

Crecimiento y Rendimiento Forestal

Ficha Técnica

Recopilación de ecuaciones para estimar biomasa

Casia Soto Montoya

Resumen

Se hizo una recopilación de algunas de las ecuaciones generadas para diferentes tipos de vegetación en Costa Rica, con sus respectivos estadísticos y características del diseño experimental.

Según Clark 2001 hay una gran variación entre sitios forestales en aspectos como diversidad de especies, arquitectura arbórea y densidad de madera, por lo cual utilizar fórmulas de otras zonas puede inducir a errores. En esta recopilación se describieron las principales variantes y se adjuntó a cada ecuación una columna con el autor para que el usuario pueda investigar a fondo cada ecuación antes de usarla.

Palabras Clave: biomasa aérea, ecuación, modelo de regresión.

Introducción

Los bosques contribuyen a mitigar el cambio climático global al almacenar carbono en la vegetación viva, el mantillo, y en el suelo. La destrucción, explotación excesiva o incendio de los bosques puede producir bióxido de carbono, gas responsable del efecto invernadero. La gestión forestal es fundamental para afrontar el cambio climático, los cambios que se producen en el clima están afectando a los bosques con temperaturas medias anuales más elevadas, la modificación de las pautas pluviales y la presencia cada vez más frecuente de fenómenos climáticos extremos.

La FAO ha advertido que es necesario hacer frente a esta compleja serie de interrelaciones de una forma integral. Es preciso frenar la deforestación y ampliar la superficie boscosa. Es necesario utilizar más madera en productos duraderos capaces de mantener el carbono fuera de la atmósfera durante períodos más largos de tiempo (FAO, 2008).

La biomasa aérea de los árboles se estima generalmente mediante la aplicación de ecuaciones de regresión alométricas, generadas por medio de la cosecha destructiva de un conjunto de árboles en la parcela. La cosecha de un árbol puede requerir varios días de trabajo por lo que generalmente se utilizan ecuaciones ya existentes (Hernández, 2006).

Hay una gran variación entre sitios forestales en aspectos como diversidad de especies, arquitectura arbórea y densidad de madera, por lo cual utilizar fórmulas de otras zonas puede inducir a errores (Clark *et al.*, 2001). La estimación directa en el terreno de biomasa de bosques tropicales es un trabajo complicado en términos de costo y esfuerzo.

En el presente trabajo se hace una recopilación de ecuaciones para estimar biomasa aérea en vegetación tropical en bosques primarios y secundarios de Costa Rica y otros países tropicales.

Definiciones y conceptos

Biomasa, según el Diccionario de la Real Academia Española es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen. El rendimiento de un rodal se define como la biomasa (t/ha) total que un rodal ha podido acumular en un determinado tiempo (Ortiz, 2008).

La unidad básica para el manejo forestal es el rodal. Dado que un rodal es un conjunto de árboles con características similares de edad, especies, calidad de sitio y densidad, el mejor procedimiento para estimar rendimiento del rodal es sumando el rendimiento de cada árbol en el área correspondiente (Ortiz, 2008).

Modelos alométricos

El desarrollo de modelos de biomasa locales es una herramienta valiosa para proyectos de mitigación de gases efecto invernadero y para investigadores de especies leñosas perennes (Segura *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas genéricas más empleadas para la estimación de volumen, biomasa o carbono (VBC) de árboles, arbustos y palmas.

Ecuación Genérica	Autor
$VBC = a + b * dap$	Berkhout
$VBC = a + b * dap^2$	Kopezky
$VBC = a + b * dap + c * dap^2$	Hohenadl - Krenn
$\ln VBC = a + b * \ln dap$	Husch
$VBC = a + b * dap^2 * h$	Spurr
$VBC = a + b * dap^2 + c * dap^2 * h + d * h$	Stoate
$VBC = a + b * dap^2 + c * dap * h + d * dap^2 * h$	Meyer
$\ln VBC = a + b * \ln dap + c * \ln * h$	Schumacher-Hall

Fuente: (Loetsch *et al.*, 1973) citado por Segura *et al.* (2008).

Notas: VBC = volumen (m³ árbol-1), biomasa (kg árbol-1) o carbono (kg árbol-1); dap = diámetro a la altura de pecho (o a otra altura de referencia; cm); *h* = altura total o comercial (m); *a*, *b*, *c*, *d* = parámetros del modelo; ln= logaritmo base e.

Al publicar las ecuaciones desarrolladas para estimar biomasa se recomienda reportar la información necesaria para utilizar la ecuación y poder comparar con ecuaciones generadas por otros investigadores. Schalaegel (1981) y Husch (1982) citados por Ortiz (2008), hacen una recomendación sobre los datos que se deben publicar con la ecuación.

Uso de los modelos

Es oportuno hacer un balance entre la rigurosidad estadística y la practicidad de los modelos alométricos de biomasa. Se recomiendan los modelos que incluyen un máximo de dos variables independientes de fácil y precisa medición, tales como el dap y la altura total. Se debe analizar el comportamiento de los modelos seleccionados en los extremos y fuera del rango de los datos con los cuales se construyeron. Si la curva de un modelo cambia drásticamente al usarlo fuera del rango mencionado, éstos deben ser reevaluados o descartados (Segura *et al.*, 2008).

Objetivo

Recopilación de ecuaciones de biomasa total aérea (por árbol o por hectárea) para bosques y especies tropicales.

Metodología

Se hizo una revisión bibliográfica en revistas científicas impresas y digitales sobre ecuaciones desarrolladas por diferentes investigadores para el cálculo de biomasa total aérea (ton/ha) en bosques y especies de árboles tropicales. Se extrajo de cada artículo la información necesaria según Schalaegel y Husch, los datos se colocaron en cuadros, en el caso de que el investigador no reportara en el artículo alguno de los datos, se colocó en el espacio NR (no reportado).

Resultados

Se presentan diferentes ecuaciones para estimar biomasa de bosques o árboles tropicales, además de la fórmula se recopilaron datos publicados por el autor. Para cada ecuación se colocó la fuente bibliográfica con el objetivo de que el interesado pueda consultar los artículos científicos (cuadros 2 al 19).

Cuadro 2. Ecuaciones estándar para estimar la biomasa aérea de árboles individuales tolerantes a la sombra en un tropical húmedo en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	Árboles individuales tolerantes a la sombra
Ecuación	$Bt = 0,01689 * (d)^{1,6651} * (h)^{1,4412}$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt= Biomasa aérea en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	h = Altura en metros (h) d = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	60 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	4
DAP Máximo (cm)	115
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	7
Altura Máxima (m)	38
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	0.1526
Coefficiente de determinación (r ²)	NR (logarítmica)
Índice de ajuste (FI)	0.984
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coefficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.0233
Fuente	Ortiz, 1997

Cuadro 3. Ecuaciones estándar para estimar la biomasa aérea de árboles individuales parcialmente tolerantes a la sombra e intolerantes a la sombra en un tropical húmedo en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	Árboles parcialmente tolerantes a la sombra e intolerantes a la sombra
Ecuación	$Bt=0,01363*(d)^{1,8520}*(h)^{1,2611}$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt= Biomasa aérea en kilogramos / árbol
Variabes independientes, unidades y método de medición	h = Altura en metros (h) d = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	40 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	12
DAP Máximo (cm)	100
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	14
Altura Máxima (m)	50
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	0.1628
Coefficiente de determinación (r ²)	NR (logarítmica)
Índice de ajuste (FI)	0.974
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coefficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.0265
Fuente	Ortiz, 1997

Cuadro 4. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Calophyllum brasiliense*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Calophyllum brasiliense</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -2.829 + 2.704 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variabes independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	6 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	8.9
DAP Máximo (cm)	19.6
DAP Promedio (cm)	14.1
Altura Mínima (m)	12.7
Altura Máxima (m)	15.3
Altura Promedio (m)	14.2
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coefficiente de determinación (r ²)	0.98
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coefficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.015, r ² ajustado=0.98, FC=1.01
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 5. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Vochysia guatemalensis*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -2.815 + 2.428 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt= Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	9 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	8.5
DAP Máximo (cm)	31.4
DAP Promedio (cm)	20.4
Altura Mínima (m)	11.2
Altura Máxima (m)	24.3
Altura Promedio (m)	18.6
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.97
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de Fournival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.044, r ² ajustado=0.96, FC=1.02
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 6. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Vochysia ferruginea*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Vochysia ferruginea</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -3.252 + 2.492 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	8 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	9.8
DAP Máximo (cm)	24.9
DAP Promedio (cm)	16.3
Altura Mínima (m)	14.6
Altura Máxima (m)	17.1
Altura Promedio (m)	15.8
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.95
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.039, r ² ajustado=0.94, FC=1.02
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 7. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Jacaranda copaia*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Jacaranda copaia</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -4.398 + 2.765 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	6 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	8.1
DAP Máximo (cm)	27
DAP Promedio (cm)	17.3
Altura Mínima (m)	9.7
Altura Máxima (m)	24.2
Altura Promedio (m)	18.9
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.98
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.029, r ² ajustado=0.98, FC=1.01
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 8. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Virola Koschnyi*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Virola Koschnyi</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -4.132 + 2.755 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	8 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	8.6
DAP Máximo (cm)	22.5
DAP Promedio (cm)	15.9
Altura Mínima (m)	11.2
Altura Máxima (m)	18.2
Altura Promedio (m)	16
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.98
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.022, r ² ajustado=0.97, FC=1.01
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 9. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Dipterys panamensis*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Dipterys panamensis</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -3.011 + 2.947 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	6 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	8.3
DAP Máximo (cm)	18.9
DAP Promedio (cm)	13.7
Altura Mínima (m)	13.5
Altura Máxima (m)	18.8
Altura Promedio (m)	17.4
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.99
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.006, r ² ajustado=0.99,
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 10. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Terminalia amazonia*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Terminalia amazonia</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -2.538 + 2.614 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap= Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	6 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	9.7
DAP Máximo (cm)	26
DAP Promedio (cm)	17.8
Altura Mínima (m)	13.8
Altura Máxima (m)	23
Altura Promedio (m)	19.6
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.99
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.007, r ² ajustado=0.99, FC=1.00
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 11. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Genipa americana*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Genipa americana</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -4.084 + 2.958 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	6 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	7.6
DAP Máximo (cm)	19.8
DAP Promedio (cm)	19.5
Altura Mínima (m)	8.3
Altura Máxima (m)	14.6
Altura Promedio (m)	11.4
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.99
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de Fournival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.020, r ² ajustado=0.98, FC=1.00
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 12. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Hyeronima alchorneoides*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Hyeronima alchorneoides</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -1.696 + 2.224 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	5 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	9.5
DAP Máximo (cm)	20.5
DAP Promedio (cm)	14.9
Altura Mínima (m)	13.1
Altura Máxima (m)	19.9
Altura Promedio (m)	17.1
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.98
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.008, r ² ajustado=0.98, FC=1.00
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 13. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Balizia elegans*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Balizia elegans</i>
Ecuación	$\ln(Bt) = -4820 + 2.959 \cdot \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap= Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	5 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	8.9
DAP Máximo (cm)	17.5
DAP Promedio (cm)	12.9
Altura Mínima (m)	9
Altura Máxima (m)	16.9
Altura Promedio (m)	12.7
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	0.96
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.043, r ² ajustado=0.95, FC=1.02
Fuente	Montero <i>et al.</i> , 2005

Cuadro 14. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en Plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Bosque Secundario.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	Bosque Secundario (3-20 años)
Ecuación	$Bt = -1.80246 + 2.28927 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap= Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	160 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	2.8
DAP Máximo (cm)	28.2
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	NR
Altura Máxima (m)	NR
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	95.68
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de Fournival (IF)	7.7
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.3056
Fuente	Fonseca <i>et al.</i> , 2009

Cuadro 15. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en Plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Vochysia guatemalensis*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Ecuación	$Bt = \exp(-1.44742 + 1.3308 * dap^{0.5})$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	54 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	0.5
DAP Máximo (cm)	40.5
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	NR
Altura Máxima (m)	NR
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	97.98
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de Fournival (IF)	7.7
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	CME=0.3682
Fuente	Fonseca <i>et al.</i> , 2009

Cuadro 16. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en Plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Hyeronima alchorneoides*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Hyeronima alchorneoides</i>
Ecuación	$Bt = \exp(-2.12607 + 1.69594 * dap^{0.5})$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	58 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	0.5
DAP Máximo (cm)	28.8
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	NR
Altura Máxima (m)	NR
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	0.3478
Coefficiente de determinación (r ²)	R ² ajustado = 97.77
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coefficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	
Fuente	Fonseca <i>et al.</i> , 2009

Cuadro 17. Biomasa en plantaciones de *Terminalia amazonia* en la zona Sur de Costa Rica.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Terminalia amazonia</i> en plantación
Ecuación	$B_t = \text{EXP}[-1.648 + 2.392 \cdot \ln(\text{dap})]$
Variable dependiente, unidades y método de medición	B _t = Biomasa aérea seca total en kilogramos / palma
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	35 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	7.7
DAP Máximo (cm)	28.0
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	11.3
Altura Máxima (m)	23.0
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coefficiente de determinación (r ²)	0.99
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de furnival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coefficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	r ² ajustado=0.96, CME=0.025 Presenta la base de datos con la cual se pueden calcular los promedios de diámetro, altura y biomasa.
Fuente	Montero <i>et al</i> , 2002

Cuadro 18. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en Plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque Secundario*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Bosque Secundario</i>
Ecuación	$Bt = -1.80246 + 2.28927 * \ln(dap)$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	48 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	2.5
DAP Máximo (cm)	29.9
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	NR
Altura Máxima (m)	NR
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	NR
Coeficiente de determinación (r ²)	R ² ajustado = 95.68
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de Fournival (IF)	7.7
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coeficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	
Fuente	Fonseca <i>et al.</i> , 2009

Cuadro 19. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en Plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Vochysia Guatemalensis*.

Especie, grupo de especies o tipo de rodal	<i>Vochysia Guatemalensis</i>
Ecuación	$Bt = \exp(-1.44742 + 1.3308 * dap^{0.5})$
Variable dependiente, unidades y método de medición	Bt = Biomasa aérea seca total en kilogramos / árbol
Variables independientes, unidades y método de medición	dap = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros
Número de observaciones utilizadas	54 árboles
Rango de los datos	
DAP Mínimo (cm)	0.5
DAP Máximo (cm)	40.5
DAP Promedio (cm)	NR
Altura Mínima (m)	NR
Altura Máxima (m)	NR
Altura Promedio (m)	NR
Estadísticos de exactitud de la ecuación	
Media aritmética de la variable dependiente	NR
Error estándar de la estimación (Syx)	0.3682
Coefficiente de determinación (r ²)	R ² ajustado = 97.98
Índice de ajuste (FI)	NR
Índice de Fournival (IF)	NR
Error estándar de la estimación en unidades reales (Se)	NR
Coefficiente de variación (CV%)	NR
Otros estadísticos reportados por el autor	
Fuente	Fonseca <i>et al.</i> , 2009

Conclusiones y recomendaciones

Si se pretende que otros investigadores pueden utilizar la ecuación para estimar biomasa publicada y además logren comparar la misma con ecuaciones generadas por otros investigadores; hay reportar la información necesaria sobre particularidades del método de investigación y estadísticos de la ecuación. Se recomienda publicar los datos propuestos por Schalaegel (1981) y Husch (1982) citados por Ortiz (2008).

Es necesario aportar información sobre el sitio forestal en aspectos como diversidad de especies, arquitectura arbórea y densidad de madera. Utilizar la ecuación en zonas con diferentes condiciones puede inducir a errores. Se recomienda publicar las coordenadas del sitio de estudio en WGS84 para que los investigadores puedan buscar información sobre condiciones del sitio (tipo de suelo, zona de vida, precipitación, etc.).

Al seleccionar un modelo, es oportuno hacer un balance entre la rigurosidad estadística y la practicidad de los modelos alométricos de biomasa. Se recomiendan los modelos que incluyen un máximo de dos variables independientes de fácil y precisa medición, tales como el dap y la altura total.

Se recomienda analizar el comportamiento de modelo seleccionado en los extremos y fuera del rango de los datos con los cuales se construyó. Si al graficar, la curva del modelo cambia drásticamente, al usarlo fuera del rango mencionado por el autor, el modelo debe ser reevaluado o descartado.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao. En preparación.

Clark, D; Brown, D; Kckiligher, J. Chambers; Thomlinson, J ; Holland, E. 2001. Measuring Net Primary Production in forests. Concepts and field methods. Ecological Applications. Consultado en Mayo del 2010. (en línea). Disponible en http://icte.umsl.edu/assets/pdfs/faculty/deborah_clark/2001%20Clark%20et%20al%20

[%20Ecol%20Apps%20Measuring%20net%20Primary%20production.pdf](#). 15 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2008. Los bosques y el cambio climático. Consultado en marzo del 2010. (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>. 3 p.

Hernández, L. 2006. Densidad de biomasa aérea en bosques extensos del Neotrópico húmedo. Caso de la Cuenca del Río Caura, Venezuela. Consultado en mayo del 2010. (en línea). Disponible en

<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1119>.

Fonseca, W; Alice, F; Rey, J. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Revista Bosque Valdivia. Volumen 30. Número 1 Consultado en mayo del 2010. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002009000100006&script=sci_arttext.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Kanagawa, JP, IGES. 595 p.

Ortiz, E. 1997. Refinement and evaluation of two methods to estimate a aboveground tree biomass in tropical forest. Tesis para el grado de Doctor of Philosophy. New York, USA; State university of New York. p 116.

Ortiz, E. 2008. Crecimiento y Rendimiento Forestal. Folleto de apoyo académico. Instituto Tecnológico de Costa Rica 89 p.

Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente. Número 45. Agosto 2005. 2005. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). 112-119 p.

Montero, M; Kanninen, M. 2002. Biomasa y Carbono en Plantaciones de Terminalia Amazonia en la zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. Número 39-40. Julio-Diciembre 2002. CATIE. 50-55 p.

Segura, M; Andrade H. 2008. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Agroforestería de las Américas, 46:89-96.

Anexo 1. Cuadro resumen de ecuaciones para calcular biomasa.

Cuadro 20. Ecuaciones alométricas específicas empleadas para la estimación de biomasa en árboles, arbustos, palmas y otros tipos de vegetación existente en los charales y bosques de Costa Rica.

Tipo de Bosque/Especie	Ecuación	n	r2	R2 ajustado (%)	Fuente
Especies tolerantes a la sombra	$Bt = 0.017*dap^{1.67}*ht^{1.44}$		0.98		Ortiz, 1997
Especies intolerantes o parcialmente tolerantes a la sombra	$Bt = 0.014*dap^{1.85}*ht^{1.26}$		0.97		Ortiz, 1997
Otras especies de bosques	$Bt = 10^{(-1.47+2.72*\log(dap))}$		0.89		Proyecto LUCAM, en preparación
Calophyllum brasiliense	$\ln(Bt)=-2.829+2.704*\ln(dap)$	6	0.98	0.98	Montero, 2005
Vochysia guatemalensis	$\ln(Bt)=-2.815+2.428*\ln(dap)$	9	0.97	0.96	Montero, 2005
Vochysia ferruginea	$\ln(Bt)=-3.252+2.492*\ln(dap)$	8	0.95	0.94	Montero, 2005
Jacaranda copaia	$\ln(Bt)=-4.398+2.765*\ln(dap)$	6	0.98	0.98	Montero, 2005
Virola Koschnyi	$\ln(Bt)=-4.132+2.755*\ln(dap)$	8	0.98	0.97	Montero, 2005
Dipterys panamensis	$\ln(Bt)=-3.011+2.947*\ln(dap)$	6	0.99	0.99	Montero, 2005
Terminalia amazonia	$\ln(Bt)=-2.538+2.614*\ln(dap)$	6	0.99	0.99	Montero, 2005
Genipa americana	$\ln(Bt)=-4.084+2.958*\ln(dap)$	6	0.99	0.98	Montero, 2005
Hyeronima alchorneoides	$\ln(Bt)=-1.696+2.224*\ln(dap)$	5	0.08	0.98	Montero, 2005
Tipo de Bosque/Especie	Ecuación	n	r2	R2 ajustado (%)	Fuente
Balizia elegans	$\ln(Bt)=-4820+2.959*\ln(dap)$	5	0.96	0.95	Montero, 2005
Bosque Secundario	$Bt=-1.80246+2.28927*\ln(dap)$			95.68	Fonseca et al, 2009

Vochysia guatemalensis	$Bt = \exp(-1.44742 + 1.3308 * dap^{0.5})$			97.98	Fonseca et al, 2010
Hyeronima alchorneoides	$Bt = \exp(-2.12607 + 1.69594 * dap^{0.5})$			97.77	Fonseca et al, 2011
Bosque natural	$Bt = [e^{-7.3} + 2.1 * \ln(dap)] * 1000$		0,71		Segura et al, 2005
Theobroma cacao	$Bt = 10^{(-1,63 + 2,63 * \log(d30))}$		0.98		Andrade et al. (en preparación)
Cordia alliodora	$Bt = 10^{(-0,76 + 2,38 * \log(dap))}$		0.94		Andrade et al. (en preparación)
Frutales	$Bt = 10^{-1,11 + 2,64 * \log(dap)}$		0.95		Andrade et al. (en preparación)
Theobroma cacao	$Bt = 10^{-1,625 + 2,63 * \log(d30)}$		0.98		Andrade et al. (en preparación)
Cordia alliodora	$Bt = 10^{-0,51 + 2,08 * \log(dap)}$		0.92		Andrade et al. (en preparación)
Latizales (dap < 10 cm)	$Bt = 10^{-1,27 + 2,20 * \log(dap)}$		0.88		Andrade et al. (en preparación)
Tectona grandis Plantación Pura	$Bt = 10^{-0,82 + 2,38 * \log(dap)}$		0.97		Pérez y Kanninen, 2003
Palmas: Euterpe precatoria y Phenakospermum guianensis	$Bt = 6,67 + 12,83 * (ht^{0,5}) * \ln(ht)$		0.75		IPPC, 2003
Bactris gasipaes	$Bt = 0,74 * (ht^2)$		0.95		Szott et al, 1993
Árboles dap > 60 cm	$Bt = [e^{(0,76 + 0,00015 * dap^2)}] * 1000$		0.71		Segura y Kanninen, 2005