Inventario Forestal de la Finca La FE S.A., Liberia, Guanacaste. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal.
- Bedoya Arrieta, R. 1993. Evaluación del potencial productor y posibilidades de manejo de bosques secundarios del piso montano bajo de la zona de San Jerónimo de San Pedro, Pérez Zeledón. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 124 p.
- Blaser, J; Camacho, M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de Roble (*Quercussp.*) del piso montano en Costa Rica. Turrialba, CR. CATIE. 67 p.

- Bolaños, R; Alpizar, E; Echeverría, J; Aylward, B. 1996. Estimación de la productividad forestal de bosques secundarios en tres microcuencas de Arenal, Costa Rica. San José, CR. CREED Costa Rica Notas Técnicas. No. 5. 29 p.
- Camacho Calvo, M. 1983. Plan de manejo para el área boscosa de la Finca Agropecuaria Watson Céspedes S.A, ubicada en el cantón de Abangares, Guanacaste, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 139 p.
- Camacho, M; Finegan, B. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica. Turrialba, CR. CATIE. 38 p. (Informe técnico no. 295).
- Camacho, M; Finegan, B; Orozco, L. 1999. Dinámica de la estructura y del crecimiento de bosques húmedos tropicales manejados del noreste de Costa Rica: Primera década de investigación. In Dinámica de los bosques en Costa Rica y sus implicaciones para el manejo forestal. (1999, San José, CR). 1999. Memoria. Ed. J. Valerio. Cartago, CR. p 37-44.
- Carrera Gambetta, F. 1993. Rendimientos y costos de operaciones iniciales de manejo en un bosque primario de la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 91 p.
- Carrillo Villegas, G. 1999. Prescripción y aplicación de tratamientos silviculturales para el manejo del bosque intervenido de la finca La Ladrillera en los bajos de Chilamate, Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 88 p.
- Cascante, A; Estrada, A. 2001. Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. Revista biología tropical. 49(1): 213-225.
- Cascante, S. González, E. 2008. Estimación de la biomasa vegetal aérea para el embalse del proyecto hidroeléctrico El Diquis, Buenos Aires, Puntarenas. Tesis Lic. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 105 p.

- Castillo Ugalde, M. 1991. Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en bosque natural para evaluar el aprovechamiento forestal, Península de Osa, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 149 p.
- Castillo Ugalde, M. 2003. Recuperación del área basal afectada por el aprovechamiento de un bosque natural, Península de Osa, Costa Rica. In Congreso silvicultural (1er, 2003, Heredia, CR). Universidad Nacional de Costa Rica.
- Castro, V; Díaz, A; Mendoza, G; Pérez, B; Valencia, E. 1995. Incrementos y rendimientos en el bosque natural. Heredia, CR, UNA. Esc. Ciencias Ambientales. 39 p.
- Chacón, M; Harvey, C; Delgado, D. 2007. Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la Zona Atlántica de Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente. no. 51-52:19-32.
- Chacón, P; Leblanc, HA; Russo, RO. 2007. Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. Tierra Tropical. 3(1): 1-11.
- Chaves, E; González, E. 1989. Crecimiento en el bosque húmedo tropical después de la explotación. Guía Agropecuaria de Costa Rica. 7(14): 68-70.
- Chaves Salas, E. 1999. Dinámica del bosque húmedo tropical con referencia a la Zona Norte de Costa Rica. In Dinámica de los bosques en Costa Rica y sus implicaciones para el manejo forestal. (1999, San José, CR). 1999. Taller. Ed. J. Valerio. Cartago, CR. 58 p.
- Chaves Sánchez, P. 2006. Análisis del proceso de manejo forestal policíclico: estudio de caso Fundecor-Tecnoforest del Norte S.A. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 68 p.
- Chiari López, RJ. 1999. Prescripción y aplicación de tratamientos silviculturales en bosque secundario, Boca Tapada de Pital, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 103 p.

- Clark, D.B; Clark, D.A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*. 137: 185-198.
- Córdoba Alvarado, D. 2002. Evaluación de tratamientos silviculturales aplicados al manejo de tres bloques de bosque secundario, ubicados en Coope San Juan, Aguas Zarcas, San Carlos, Costa Rica. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 157 p.
- Corrales Durán, E; Rodríguez Santamaría, Y. 1995. Índice de vigor para árboles individuales después del aprovechamiento forestal en el bosque húmedo tropical. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 46 p.
- Delgado Fonseca, JC. 2000. Prescripción de tratamientos silviculturales para un bosque tropical intervenido en Horquetas de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 68 p.
- DeWalt, S; Chave, J. 2004. Structure and Biomass of Four Lowland Neotropical Forests. *Biotropica*. 36(1): 7–19.
- Di Stéfano, J; Brenes, L; Mora, V. 1995. Composición florística y estructura de un bosque primario del piso premontano pluvial, en San Ramón, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. 43(1-3): 67-73.
- Díaz, A; Viquez, E. 1983. Inventario Forestal de una Finca en Bonilla Arriba de Turrialba. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 111 p.
- Espinoza Miranda, A. 1991. Cobertura de copa del dosel superior y regeneración en el bosque húmedo tropical de San Carlos, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA, Escuela de Ciencias Ambientales. 80 p.
- Falck Carias, ML. 1991. Estudio de la distribución y desarrollo de *Ryaniaspeciosa Vahl. var panamensis* bajo condiciones de bosque húmedo tropical, Reserva Indígena de Cocles, Talamanca, Limón, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 144 p.

- Fedlmeier, C. 1996. Desarrollo de bosques secundarios en zonas de pastoreo abandonadas de la Zona Norte de Costa Rica. Trad. O Murillo Gamboa. Göttingen, DE. Editorial Erich Goltze GmbH& Co. Vol. 109. 177 p.
- Fernández Redondo, C. 1993. Aplicación de dos tratamientos silviculturales posteriores al aprovechamiento mejorado. Puntarenas. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 80 p.
- Fernández Vega, J. 2008. Implicaciones de la fragmentación en la estructura y la composición del bosque en el Valle de Coto Brus, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 73 p.
- Fonseca Méndez, K; Vásquez Sánchez, L. 1999. Restauración de la cobertura vegetal en la Reserva Forestal Monte Alto, Hojancha, Guanacaste. Tesis Lic. Heredia, CR: UNA. Esc. Ciencias Ambientales. 97 p.
- Fonseca, W; Alice, F; Montero, J; Toruño, H; Leblanc, H. 2008. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. Agroforestería en las Américas. no.46: 57-64.
- Fonseca, W; Chaves, E; Mora, F; Meza, V. 2002. Dinámica y composición del bosque seco tropical. Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1^{ra} ed. Heredia, CR. UNA. INISEFOR. p 154-165.
- Gamboa Fonseca, O; González Jiménez, O. 1988. Plan de manejo del bosque natural intervenido de la Hacienda Bahía, Osa, Puntarenas. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 125 p.
- Gamboa Gómez, M. 1992. Establecimiento de un experimento con tratamientos silviculturales en la región Huetar Norte de Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 51 p.
- González Jiménez, E. 1990. Estudio estructural y de composición en dos tipos de bosques de la Zona Norte húmeda de Costa Rica, y sus posibilidades de manejo. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. 80 p.

- González Jiménez, E. 2002. Composición y dinámica de diferentes estados sucesionales en el bosque seco tropical del Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1^{ra} ed. Heredia, CR. UNA. INISEFOR. p 146-153.
- Guillén Jiménez, AL. 1993. Inventario comercial y análisis silvicultural de bosques húmedos secundarios en la región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, CR. ITCR, Escuela de Ingeniería Forestal. 74 p.
- Hernández Salas, ZT. 1999. Cronosecuencia del bosque seco tropical en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 72 p.
- Hernández Salas; Z; Quesada Monge, R; González Jiménez, E. 2002. Cronosecuencia del bosque seco secundario tropical en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica. Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: Investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1^{ra} ed. Heredia, CR. UNA, INISEFOR. p 136-145.
- Herrera Navarro, F. 1998. Inventario florístico de fragmentación del bosque seco en diferentes estados de sucesión durante la época lluviosa. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 108 p.
- Imbach, P; Coto, O; Salinas, Z. 2005. Valoración de los recursos biomásicos en Costa Rica usando Sistemas de Información Geográfica. Turrialba, CR: CATIE. 41 p. (informe técnico no. 340).
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica / Escuela de Ingeniería Forestal). 2011. Bases de datos - Ruperto Quesada. Cartago, CR, ITCR, IFO.
- Jiménez Espinoza, JJ; Morera Beita, A. 1996. Propuesta para el manejo silvicultural de dos bosques secundarios de altura, cercanos al área piloto Villa Mills, Reserva Forestal Río Macho, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. Esc. Ciencias Ambientales. 99 p.
- Jiménez Marín, W. 1984. Evolución del crecimiento del *Quercus copeyensis* Muller en un bosque de robles no intervenido en San Gerardo de Dota, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. 192 p.

- Kalacska, M; Sánchez, G.A; Calvo, J.C; Quesada, M; Rivard, B; Janzen, D.H. 2004. Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology Management*. 200: 227-247.
- Kammesheidt, L; Fedlmeier, C. 2001. Stand structure and commercial volumen of secondary forests in Paraguay and Costa Rica: implications for management options. *International Forestry Review*. 3(1): 1-9.
- Kappelle, M. 2001. Bosques nublados del neotrópico: Costa Rica. Eds. M. Kappelle y D. Brown. 1^{ra} ed. Heredia, CR. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). 704 p.
- Kleinn, Ch; Pelz, DR. 1994. Inventario forestal de la Zona Norte de Costa Rica. Trad. J Imaña Encinas. San José, CR. COSEFORMA. 63 p. (Documento del proyecto no. 40)
- Leiva, J; Rocha, O; Mata, R; Gutiérrez, M. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista Biología Tropical*. 57(3): 817-836.
- Letcher, S; Chazdon, R. 2009. Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. *Biotropica*. 41(5): 608-617.
- León Cayaso, L. 1996. Establecimiento de parcelas permanentes en bosque natural para el monitoreo de crecimiento en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 85 p.
- Maldonado Ulloa, T. 1997. Uso de la tierra y fragmentación de bosques: Algunas áreas críticas en el área de Conservación Osa, Costa Rica. CR. Fundación Neotrópica. 71 p.
- Martínez Higuera, H. 1979. Producción de un bosque secundario sometido a diferentes intensidades de raleo en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 101 p.

- Mejías Venegas, W; Mckinney Canales, L; Ledezma Arias, JA; González Romero, M. 1996. Estudio estructural y de composición de la vegetación arbórea en el Refugio de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 74 p.
- Mena Mosquera, VE. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 90 p.
- Méndez Gamboa, JA; Sáenz Montero, L. 1986. Estructura y composición florística de dos comunidades arbóreas de la parte noreste de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 104 p.
- Méndez, J; Maginnis, S. 1997. Evaluación del impacto del aprovechamiento en fincas de tierras bajas de la Zona Norte y Vertiente Atlántica de Costa Rica. Ciudad Quesada, CR: CODEFORSA. Proyecto de manejo integrado del bosque natural. 15 p. (colección técnica no. 11).
- Méndez, J. 2008. El manejo silvicultural policíclico en bosques húmedos de bajura en la Región Norte de Costa Rica. CODEFORSA. Ciudad Quesada, San Carlos, CR. 21 p.
- Meza Picado, VH. 2008. Evaluación de la eficiencia económica y la integridad ecológica para dos tipos de bosque húmedo intervenido bajo manejo forestal con diferente intensidad de cosecha en la región Norte y Atlántica de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 112 p.
- Meza, V; Mora, F. 2002. Crecimiento del diámetro y del área basal en tres parcelas permanentes en el bosque seco tropical, Parque Nacional Guanacaste, Costa Rica. Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1^{ra} ed. Heredia, CR. UNA. INISEFOR. p 198-209.

- Meza, V; Méndez, J. 2006. Segundas cosechas bajo un sistema policíclico de manejo para bosques húmedos tropicales. Región Huetar Norte, Costa Rica. In Congreso Latinoamericano IUFRO. (2, 2006, La Serena, CL).2006. Congreso. p. 1-13.
- Monge Monge, A. 1999. Estudio de la dinámica del bosque seco tropical a través de parcelas permanentes de muestreo en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 65 p.
- _____ 2001. Evaluación de tratamientos silviculturales en tres bosques secundarios en la región Huetar Norte de Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 47 p.
- Monge Monge, A; Quesada Monge, R; González Jiménez, E. 2002. Estudio de la dinámica del bosque seco tropical a partir de parcelas permanentes de muestreo en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica. Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: Investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1^{ra} ed. Heredia, CR. UNA, INISEFOR. p 175-184.
- Monge Montero, LD. 1976. Informe de investigación de parcelas dinámicas de un bosque natural heterogéneo en Costa Rica. Práctica de Especialidad. San José, CR, UCR. Facultad de Agronomía. 32 p.
- Montero, VH. 1993. Modelo de manejo y desarrollo de un bosque natural e industria forestal en Palacios, Cariari de Guápiles. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 74 p.
- Morales Hidalgo, D; Sibaja Villegas, A. 1994. Evaluación de indicadores para la aplicación de tratamientos silviculturales en bosques intervenidos en la región Huetar Norte de Costa Rica. Informe final del proyecto. ITCR. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago, CR. 100 p.
- Morales Morales, M. 1998. Lineamientos para el manejo de un bosque secundario a partir de una evaluación silvicultural, Florencia, San Carlos, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 144 p.

- Morales Salazar, M. 2010. Composición florística, estructura, muestreo diagnóstico y estado de conservación de una cronosecuencia de bosques tropicales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 115 p.
- Morera Beita, A; Chacón Chacón, CL; Miranda Miranda, C; Escribano Montoya, JL; Jiménez Espinosa, VJ; González Arce, LA; Arguedas Díaz, L. 1994. Plan del manejo integral del recurso forestal de la comunidad de Linda Vista, Pococí, Limón. Heredia, CR, UNA. Esc. Ciencias Ambientales. 84 p.
- Murrieta Arévalo, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Nadkarni, N; Schaefer, D; Matelson, T; Solano, R. 2004. Biomass and nutrient pools of canopy and terrestrial components in a primary and a secondary montane cloud forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 198: 223-236.
- Navarro, C; Ortiz, E; Picado, W; Sánchez, L. 1980. Inventario forestal "Finca Desarrollo Forestal". Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 82 p.
- Navarro, C; Picado, W; Sánchez, L. 1979. Informe de instalación e investigación de parcelas dinámicas en un bosque natural en la zona de Nosara, Guanacaste. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 110 p.
- Oosterhoorn, M; Kappelle, M. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *Forest Ecology and Management*. 126: 291-307.
- Orozco Vílchez, L. 1991. Estudio ecológico y estructural de seis comunidades boscosas de la parte noroeste de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. 166 p.
- Ortiz, E; Vílchez, B. 2011. Bases de datos. Proyecto Biodiversidad Osa.

- Pacheco Moscoa, A. 1998. Inventario florístico durante la sucesión del bosque tropical seco, Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 114 p.
- Pérez Rivera, R. 2002. Evaluación del impacto del aprovechamiento forestal en cinco especies forestales, Los Mogos, Península de Osa, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 115 p.
- Picado Villalobos, W. 1991. Investigación aplicada en manejo de bosque natural secundario, estudio de caso en el sur de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 101 p.
- Quesada Monge, R. 2002. Generación y transferencia de tecnología para el manejo del bosque seco en la región Huetar Norte de Costa Rica. Informe final: Proyecto COSEFORMA. Cartago, CR. 123 p.
- Quirós Brenes, K. 2002. Composición florística y estructural para el bosque primario del Hotel La Laguna del Lagarto Lodge, Boca Tapada de Pital, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Práctica de especialidad. Cartago, CR, ITCR. 91 p.
- Quirós, D; Finegan, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 33 p. (Informe técnico no. 225).
- Quirós Muñoz, S. 1999. Determinación y aplicación de tratamientos silviculturales en un bosque secundario, Pénjamo, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 103 p.
- Ramírez Alfaro, E. 2000. Estudio de la regeneración natural en bosques intervenidos, La Virgen, Sarapiquí, sector Boca Tapada, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 114 p.
- Ramírez, M. 1980 (a). Estudio de diferentes etapas sucesionales de un bosque tropical en la Península de Osa. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 77 p.
- Ramírez, M. 1980 (b). Estudio de la vegetación de la Reserva Forestal de Bocas de Nosara. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 72 p.

- Ramos Bendaña, Z. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 114 p.
- Redondo Brenes, A. 1998. Estudio del potencial de uso del recurso forestal maderable del bosque secundario tropical en la región Huetar Norte, Sarapiquí, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 113 p.
- Redondo, A; Vílchez, B; Chazdon, R. 2001. Estudio de la dinámica y composición de cuatro bosques secundarios en la región Huetar Norte, Sarapiquí, Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. no.36: 20-26.
- Rodríguez Fuentes, AM. 2001. Análisis de la composición y estructura arbórea para un bosque en Las Lagunas de Palmital, san Ramón, Alajuela. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 93 p.
- Rodríguez Sánchez, L; Zúñiga Muñoz, R. 1981. Establecimiento y medición de una parcela permanente en bosque natural, estación La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 43 p.
- Salazar Blanco, M. 2001. Estudio de la dinámica y estructura de dos bosques secundarios húmedos tropicales ubicados en la Estación Biológica La Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 77 p.
- Salcedo Calero, G. 1986. Estudio ecológico y estructural del bosque "Los Espaveles", Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 164 p.
- Sanabria González, A. 1992. Establecimiento y medición de parcelas permanentes de muestreo en la región Huetar Norte. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 118 p.
- Santander, C. 1979. Inventario forestal detallado de la finca "Las Cruces" de la Organización for Tropical Studies (OTS). CR. UNA.

- Saravia Cruz, HA. 1995. Estado de la población arbórea y del área forestal afectada después de un aprovechamiento forestal tradicional vs un aprovechamiento mejorado en un bosque húmedo de la región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Segura, M; Kanninen, M. 2005. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. *Biotrópica*. 37(1): 2-8.
- Segura, M; Kanninen, M; Alfaro, M; Campos, JJ. 2000. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de baja de la Zona Atlántica de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*. no. 30: 23-28.
- Segura, M; Venegas, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 47 p. (Informe técnico no. 306).
- Segura Madrigal, 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 M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- Segura Rodríguez, L. 2000. Tratamientos silviculturales aplicados al manejo de tres bloques de bosque secundario en Coope San Juan, Aguas Zarcas, San Carlos, Costa Rica. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 143 p.
- Sitoe, A. 1992. Crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- Solano Sánchez, G. 1997. Análisis de crecimiento para el bosque natural y especies comerciales posterior a los tratamientos silviculturales. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 74 p.
- Solís Corrales, M. 2000. Análisis de crecimiento en tres bosques secundarios de diferentes edades en la zona de Boca Tapada, San Carlos, Costa Rica, durante el periodo 95-98. In *Avances en el manejo del bosque secundario en*

- Costa Rica. (2000, San José, CR). 2000. Memorias. Ed. R Quesada Monge. San José, CR. p 127-134.
- Solís, M; Reiche, C. 1996. Experiencias técnicas, económicas y de participación en el manejo sostenible de los bosques de Coope San Juan R.L., región Huetar Norte, Costa Rica. COSEFORMA. Alajuela, CR. 40 p.
- SpittlerMathez, P. 1995. Evaluación del impacto de un aprovechamiento forestal mejorado en la región Huetar Norte de Costa Rica. COSEFORMA. Ed. F Cartín Brenes. Ciudad Quesada, Alajuela, CR. 39 p.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38): 31-35.
- Tenorio Monge, C; Solano Durán, J; Castillo Ugalde, M. 2006. Protocolo para la determinación del volumen comercial y la evaluación de la composición florística de los bosques propiedad de la empresa ECODIRECTA S.A. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 84 p.
- Tenorio Monge, C; Solano Durán, J; Castillo Ugalde, M. 2009. Evaluación de la composición florística y estructural en un bosque primario intervenido en la zona norte de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*. 6 (16).
- Valerio, J; Salas, C. 1996. Informe final: Dinámica de bosques húmedos tropicales y perspectivas para su manejo en la región Huetar Norte de Costa Rica. Cartago, CR. ITCR. Escuela Ingeniería Forestal. 48 p.
- Valverde, O. 1997. Análisis de composición y estructura arbórea de dos bosques aledaños a la comunidad de Bribri, Talamanca. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 58 p.
- Valverde, O. 1998. Estructura forestal y patrones florísticos de dos bosques tropicales húmedos de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Brenesia*. 49-50: 39-60.
- Varela Durán, O. 1993. Identificación de alternativas para el manejo integral de los bosques privados en la zona de Monteverde, Cordillera de Tilarán. *Práctica de Especialidad*. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 83 p.

- Vargas Gutiérrez, D. 1992. Análisis estructural y florístico de las comunidades boscosas del Parque Nacional Manuel Antonio, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. 128 p.
- Vargas Moya, RL. 1991. Evaluación silvicultural del impacto del aprovechamiento en dos fincas de la región Huetar Norte, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 38 p.
- Venegas, G; Camacho, M. 2001. Efecto de un tratamiento silvicultural sobre la dinámica de un bosque secundario montano en Villa Mills, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 23 p. (Informe técnico no. 322).
- Venegas, G; Louman, B. 2001. Aprovechamiento con tratamiento silvicultural de impacto reducido en un bosque montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, CR. 59 p. (Informe técnico no. 325).
- Viquez Carazo, M. 1995. Criterios para la toma de decisiones para manejar un bosque seco secundario en Vergel de Cañas, Guanacaste. Tesis Lic. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 108 p.
- Watson, V; *et al.* 2002. Contenido de carbono en el bosque seco tropical. Ecosistemas forestales de bosque seco tropical: Investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1^{ra} ed. Heredia, CR. UNA, INISEFOR. p 111-118.
- Zamora Ávila, M. 2010. Caracterización de la flora y estructura de un bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, CR, ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 116 p.