

Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador

Generation of models allometric to determine aerial biomass at the species level, by the destructive method of low intensity for the layer of forest dry Pluviestacional of Ecuador

Darío Solano^{1*},
Carlos Vega^{1*},
Víctor Hugo Eras²,
Kelvin Cueva³

¹. Ingeniero Forestal de la Universidad Nacional de Loja. *Autor para correspondencia: darsolforest@gmail.com / calitosgabriel4@hotmail.com

². Docente de la Carrera de Ingeniería Forestal, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja.

³. Coordinador del proyecto UN REDD FAO UNP/J/ECU/083/UNJ

Recibido 28 de febrero 2014; Aceptado 11 Septiembre 2014

Resumen

La presente investigación se realizó en cuatro sitios diferentes del Bosque Seco Pluviestacional, ubicados en: Mangahurco, Loja; Chacras, El Oro; Mamey, Guayas; y, Piñas del Julcuy, Manabí. Se instalaron un total de cuatro conglomerados, cada uno con tres parcelas permanentes de 60 x 60 m (3600 m²), donde se midieron parámetros dasométricos (DAP, HT, HC, DC, medición de barreno de incremento, pylodin), se recolectaron muestras florísticas para ser identificadas en el Herbario Loja; se calcularon los parámetros ecológicos para determinar las especies a ser taladas aplicando el método destructivo de baja intensidad; una vez taladas se calculó y determinó su factor de forma y el factor de expansión de biomasa. Se registró 633 individuos de 44 especies y 24 familias mediante identificación taxonómica con botánico especialistas en Bosque Seco y Herbario Loja; se tomaron 19 especies para la elaboración de los modelos alométricos con la ayuda del programa infostat, determinando 11 modelos de relaciones estadísticas destacándose los siguientes: $B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT$; $B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HC$ y $B = \beta_0 + \beta_1 * LN DAP + \beta_2 * LN HC$ (B en Kg; DAP en cm; HT y HC en m); considerando los siguientes parámetros para su validación $R^2 \geq 70$, AIC, VIF ≤ 10 , p-valor ≤ 0.05).

Palabras clave: parámetros dasométricos,

parámetros ecológicos, factor de forma, factor de expansión de biomasa, modelos alométricos.

Abstract

This research was conducted in four different sites in the Dry Forest Pluviestacional: Mangahurco, Loja; Chacras, El Oro; Mamey, Guayas; and, Piñas del Julcuy, Manabí. A total of four clusters, each with three permanent plots of 60 x 60 m (3600 m²), where dasometric parameters (DAP, HT, HT, DC measurement increment borer, pylodin) installed measured, samples were collected floristic to be identified at the Herbarium Loja; ecological parameters were calculated to determine the species to be cleared using the destructive method of low intensity, once cleared was calculated and determined its form factor and biomass expansion factor. 633 individuals of 44 species and 24 families were recorded using botanical taxonomic identification specialists in Dry Forest Herbarium and Loja, 19 species for developing allometric models with the help of the program took InfoStat determining 11 models of statistical summaries highlighting the following: $B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT$; $B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HC$ and $B = \beta_0 + \beta_1 * LN DAP + \beta_2 * LN HC$ (B in kg, DBH in cm, HT and HC in m), considering the following parameters for validation ($R^2 \geq 70$, AIC, VIF ≤ 10 , p-value ≤ 0.05).

Key words: dasometric parameters, environmental parameters, form factor, biomass expansion factor, allometric models.

¹ Biomasa = B; Parámetros del modelo = $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$; Altura Total = HT; Altura Comercial = HC; Diámetro a la altura del pecho = DAP; Logaritmo natural = LN.

² R² = coeficiente de determinación múltiple; AIC = criterio de información de Akaike; VIF = factor de inflación de varianza; p-valor = nivel de significancia.

Introducción

Los bosques a través del proceso de la fotosíntesis capturan dióxido de carbono atmosférico (CO₂), lo fijan en sus estructuras vivas y parte de éste lo acumulan en su biomasa; y, lo transfieren al mantillo en descomposición y al suelo; de esta manera constituyen reservas de carbono. La acumulación de carbono es influenciada principalmente por factores físicos, edáficos y por patrones de disturbio que afectan la estructura comunitaria y las reservas de biomasa y carbono en los bosques tropicales (Vásquez y Arellano, 2012).

El Ecuador firmó el Protocolo de Kioto en diciembre de 1999, en el contexto de un reconocimiento nacional sobre la importancia de los problemas de cambio climático a nivel mundial y su efecto a nivel nacional y local; y, de la necesidad de desarrollar medidas de control y mitigación. El país ha reconocido el potencial del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y de los proyectos que no se incluyen en el MDL, como una fuente de recursos para proyectos forestales (Cordelim, 2010).

El Ministerio del Ambiente ha implementado a partir del mes de agosto de 2000 la Unidad de Cambio Climático, instancia técnico-científica, en la cual se incluyen los Grupos de Trabajo sobre los temas relacionados directa o indirectamente con el cambio climático. El Reglamento Funcional del Comité Nacional del Clima fue aprobado en el mes de octubre del 2000.

La estimación del potencial de fijación de carbono (C) en los estratos de Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador, son de gran importancia frente al incremento del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera y por su potencial mitigación en el clima global.

En Ecuador los bosques secos costeros forman parte de la región Tumbesina (Ecuador – Perú) y abarcan aproximadamente 135 000 km². Se encuentran ubicados al suroeste Ecuatoriano y noroeste Peruano desde 0 hasta 1 000 m s.n.m. (Aguirre *et al.*, 2006). Los bosques secos de la provincia de Loja, se presentan en pequeños remanentes y en otros escenarios solamente algunos árboles aislados, como resultado de las actividades humanas. Sin embargo, según Neill (2000), el estado actual de conservación es considerado como bueno, ya que su composición florística y estructura presentan mejores características que los bosques de las provincias de Manabí, Guayas, y El Oro e incluso mejor que los del norte del Perú.

Los modelos alométricos ayudan al cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales (diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total). El empleo de los modelos alométricos desarrollados en regiones diferentes para la estimación de la biomasa presenta limitaciones debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles, entre las cuales se incluyen la genética, las subpoblaciones locales, el clima y los suelos. Estos factores son determinantes en el incremento de la biomasa y por tanto en la fijación de CO₂ (Álvarez, 2008). De ahí la importancia de la generación de modelos alométricos locales.

Con estos antecedentes, se desarrolló esta investigación en la que se determinó modelos alométricos para estimar la biomasa aérea de las especies seleccionadas en el estrato bosque, aplicando la metodología propuesta en el 2011 por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), utilizada en la Evaluación Nacional Forestal (ENF), la misma que cumple con las exigencias del mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). Además, constituye el primer estudio investigativo donde se elaboró modelos alométricos para especies de bosque seco pluviestacional del Ecuador.

Materiales y métodos

Área de Estudio

La investigación se enfoca en diferentes sitios del Bosque Seco Pluviestacional (ver figura 1), que se sitúa en la región centro-sur occidental del Ecuador, abarcando las siguientes localidades: en la Provincia de Loja, en el Cantón Zapotillo, parroquia Mangahurco; en la Provincia de El Oro, en el Cantón Huaquillas, parroquia Chacras; en la Provincia de Guayas, Cantón Guayaquil, en la parroquia Progreso, recinto Mamey; y, en la Provincia de Manabí, Cantón Jipijapa, parroquia Piñas de Julcuy. Este ecosistema se caracteriza porque más del 75 % de sus especies pierden las hojas durante la época seca del año, el estrato superior llega hasta los 20 m y en algunos casos 25 m; mientras que el estrato intermedio posee

Cuadro 1. Coordenadas UTM y localización de conglomerados establecidos en Bosque Seco Pluviestacional

LOCALIDAD	CONGLOMERADO	COORDENADAS UTM	
		X (Este)	Y (Norte)
El Oro – Chacras	001	591780,59	9598017,37
Loja – Mangahurco	002	565726,63	9542132,02
Manabí – Piñas de Julcuy	003	541462,42	9828267,10
Guayas – Mamey	004	571970,92	9739911,25

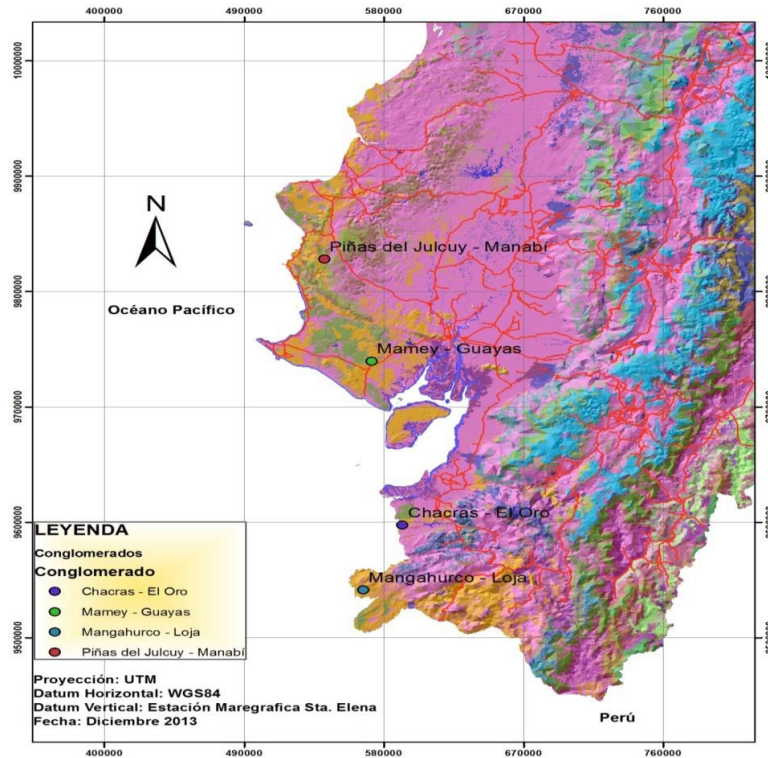


Figura 1. Mapa de ubicación de los cuatro conglomerados establecidos en Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador Continental

alturas entre 10-15 m (Aguirre et al., 2006b). Estos ecosistemas se caracterizan porque su precipitación está generalmente por debajo de 600 mm/año con cinco a seis meses secos, donde la precipitación total es menor a 100 mm/año.

Metodología para determinar la biomasa aérea de las especies del bosque seco pluviestacional

Diseño de Muestreo

La metodología aplicada es la que se desarrolló en la Evaluación Nacional Forestal (ENF) de Ecuador. En cada sitio se instaló un conglomerado conformado de tres parcelas permanentes de muestreo de 60 x 60 m, distribuidas en formas

de “L”, con una separación de 250 m una de otra (Figura 2a); cada parcela está dividida en tres fajas, para la primera faja se midieron todos los individuos ≥ 10 cm DAP, para la segunda y tercera faja se tomaron todos los árboles ≥ 20 cm de DAP (Figura 2b). También se midieron parámetros dasométricos (DAP, HT, HC, DC, barreno de incremento y pylodin) (Figura 2c).

Una vez recopilados los datos dasométricos se tomaron muestras de hojas, ramas finas, ramas gruesas de todos los árboles menores a 7 m de altura comercial; estas muestras fueron llevadas a los laboratorios de Bromatología, Fisiología Vegetal y Suelos de la UNL para ser secados y pesados; y, determinar la biomasa aérea del árbol, aplicando la siguiente fórmula:

$$BAa = \text{Biomasa Aérea del árbol (Kg)}$$

$$BAa = Bsf + Bsc$$

Donde: Bsf = Biomasa seca del fuste

Bsc = Biomasa seca de copa

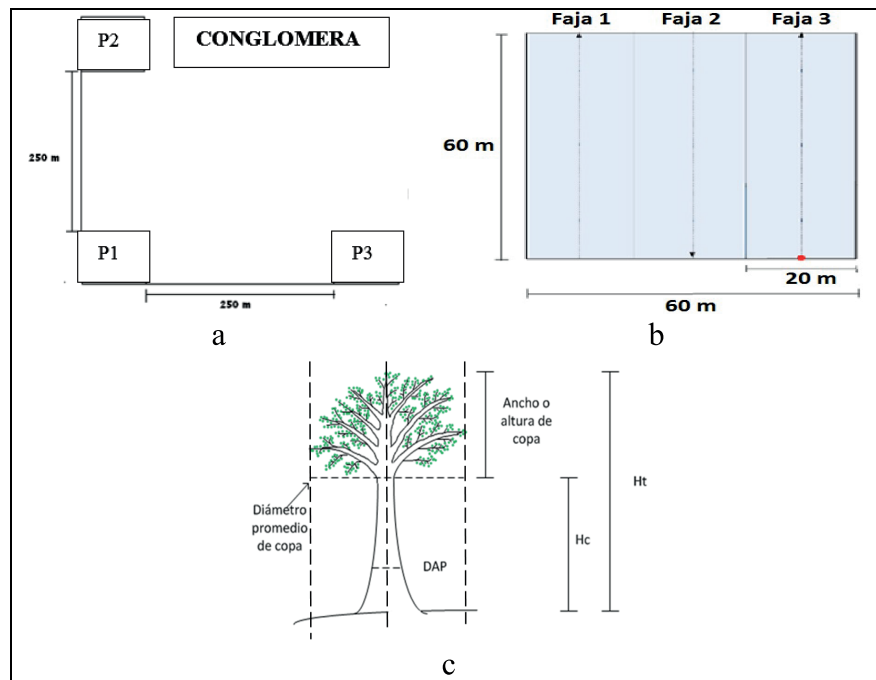


Figura 2. (a) Representación gráfica del diseño del conglomerado de 3 parcelas. (b) Representación gráfica de la parcela de inventario y el sub-diseño en fajas que facilito el establecimiento en campo y medición. (c) Variables medidas en los árboles en pie para el cálculo de los volúmenes de fuste y copa

En la identificación de las especies en el campo se contó con un experto en taxonomía de bosque seco; y, las especies que no se lograron reconocer se colectaron muestras botánicas para ser identificadas en el Herbario Loja de la UNL.

Método destructivo de baja intensidad

Para determinar las especies a tumbiar, se consideró el índice de valor de importancia (IVI), calculado en las formulas desarrolladas por

Aguirre y Aguirre (1999) y Cerón (1993), en cada conglomerado establecido.

Para establecer un factor de corrección de los modelos alométricos, se procedió a tumbiar de 12 a 14 árboles por cada especie con mayor Índice de Valor de Importancia, encontradas en los 4 conglomerados, lo cual representó 52 individuos talados. Se tumbó cada uno de los árboles, luego se dividió las partes del árbol en fuste (tronco), ramas gruesas, ramas finas y hojas (Figura 3).



A



B

Figura 3. (a) Se corta los árboles al ras del suelo y se divide en partes: tronco, ramas gruesas, ramas finas y hojas, (b) Medición de varios diámetros del tronco para establecer su factor de forma y volumen exacto del fuste

Una vez tumbados los individuos se realizó el pesaje de todos los componentes del árbol, extrayendo una submuestra que fue llevada a los laboratorios de la UNL para su respectivo secado y pesaje.

Dentro de los 52 árboles talados se calculó el factor de expansión de biomasa de la copa aplicando la fórmula de (Avendaño, 2008 y Álvarez, 2008).

$$FEB = BT / BF$$

Donde: **BT** = Biomasa total (kg)
BF = Biomasa de fuste (kg)

Metodología para la elaboración de modelos alométricos para estimación de biomasa aérea a nivel de especies

Los modelos alométricos se generaron para aquellas especies que sumen más de 8 árboles medidos, ya que según varios trabajos como los de Etchevers et al., (2002), con este peso estadístico se obtuvo un coeficiente de determinación $R^2 > 0,8$; en el caso del presente estudio el coeficiente de determinación fue de $R^2 \geq 0,7$.

Para el cálculo y generación de información estadística se contó con el software estadístico Infostat. Se organizó la información en un cuadro, detallando en las columnas las mediciones de todas las variables independientes (DAP, HT, HC, diámetro de copa) y dependientes (volumen, biomasa VB).

Se priorizó la correlación entre el DAP y la biomasa, ya que esta constituye la variable que frecuentemente más se correlaciona con la biomasa y es la más fácil de ser medida en campo, ya que la altura y otras variables son menos precisas de identificar y medir.

Se probaron 11 regresiones estadísticas genéricas para la generación de los modelos alométricos; de las cuales tres de estas cumplen con los parámetros estadísticos (R^2 , AIC, VIF y p-valor), estas son: $B = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(HT)$, $B = \beta_0 + \beta_1(DAP)^2 + \beta_2(HC)$, $B = \beta_0 + \beta_1(LN DAP) + \beta_2(LN HC)$.

Bajo este sistema estadístico de precisión se obtuvo modelos alométricos fiables para ser utilizados en el cálculo final de biomasa aérea a nivel nacional, y además, ponerse a disposición de los sistemas de monitoreo, verificación y de otros inventarios a nivel sub-nacional.

Resultados

Factor de forma

Según el muestreo de 633 individuos arbóreos, a partir de un DAP de 10 cm; en cuatro conglomerados, con tres parcelas cada uno de ellos, establecidos en Bosque Seco Pluvial, con una superficie total del estudio de 4,32 hectáreas, se obtuvo un factor de forma promedio de ($f=0,5$) (Figura 4).

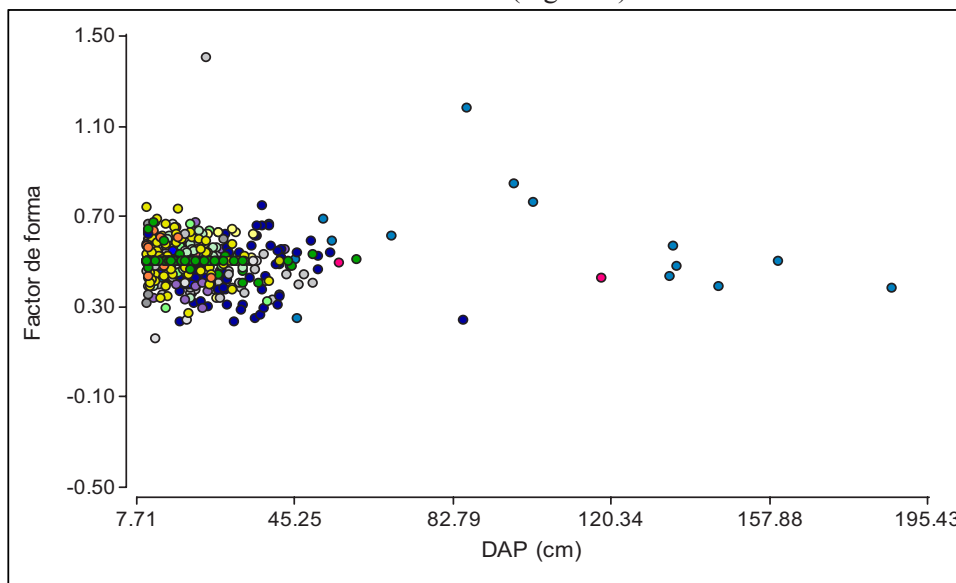


Figura 4. Diagrama de dispersión de factor de forma

Parámetros ecológicos para selección de especies para método destructivo de baja intensidad

Las especies que fueron seleccionadas para este método son las más importantes ecológicamente, determinadas en base al Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada conglomerado, una vez realizadas las mediciones en campo.

Del total de las especies, se seleccionó la que alcanzó el índices de valor de importancia más alto en el conglomerado 001, 002 y 004 para realizar la tala de los individuos y realizar las mediciones

respectivas totales del árbol; en el conglomerado 003, se tomó la especie con el cuarto IVI más alto, esto por la dificultad presentada de realizar la corta dentro del Parque Nacional Machalilla; esta corta se la realizó en los alrededores del Parque; y, esta especie se la eligió por el valor de importancia que tiene para las personas debido que en la zona tiene muy alta representatividad para las comunidades de la localidad.

Cuadro 2. Parámetros ecológicos de las cuatro especies de mayor importancia seleccionadas para realizar la tala en las diferentes áreas de estudio de Bosque Seco Pluviestacional

Conglomerado	Especie	F	DR %	DmR %	FR	IVI
001 Huaquillas	<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	61	33,8889	37,2762	10,3448	27,1700
002 Mangahurco	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	70	35,8974	21,4424	8,5714	21,9704
003 Piñas del Julcuy	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	10	6,5789	3,1025	5,4545	5,0453
004 Mamey	<i>Ziziphus thyrsoiflora</i> Benth.	70	65,4206	63,4116	15,7895	48,2072

F = Frecuencia, DR % = Densidad relativa, DmR % = Dominancia relativa, FR = Frecuencia relativa, IVI = Índice de valor de importancia

Las cuatro especies que se seleccionó para realizar la tala, suman un total de 52 individuos; las especies por conglomerado y el número de individuos son las siguientes:

- Conglomerado 001 – *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns – 12 individuos talados;
- Conglomerado 002 – *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson – 14 individuos talados;
- Conglomerado 003 – *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken – 12 individuos talados;
- Conglomerado 004 – *Ziziphus thyrsoiflora* Benth – 12 individuos talados.

Factor de expansión de biomasa (FEB)

El Factor de expansión de biomasa promedio para las especies que fueron taladas en los cuatro conglomerados de Bosque Seco Pluviestacional (Figura 5), correspondientes para *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken es de 1,72; para *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns es de 1,41; para *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson es de 1,75; para *Ziziphus thyrsoiflora* Benth es de 3,93; estos datos se asignaron para especie, género y familia respectivamente.

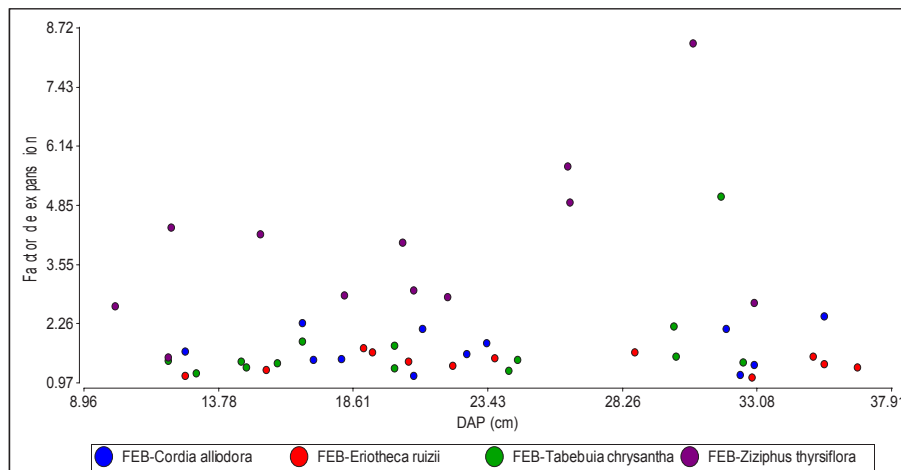


Figura 5. Diagrama de dispersión de factor de expansión de especies taladas

Se obtuvo un promedio general de 2,17 como nuevo factor de expansión. Este valor se fijó a especies, géneros y familias que no se talaron.

Biomasa aérea total almacenada a nivel de especies por hectárea, en Bosque Seco Pluviestacional.

En el estudio se identificó 633 individuos que mediante una verificación en campo con un botánico se agrupó en 44 especies, las mismas

que se determinó la cantidad de biomasa aérea total en kilogramos por hectárea (kg/ha); la mayor cantidad de biomasa reportada es 5.010,26 kg/ha para *Ceiba trichistandra* (A. Gray) Bakh; y, la menor biomasa es 0,61 kg/ha para *Tecoma stans* (L.) Juss ex Kunth.

A continuación se presentan las especies identificadas en los cuatro conglomerados establecidos en el bosque seco Pluviestacional del Ecuador, con su respectiva biomasa almacenada en cada una de ellas (Figura 6).

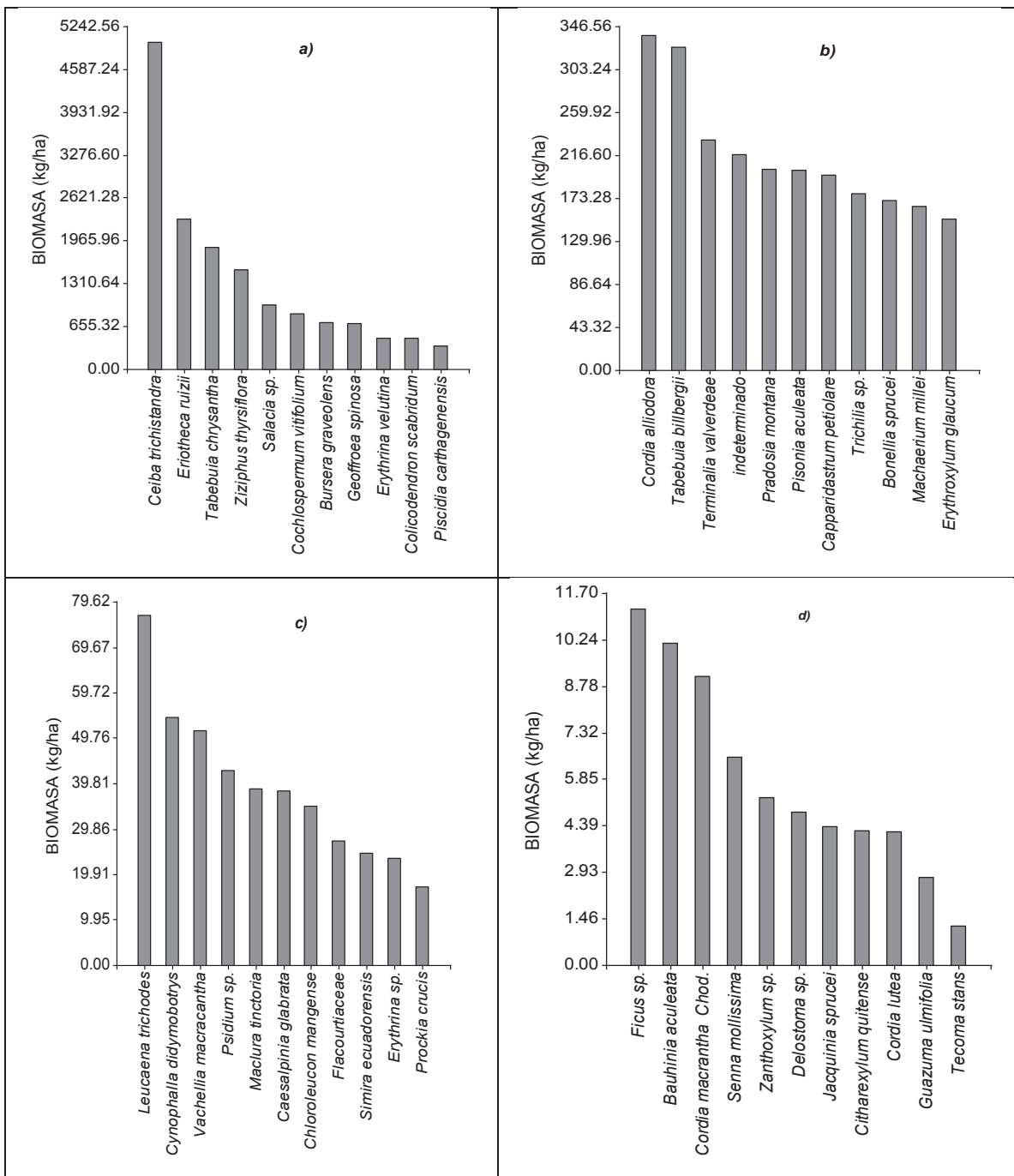


Figura 6. a, b, c, d. Diagrama de distribución de biomasa aérea a nivel de especies en los conglomerados del Bosque Seco Pluviestacional

En la Figura 6 se visualiza las especies con su rango de biomasa (cabe recalcar que esos datos se obtuvieron en un muestreo de cuatro conglomerados en Bosque Seco Pluviestacional en una superficie de 4,32 ha):

- (a) se observó que las especies con mayor biomasa en estudio fueron: *Ceiba trichistandra* (A. Gray) Bakh que reportó 5 010,26 kg/ha de 20 árboles medidos, seguido de la especie *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns con 90 árboles medidos reporto 2 94,76 kg/ha, *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson con un total de 18.62.14 kg/ha de un total de 94 árboles medidos en el estudio y *Ziziphus thyrsoiflora* Benth con un muestreo de 78 individuos medidos en campo, reporto 1 518,08 kg/ha de biomasa;
- (b y c) las especies con biomasa intermedio en el estudio fueron: *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken que reportó 337,33 kg/ha de 11 árboles medidos, seguido de la especie *Tabebuia billbergii* (Bureau & K. Schum.) Standl. Subs. ampla *A. Gently* con 14 árboles medidos reportó 326,34 kg/ha; *leucaena trichodes* (Jacq.) Benth con un total de 76,65 kg/ha de un total de seis árboles medidos en el estudio y *Cynophalla didymobotrys* (Ruiz & Pav. ex DC.) Cornejo & Iltis con un muestreo

de cuatro individuos medidos en campo, reportó 54,39 kg/ha de biomasa;

- (d) se registró mediciones de biomasa muy bajas, esto debido a que se encontró un solo individuo de especies como: *Citharexylum quitense* Spreng que registró un total de biomasa almacenada de 2,11 kg/ha, seguida por *Cordia lutea* Lam que registró 2.10 kg/ha, *Guazuma ulmifolia* Lam con 1,39 kg/ha y la especie con el menor registro de biomasa por hectárea es *Tecoma stans* (L.) Juss ex Kunth con un valor de 0,61 kg/ha.

Modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional y parámetros para su validación.

Para la elaboración de modelos alométricos; se seleccionó las especies con frecuencias mayores a ocho individuos medidos en campo, con el fin de que sean estadísticamente validados; de las 44 especies obtenidas en el inventario, 20 especies son las que cumplen con este mínimo de ocho árboles medidos; de éstas, se tomó 19 especies debido a que una de ellas no fue identificada. Se establecieron los modelos con la ayuda del programa Infostat; se determinaron once modelos por especie.

Cuadro 3. Modelos alométricos de mejor ajuste para estimación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional

Nombre especie	Nº ind	Modelo Alométrico
<i>Bonellia sprucei</i>	8	$B = -2.74 + 1.94 (\text{LN DAP}) + 0.95 (\text{LN HC})$
<i>Bursera graveolens</i>	53	$B = -4.20 + 2.29 (\text{LN DAP}) + 0.91 (\text{LN HC})$
<i>Capparidastrium petiolare</i>	9	$B = -3.65 + 2.30 (\text{LN DAP}) + 0.91 (\text{LN HC})$
<i>Ceiba trichistandra</i>	20	$B = -4.19 + 1.95 (\text{LN DAP}) + 1.07 (\text{LN HC})$
<i>Chloroleucon mangense</i>	8	$B = -10.26 + 0.09 (\text{DAP}^2) + 7.33 (\text{HC})$
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	36	$B = -3.78 + 1.84 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$
<i>Cordia alliodora</i>	11	$B = -3.34 + 1.95 (\text{LN DAP}) + 1.09 (\text{LN HC})$
<i>Eriotheca ruizii</i>	90	$B = -3.84 + 2.17 (\text{LN DAP}) + 0.52 (\text{LN HC})$
<i>Erythrina velutina</i>	11	$B = -6.04 + 2.72 (\text{LN DAP}) + 0.74 (\text{LN HC})$
<i>Erythroxylum glaucum</i>	14	$B = -2.49 + 1.97 (\text{LN DAP}) + 0.93 (\text{LN HC})$
<i>Geoffroea spinosa</i>	21	$B = -227.60 + 0.32 (\text{DAP}^2) + 52.04 (\text{HC})$
<i>Piscidia carthagenensis</i>	9	$B = -267.10 + 14.66 (\text{DAP}) + 29.21 (\text{HC})$
<i>Pisonia aculeata</i>	28	$B = -2.96 + 1.97 (\text{LN DAP}) + 0.64 (\text{LN HC})$
<i>Salacia sp.</i>	31	$B = -2.57 + 1.95 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$
<i>Tabebuia billbergii</i>	14	$B = -1.76 + 1.63 (\text{LN DAP}) + 0.93 (\text{LN HC})$
<i>Tabebuia chrysantha</i>	94	$B = -2.86 + 1.98 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$
<i>Terminalia valverdeae</i>	9	$B = -2.64 + 2.00 (\text{LN DAP}) + 1.01 (\text{LN HC})$
<i>Trichilia sp.</i>	12	$B = -164.96 + 7.08 (\text{DAP}) + 14.83 (\text{HT})$
<i>Ziziphus thyrsoiflora</i>	78	$B = -2.10 + 1.96 (\text{LN DAP}) + 1.08 (\text{LN HC})$

A continuación se indica el proceso, análisis y los parámetros que se tomaron en cuenta para elegir los mejores modelos alométricos para las especies del estudio; se toman como ejemplo tres especies del estudio y se especifica la validación y el por qué de la significancia que se tomó en cuenta para la elección del mejor modelo entre un total de diez realizados para cada una de estas.

Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para *Tabebuia chrysantha*

Al relacionar el ln de la biomasa, el ln del DAP y el ln de la HC (Figura 7 a y b), se representa una relación lineal positiva entre la biomasa y las

variables consideradas para el modelo alométrico de esta especie; se puede observar que el modelo funciona bien para los diámetros considerados en el estudio, esto considerando antes que se normalizó los datos mediante la aplicación de logaritmos.

En la Figura 7 c, se visualizan los elementos de diagnóstico; dentro de estos límites están inmersos más del 75 % de todos los individuos muestreados, esto indica que el modelo si es significativo; los valores que se encuentran fuera de los límites puede dar problemas en el modelo, debido a que estos valores son anómalos, por encontrarse en los extremos mínimo y máximo del modelo. En la Figura 7 d, los puntos se disponen en una recta de 45° indicando que el supuesto distribucional de los residuos de cumple.

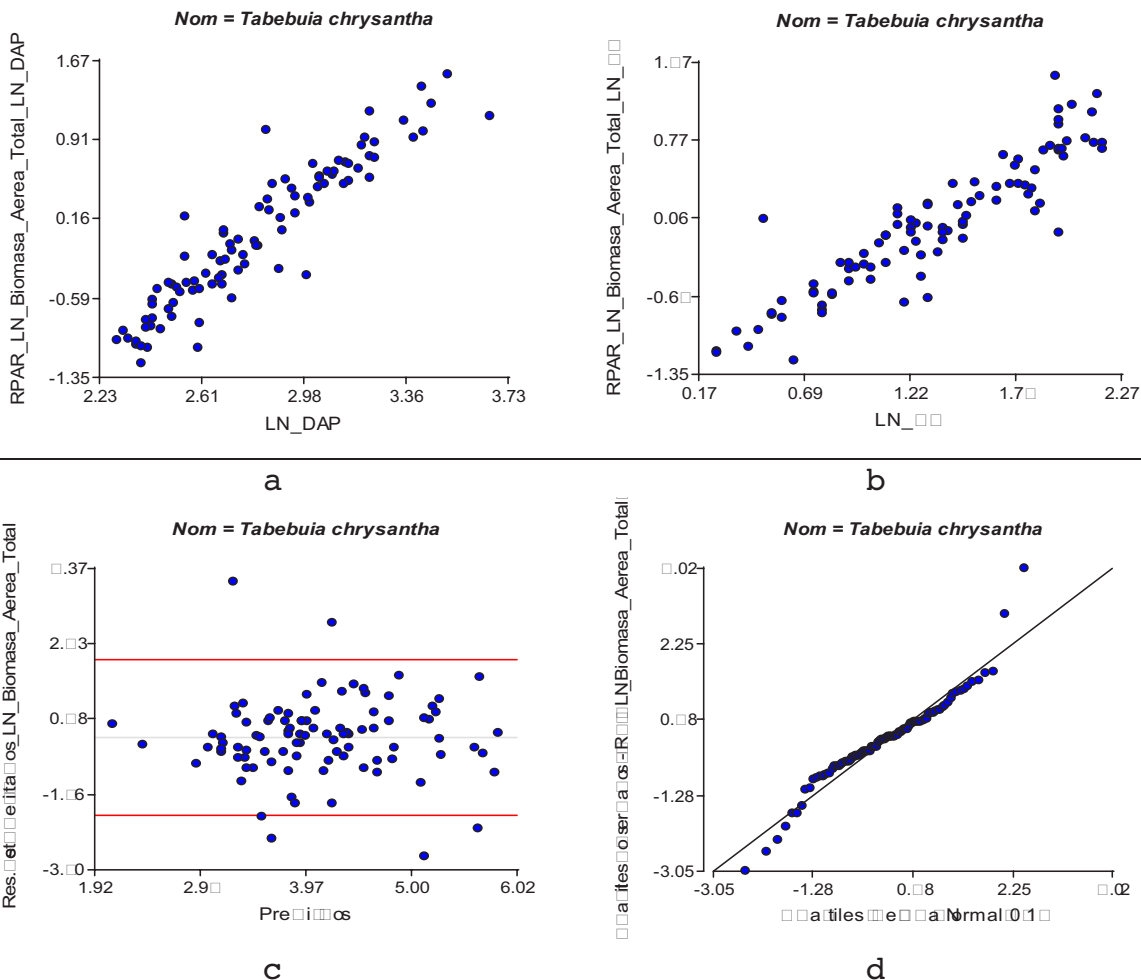


Figura 7. a) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo natural del DAP, b) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados y valores predichos, d) Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal

Para determinar el mejor modelo para esta especie se tomaros en cuenta los parámetros R² que debe ser mayor a 0,70 para que sea moderadamente

significativo o a su vez como en este caso es de 0,91; esto indica que el modelo es muy significativo; también se tomó el valor AIC que en este caso de

Cuadro 4. Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie *Tabebuia chrysantha*

Análisis de regresión lineal								
Nom	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC	
Tabebuia chrysantha	LN Biomasa Aérea	Total 94	0,91	0,91	0,06	4,55	14,72	
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados								
Coef	Est.	E.E.	LI (95 %)	LS (95 %)	T	p-valor	CpMallows	VIF
Const	-2,86	0,24	-3,34	-2,38	-11,88	<0,0001	-----	-----
LN DAP	1,98	0,08	1,82	2,13	25,21	<0,0001	630,85	1,02
LN HC	1,06	0,05	0,96	1,15	21,37	<0,0001	453,86	1,02
Análisis de la Varianza (SC tipo III)								
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		55,84	2	27,92	478,90	<0,0001		
LN DAP		37,06	1	37,06	635,75	<0,0001		
LN HC		26,63	1	26,63	456,81	<0,0001		
Error		5,31	91	0,06	-----	-----		
Total		61,15	93	-----	-----	-----		

Modelo alométrico para la especie:

$$B = - 2,86 + 1,98 (\text{LN DAP}) + 1,06 (\text{LN HC})$$

Donde: LN DAP = X (cm)
LN HC = Z (m)

4,55 indica que se ajusta de manera adecuada el modelo; el valor del VIF no debe ser mayor a 10, en este modelo es de 1,02 lo que indica que es muy significativo; también el p-valor que en este caso es <0,0001, esto quiere decir que la variable regresora es muy significativa; este valor no debe ser mayor a <0,05.

Discusión

Factor de forma

El factor de forma obtenido para este estudio varía desde 0,43 para la especie *Cynophalla didymobotrys* que tiene mayor conicidad, hasta 0,72 para la especie *Cordia lutea* que es la que presenta menor conicidad. El factor de forma promedio para todas las especies de este estudio es de (f = 0,5). El Factor de forma varía en relación inversa con el tamaño del árbol, los árboles más pequeños tienen un factor de forma más alto, lo que quiere decir que estos son más cilíndricos; y los árboles más grandes un factor de forma más bajo, lo que especifica que estos son más cónicos.

Factor de expansión de biomasa FEB

El coeficiente técnico, denominado factor de expansión de la biomasa (FEB) permite hacer la relación porcentual entre la biomasa del fuste estimada mediante inventarios forestales y el valor de biomasa total aérea (Loguercio, 2001). Éste factor se define como el cociente entre la biomasa aérea total y la biomasa de los fustes (Dauber, 2008), varía entre especie y condiciones particulares de los ecosistemas forestales.

Para este estudio el factor de expansión de biomasa (FEB) fue de 2,17; este valor resultado del promedio para las especies que fueron taladas en los cuatro conglomerados de bosque seco pluviestacional, que corresponden a *Cordia alliodora* con un valor de 1,72, *Eriotheca ruizii* con 1,41, *Tabebuia chrysantha* con 1,75 y *Ziziphus thyrsoiflora* con 3,93; estos datos se asignaron para especie, género y familia respectivamente.

Según Schlegel (2001), el factor de expansión de biomasa (FEB), que es la razón entre la biomasa total y la biomasa comercial, varía según el grado de intervención del bosque. Por lo tanto, existe un menor FEB para bosques cerrados y menos alterados y un mayor FEB

para bosques abiertos y con mayor alteración. Avendaño (2008), manifiesta que el factor de expansión de biomasa para la especie *Cordia alliodora* es de 1,26; comparada con la del estudio es más baja, esto se podría deber a las condiciones en las que se midieron las variables en el campo o a las características del ecosistema muestreado. Según Álvarez (2008), el factor de expansión de biomasa se encuentra entre 1,9 a 2,4 para ecosistemas secos. Para un bosque seco secundario el FEB promedio, fue de 1,44 con un error de muestreo del 3,84 %, mientras que la raíz representó el 25 % de la biomasa aérea total y el 37 % de la biomasa del fuste (Fonseca et al., 2009).

Biomasa aérea total almacenada a nivel de especies por hectárea en Bosque Seco Pluviestacional

En este estudio se identificaron 44 especies en un área de 4,32 ha, en las que se determinó la cantidad de biomasa aérea total en kilogramos por hectárea (Kg/ha). Para este estudio se obtuvo los siguientes datos de algunas especies con mayor y menor biomasa aérea total en cuatro conglomerados; estos datos son para los de mayor biomasa: *Ceiba trichistandra* 5 010,26 kg/ha, *Eriotheca ruizii* 2 294,76 kg/ha, *Tabebuia chrysantha* 1 862,14 kg/ha, *Ziziphus thyrsoiflora* 15 1808 kg/ha, *Citharexylum quitense* 2,11 kg/ha de biomasa respectivamente

En el estudio de Ruiz y Tinoco (2013), obtienen los siguientes datos de biomasa, en comparación con los datos de éste estudio; cabe recalcar que ellos obtienen estos datos en tres conglomerados y sus datos fueron transformados a kg/ha; estos datos son: *Ceiba trichistandra* 6 646,61 kg/ha, *Eriotheca ruizii* 3 240,02 kg/ha, *Tabebuia chrysantha* 8 357,88 kg/ha, *Ziziphus thyrsoiflora* 93,71 kg/ha, *Citharexylum quitense* 129,86 kg/ha de biomasa aérea respectivamente.

En este estudio como en el de Ruiz y Tinoco (2013), el grado de confiabilidad de los datos son del 95 % según las pruebas estadísticas aplicadas; en este estudio el programa estadístico por defecto da el grado de confiabilidad del 95 %.

Existe diferencias muy significativas entre este estudio y el de Ruiz y Tinoco (2013); esto, posiblemente se debe a los factores ambientales presentes en cada conglomerado y a la distancia entre conglomerados en comparación con los dos estudios; tres conglomerados ubicados en un solo

cantón; el presente estudio cuatro conglomerados, cada uno de ellos ubicado en diferentes provincias de la costa ecuatoriana donde existe bosque seco pluvial.

Benítez et al., (2006), indica que en un muestreo destructivo para determinar el peso de la biomasa total aérea y por componentes se deben abatir por lo menos el 50 % del total de árboles tipo de cada especie del estudio, y estos deben estar distribuidos en todo el rango diamétrico. En el presente estudio se abatieron del 40 – 70 % del total de los árboles de las especies con mayor IVI.

Carrera (2010), menciona que un bosque secundario tiene un bajo incremento de biomasa debido al lento crecimiento; y, al empezar la etapa de madurez los valores de biomasa empiezan a incrementarse hasta que los valores se disparan cuando la planta está en plena etapa de madurez, de ahí paulatinamente llega a su periodo de senescencia en donde su crecimiento se estabiliza y por ende deja de ganar biomasa.

Modelos alométricos para determinación de biomasa aérea de 19 especies de bosque seco pluvial y parámetros para su validación

En el estudio se seleccionaron los modelos alométricos con mayor significancia elegidos para cada especie de este estudio. En estos modelos se relacionan más las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total del árbol (HT), la altura comercial del árbol (HC), el diámetro a la altura del pecho al cuadrado (DAP²), y las variables logarítmicas de DAP y HC; siendo estas últimas las que mejor ajuste presentaron en los modelos.

Todos los modelos seleccionados para las distintas especies, se toman en cuenta para que sean significantes algunos valores como el de $R^2 \geq 0,70$; en el caso de *Eriotheca ruizii* $R^2 = 0,70$; este valor indica que el 70 % de los datos en el modelo tiene variabilidad, esto indica que el modelo es adecuado entre la relación de la Biomasa aérea total y el DAP x HC; así mismo para *Piscidia carthagenensis* $R^2 = 0,99$, lo que indica un gran variabilidad en los datos y que el modelo para esta especie es muy adecuado y significativo; en todos los modelos seleccionados se tomaron

las ecuaciones con los mejores valores de R^2 , se tomó en cuenta el p-valor que debe ser menor a ($p < 0,05$), en estos modelos se tomaron valores que se acercaban a cero ($p < 0,0001$), valores como el VIF que debe ser menor a 10 para que la significancia del modelo sea el correcto y el valor del AIC que mientras disminuye el modelo va a ser el más adecuado.

Cuando se combinan las variables altura total, altura comercial y DAP, se obtienen modelos que se ajustan bien a los datos, cuando se utilizan ecuaciones de dos o más variables se consiguen estimaciones de biomasa más exactas, (Segura *et al.*, 2005; Segura *et al.*, 2006 y Schlegel, 2001).

$$B = \beta_0 + \beta_1(\text{DAP}) + \beta_2(\text{HT})$$

$$B = \beta_0 + \beta_1(\text{DAP})^2 + \beta_2(\text{HC})$$

Donde:

$$B = \beta_0 + \beta_1(\text{LN DAP}) + \beta_2(\text{LN HC})$$

Conclusiones

La biomasa encontrada por especies en el Bosque Seco Pluviestacional fue variable, siendo la especie *Tecoma stans* la que reportó el menor valor con 0,61 kg/ha; mientras que la de mayor biomasa aérea, se presentó en la especie *Ceiba trichistandra* con 5 010,26 kg/ha. Estos valores se deben a las diferencias en el número de individuos encontrados en el área de estudio.

Los modelos alométricos desarrollados en el presente estudio mostraron altos coeficientes de determinación (R^2), con valores mayores que van desde $R^2 = 0,85$ hasta un máximo registrado de $R^2 = 0,99$; a excepción de las especies *Eriotheca ruizii* y *Pisonia aculeata* con coeficientes de 0,70 y 0,75 respectivamente, lo que significa un alto grado de confiabilidad de los mismos.

En *Piscidia carthagenensis*, la combinación de variables como el DAP y HC, generó el mejor modelo alométrico calculado para determinar la biomasa aérea total, alcanzando un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,99$.

Los modelos alométricos con variables logarítmicas y con exponente cuadrado, son los que mejor grado de significancia tienen; es decir son los modelos más confiables y que mejor se

ajustan para calcular la biomasa aérea de las especies forestales de bosque seco pluviestacional. Según Schlegel (2001), los modelos que mejor estiman biomasa son los de tipo alométrico, de la forma $Y = a \cdot X^b$ con transformación logarítmica e incluyen variables de DAP, diámetro del tocón (DAT) y HT; afirma que estos modelos presentan un alto coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajust) y un bajo error estándar de estimación (SEE) y tanto los modelos como los parámetros son significativos ($p < 0,05$).

Cabe recalcar que en el presente estudio los modelos alométricos con variables logarítmicas y con exponente (2) son los que mejor ajuste presentaron para estimar la biomasa aérea en las especies de la investigación; el grado de confiabilidad de los modelos alométricos obtenidos es del 95 % (± 2) y estos son de tipo:

B = Biomasa

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Parámetros del modelo

HT = Altura Total

HC = Altura Comercial

DAP = Diámetro a la altura del pecho

LN = Logaritmo natural

ajustan para calcular la biomasa aérea de las especies forestales de bosque seco pluviestacional.

Agradecimientos

Al Proyecto UN REDD FAO UNPJ/ECU/083/UNJ, al Ministerio del Ambiente (MAE), el apoyo logístico y técnico incondicional en el desarrollo de los objetivos, a la Universidad Nacional de Loja (UNL) por habernos acogido en la aulas donde nos formamos.

También a todos los ingenieros que forman parte de la planta docente de la Carrera de Ingeniería Forestal, por habernos influido sus conocimientos técnicos y científicos, a los Ing. Bolívar Merino y Eduardo Cueva por su ayuda incondicional en campo como en el Herbario "Reinaldo Espinosa" Loja.

Literatura Citada

- Aguirre, Z., Linares-Palomino, R., Peter L. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. Consultado 12 marzo 2013. Disponible en www.scielo.org.pe.

- Aguirre, Z., Peter, L., Sánchez, O. (2006b). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. Consultado el 13 Octubre 2013. Disponible en www.beisa.dk.
- Aguirre, Z., & AGUIRRE, N. 1999. Guía práctica para realizar estudios de comunidades vegetales. Herbario Loja # 5. Departamento de Botánica y Ecología de la Universidad Nacional de Loja. Loja – Ecuador, 30 p.
- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis de Magister. Turrialba, Costa Rica. 80 p.
- Avendaño, J. 2008. Modelos genéricos de biomasa aérea para especies forestales en función de la arquitectura y la ocupación del rodal. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 114 p.
- Benítez, C., Pece, M., Galíndez, M.; Acosta, M. 2006. Bosques y forestaciones como sumideros de carbono en el parque chaqueño. Consultado el 12 de Octubre 2013. Disponible en <http://fcf.unse.edu.ar/IIjorfor/pdfs/Bosques%20y%20forestaciones%20como%20sumideros%20de%20carbono%20en%20el%20parque%20chaque%20F1o.pdf>
- Carrera, V. 2010. Almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de balsa (*Ochroma lagopus* Sw.) ubicadas en las Regiones de Chimoré, Mariposas y Puerto Villarroel Subtrópico de Cochabamba – Bolivia. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. VICERRECTORADO. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales Cochabamba, Bolivia. 56 p.
- Cerón, C. 1993. Manual de botánica ecuatoriana, sistemática y métodos de estudio en el Ecuador. Ediciones Abya – Ayala. Quito, Ecuador. p 315.
- Cordelim. 2010. Recuperación y destrucción del gas metano en el Relleno Sanitario de Pichacay y en el Vertedero de El Valle - Cantón Cuenca.
- Dauber, E, Terán, J., Guzmán, R. 2008. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana 1(1):1-10. Consultado 25 abril 2013. Disponible en <http://www.revforiberoamericana.ula.ve/archivos/DOC2.pdf>
- Etchevers, J., Vargas, J., Acosta, M., Velázquez, A. 2002. Estimación de la Biomasa Aérea Mediante el Uso de Relaciones Alométricas en Seis Especies Arbóreas en Oaxaca, México. Agrociencia Vol. 36 N° 006. 725 – 736 p.
- Fonseca, G., Alice, F., Rey, M. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. BOSQUE 30(1): 36-47 p.
- Loguercio, G., Defossé, G. 2001. Ecuaciones de biomasa aérea, factores de expansión y de reducción de la lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser, en el So del Chubut, Argentina. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de Octubre de 2001. 11 p.
- Neill, D. 2000. Observations on the conservation status of Tropical Dry Forest in the Zapotillo Area, Loja. Consultado 13 Abril 2013. Disponible en: www.mobot.org/MOBOT/research/Ecuador/Zapotillo.
- Ruiz, I., Tinoco, H. 2013. Cuantificación de las reservas de carbono en bosque seco dentro de tres áreas de conservación del programa socio bosque en el cantón zapotillo, provincia de Loja. Tesis de grado de ingeniero forestal. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables. Loja – Ecuador. 159 p.
- Schlegel, B. 2001. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 13 p.
- Segura, M., Kanninen, M., Alfaro, M., Campos, J. 2005. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. 6 p.
- Segura, M., Kanninen, M., Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforest Systems 68:143-150.
- Vásquez, A. & Arellano, H. 2012. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de córdoba. Colombia. Artículo científico. 40 p.