

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

1. **TÍTULO:** CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN ALISO DE NEPAL (*Alnus nepalensis* D. Don) EN LA ZONA DE INTAG, ANDES DEL NORTE DEL ECUADOR.

2. **AUTOR:** Freddy Ricardo España Benavides

3. **DIRECTOR:** Ing. For. Walter Armando Palacios Cuenca

4. **COMITÉ LECTOR:** Ing. For. María Vizcaíno.
 Ing. For. Manolo Carrión. Mgs
 Ing. For. Hugo Vallejos. Mgs

5. **AÑO:** 2016

6. **LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOHA, IBARRA

7. **BENEFICIARIOS:** Aportará conocimiento al sector forestal relacionado con estadística y cambio climático.

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



APELLIDOS: ESPAÑA BENAVIDES

NOMBRES: FREDDY RICARDO

C. CIUDADANIA: 040181687-1

TELÉFONO CONVENCIONAL: 2 974 497

TELEFONO CELULAR: 0967916675

CORREO ELECTRÓNICO: freddyricardoeb@gmail.com

DIRECCIÓN: San Isidro, calle 10 de Agosto y Sucre.

AÑO: 2016

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: **20 de junio del 2016**

ESPAÑA BENAVIDES FREDDY RICARDO: /TRABAJO DE TITULACIÓN. Ingeniero Forestal.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, **20 de junio del 2016, 12 páginas.**

DIRECTOR: Ing. For. Walter Palacios

El objetivo principal de la investigación fue determinar la biomasa aérea capturada por el aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) mediante modelos alométricos en el sector La Delicia de la parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura.

Fecha: 20 de junio del 2016

.....

Ing. For. Walter Armando Palacios Cuenca

Director de Tesis

.....

Freddy Ricardo España Benavides

Autor

**CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
BIOMASA AÉREA EN ALISO DE NEPAL (*Alnus nepalensis* D. Don) EN LA ZONA DE INTAG,
ANDES DEL NORTE DEL ECUADOR.**

Autor: Freddy Ricardo España Benavides
Director de Tesis: Ing. Walter Armando Palacios Cuenca
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales
Carrera de Ingeniería Forestal
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador
freddyricardoeb@gmail.com
Teléfono: 2974497/0967916675

RESUMEN

Una de las medidas más importantes para mitigar el cambio climático son las plantaciones forestales por ser uno de los mecanismos aceptados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y porque los árboles cuando realizan la fotosíntesis capturan carbono. Para determinar la captura de Carbono (C) en las plantaciones forestales lo primordial es determinar la biomasa aérea. El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de generar modelos alométricos para la biomasa aérea del aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) a través del método directo. El estudio se condujo, en el sector La Delicia, parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi ubicado al noroccidente del Ecuador. Un total de nueve árboles fueron elegidos para el análisis. Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), el diámetro basal (DB), el ancho de copa (AC) y altura total (HT), variables independientes del modelo. Se apeó y seccionó al árbol en tres componentes: fuste, ramas y hojas. De cada componente se tomó 200 g para la determinación de materia seca y cálculo de la biomasa total, variable dependiente del modelo. Los modelos alométricos ajustados para predecir la biomasa aérea del aliso de Nepal fueron $B = -163.36 + 44.42 \ln(DAP \times DB)$ y $B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(DAP \times DB \times HT)$ los cuales mostraron altos coeficientes de determinación mayores a 0.93 y 0.90 respectivamente. Los modelos alométricos ajustados para esta especie podrán ser utilizados en condiciones similares a las del presente estudio para estimar la biomasa aérea de manera confiable.

Palabras clave: Plantaciones forestales, método directo, modelos alométricos, aliso de Nepal, biomasa aérea, carbono, coeficiente de determinación, variable dependiente, variable independiente.

ABSTRACT

One of the most important actions to mitigate climate change are forest plantations as one of the mechanisms accepted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and because the trees when they breathe and photosynthesize carbon capture. To determine the capture of carbon (C) in the primordial forest plantations is to determine the biomass. This research was conducted in order to generate allometric models for aboveground biomass Nepal alder (*Alnus nepalensis* D. Don) through the destructive method of trees. The study was conducted in the La Delicia, Plaza Gutierrez, Cotacachi located in northwest Ecuador. A total of nine trees were chosen for analysis. Diameter at breast height (DAP), the basal diameter (DB), the crown width (AC) and total height (HT), independent variables of the model was measured. He climbed the tree and sectioned into three components: stem, branches and leaves. 200 g of each component for the determination of dry matter and calculation of total biomass, dependent variable model was taken. Allometric models adjusted to predict aboveground biomass were Nepal alder $B = -163.36 + 44.42 \ln(DAP \times DB)$ and $(B = 37,157 + 1.75 \times 10^{-4}(DAP \times DB \times HT))$ which they showed high coefficients greater determination to 0.93 and 0.90 respectively. The allometric models adjusted for this species may be similar to those used in this study to estimate biomass reliably conditions.

Keywords: Forest plantations, direct method, allometric models, Nepal alder, biomass, carbon, coefficient of determination, dependent variable, independent variable.

INTRODUCCIÓN

Existe preocupación mundial por el aumento acelerado de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre estos gases, el dióxido de carbono (CO₂), es uno de los seis gases más preocupantes por sus altas concentraciones; por esta razón, se han generado diversos mecanismos para mitigar el efecto de este gas, entre ellos el establecimiento de plantaciones forestales, proyectos de captura de carbono entre otros.

En la zona de Intag se introdujo el aliso de Nepal en 1995, especie que ha despertado mucho interés en organizaciones locales, nacionales e intergubernamentales por la buena adaptación al sitio. A la fecha, en la zona se han realizado investigaciones sobre la interacción de esta especie con pastos. Sin embargo, no existe información sobre biomasa aérea y carbono almacenados.

El objetivo del estudio fue elaborar ecuaciones alométricas que evalúan la biomasa aérea secuestrada por el aliso de Nepal, con dimensiones simples de medir como el diámetro, la edad, la altura y el diámetro de copa.

METODOLOGÍA

Descripción del sitio

El estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Plaza Gutiérrez. El sitio específico fue en el sector denominado La Delicia, con una precipitación promedio de 1393.2 mm temperatura 12°C a 15°C y humedad relativa 70% - 80%. Con suelos de color verde grisáceo muy oscuro (5G_2 2.5/) textura franco – franco arenoso con un ph de 4,92 (muy fuertemente ácido), contenido de nitrógeno 20% (alto), contenido de fosforo 20 ppm (alto), contenido de potasio 0,24 Meq/100 ml (adecuado) y contenido de materia orgánica 7,01% (alto).

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2013), este sitio pertenece al

bosque siempre verde montano alto de la cordillera occidental de los Andes.

Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se determinó con la siguiente ecuación (Ec. 1) (Aguirre & Vizcaino, 2010):

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{E^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n: tamaño de muestra
t_α: valor de t de Student
S²: varianza
E²: error (10% de la media)

Considerando que el tamaño de la muestra debe de tener una íntima relación con el tamaño de la población, (en este caso fue de 2 222 árboles) se calculó el tamaño de muestra ajustado con la siguiente ecuación (Ec. 2) (Aguirre & Vizcaíno 2010):

$$n_2 = \frac{n_1}{1 + \frac{n_1}{N}} = 9 \text{ Árboles} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

n₂: tamaño de la muestra ajustado
n₁: tamaño de la muestra
N: tamaño de la población

1. Parámetros de forma de los árboles en pie

Para determinar los parámetros de los árboles en pie se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

a) *Medición de diámetro y diámetro basal*

El diámetro de los árboles fue medido a 1, 30 cm (DAP) y a 30 cm (Db) de la base del fuste, con cinta métrica.

b) Estimación del ancho de la copa del árbol

Se realizó una proyección de la copa del árbol en el suelo, midiendo con una cinta métrica en cruz el diámetro de la proyección; luego, se calculó el área con la ecuación (Ec. 3) (Steel & Torrie, 1988):

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

A= área
 $\pi = 3.141592$
d = diámetro

2. Calculo de la biomasa aérea

Para el cálculo de la biomasa se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

a) Apeo de individuos seleccionados y medición de longitud

Una vez cortados los árboles, sobre el suelo se midió con una cinta métrica la longitud total del fuste.

b) Peso de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio

Los componentes estudiados fueron: fuste, ramas y hojas.

Para pesar estos componentes se:

- Se dividió el fuste y las ramas en secciones de 1 y 0,50 m respectivamente, para facilitar el pesaje.
- Se tomó una muestra de 200 g en estado húmedo de cada uno de los componentes y se embolsó con plástico. Estas muestras se llevaron al laboratorio de anatomía de maderas y xiloteca de la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte.
- Las muestras se secaron al horno a 60 °C durante 72 horas para luego pesar la materia seca.

La biomasa se calculó con la siguiente ecuación (Ec 4) (Andrade & Segura, 2008):

$$B = \frac{Pf * Ms}{100} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

B = biomasa (kg)
Pf = peso fresco (kg)
Ms = materia seca (%)

Para determinar el peso de la biomasa aérea total se sumó los resultados de los componentes (Ec. 5) (CIRAD & FAO, 2012).

$$B_T = B_F + B_R + B_H \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

B_T = biomasa total (kg)
B_F = biomasa del fuste (kg)
B_R = biomasa de las ramas (kg)
B_H = biomasa de hojas (kg)

3. Selección del mejor modelo alométrico

Para seleccionar los mejores modelos alométricos se utilizó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008), que a continuación se indica. Para el procesamiento de los datos se usó los programas estadísticos InfoStat versión 2015 e IBM SPSS Statistics 19 versión 2015.

a) Organización de los datos y correlación entre variables

Se organizó los datos de cada individuo en una fila, detallando en las columnas las variables independientes (DAP, DB, HT, AC) y variable dependiente (BT). Luego se graficó en el eje de coordenadas xy la biomasa total frente a cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y probar diferentes modelos.

Posteriormente se calculó el coeficiente de correlación con las variables independientes y la variable dependiente, usando para ello la

siguiente ecuación (Ec. 6) (Steel & Torrie, 1988):

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{S_x^2 * S_y^2}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

r_{xy} = correlación de Pearson

C_{xy} = covarianza

S^2 = varianza

Los datos que no ofrecieron una correlación aceptable, fueron transformados a ln, log₁₀, raíces y potencias con el propósito de obtener una mejor correlación entre variables.

b) Selección de los mejores modelos

Se seleccionó los modelos con los estadígrafos: coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), error estándar de la estimación (RCME) y criterio de información akaike (AIC), proporcionados por los programas estadísticos mencionados anteriormente.

Posteriormente se escogió a los 15 mejores modelos y se los calificó de acuerdo a cada estadígrafo evaluado (uno al mejor modelo, dos al segundo mejor y así sucesivamente). Luego se sumaron las calificaciones y se eligió a los cinco modelos con menor resultado.

c) Comparación de observaciones reales versus las estimaciones de los mejores modelos

Una vez seleccionados los cinco modelos se realizó un gráfico (Q-Q Plot) de los valores estimados (x), versus los valores observados (y) para cada modelo. Finalmente se eligió a los dos modelos que más se ajustaron a los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Parámetros de forma de los árboles

El promedio de DAP y de la Ht de los árboles fue de 14,32 cm y 972 cm respectivamente a los tres años de edad de la plantación. (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de los parámetros de forma de los árboles.

VARIABLES	MEDIA (cm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	ERROR ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
DAP	14,32	2,21	0,74	15,45
Db	16,78	2,17	0,72	12,94
Ht	972	79,42	26,47	8,17
Ac	546,94	72,24	24,08	13,21

El IMA de las variables independientes (DAP, DB, HT y AC) fue altamente representativo a la edad de la plantación (Tabla 2). En la misma zona, Castillo (2012), registro valores de IMA superiores para la especie en sistemas agroforestales, en donde como es obvio, se realizan constantes labores culturales, lo que contribuye a un mayor crecimiento. La presente investigación se realizó en una plantación pura de aliso que nunca fue fertilizada ni manejada.

Tabla 2. Incremento medio anual de las variables independientes.

IMA / AÑOS	DAP (cm)	Db (cm)	Ht (cm)	Ac (cm)
3	4,77	5,59	324	182,31

Las condiciones edafoclimáticas en las que se encuentra esta plantación de aliso de Nepal son similares a las registradas por Imbaquingo & Naranjo (2010) y Castillo

(2012), para la misma especie, en la zona. Mientras que las condiciones en las que se encuentran las investigaciones de Bhandari & Neupane (2014), Khila Nath & Ghandiv (2012) y Sharma (2012) para la misma especie son totalmente diferentes, debido a que son bosques heterogeneos ubicados en Bhakarjung, Nepal, Katmandú, Nepal y Syanja, Nepal respectivamente, a una altura que oscila de 490 hasta 8091 m.s.n.m, temperatura promedio 5,60 hasta 33 C con precipitación media anual de 3068 mm a 3353.3 mm.

2. Biomasa aérea de aliso de Nepal

La biomasa aérea total promedio fue de 37,53 t/ha. Al calcular la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación indicaron valores aceptables, suficientes para realizar inferencias estadísticas (Tabla 3). Khila Nath & Gandhiv (2012), en un estudio realizado para la misma especie, en un bosque heterogéneo ubicado en Katmandú en la cordillera de los Himalayas, Nepal, obtuvo 62,21 t/ha. Mientras que Sharma (2012) para la misma especie en el distrito de Syanja, Nepal obtuvo 86,34 t/ha de biomasa total. Esta diferencia se podría atribuirse a que los árboles incluidos en este estudio, fueron de menor edad (tres años) la diferencia en las condiciones edafoclimáticas de los sitios de estudio y/o el método utilizado para determinar la biomasa. Aunque según CIRAD & FAO (2012) y Solano & otros (2014) afirman que las masas homogéneas producen más biomasa que las masas heterogéneas.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la biomasa en estado verde, seco y biomasa total.

V	m	DE	EE	CV
BV (kg)	42,5 7	2,26	0,75	5,31
BS (%)	79,2 8	12,98	4,33	16,37
BT (kg)	33,7 8	5,83	1,94	17,26

V: Variable, **m:** media, **DE:** desviación estándar, **EE:** error estándar, **CV:** coeficiente de variación, **BV:** biomasa verde, **BS:** Biomasa seca, **BT:** biomasa total

El método utilizado en este estudio fue el directo o destructivo, el cual proporciona un valor exacto porque consiste en cortar los árboles y pesar sus componentes (Brown, 1997), el inconveniente es su alto costo en términos de tiempo y recurso económico (Alvarez, 2008). Sin embargo es el más preciso (Monroy & Navar, 2004); por su parte la medición tradicional de volumen es imprecisa, debido a la deformación que sufren las probetas por contracción y alabero durante el secado (Arévalo & Londoño, 2005) y el método por desplazamiento de fluidos arroja distintos valores según el liquido que se utilice (Londoño, 2008).

3. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea en aliso de Nepal

En la Figura 2 se muestran las correlaciones gráficas de las variables independientes versus la variable dependiente. Las variables DAP y DB mostraron un ajuste aceptable a la línea de regresión (80%) y una alta correlación respecto a la biomasa al 95 y 99% de probabilidad estadística (Tabla 4).

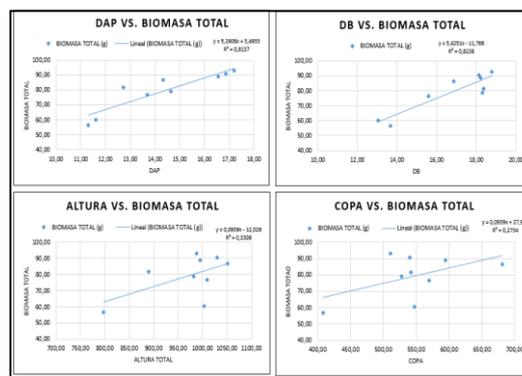


Figura 1. Correlación de variables independientes versus la variable dependiente.

Esta correlación fue similar a la reportada por Lerma & Orjuela (2014) para *Miconia* sp., *Winmania auriculata* y *Baccharis* sp., en el páramo de Anime, Colombia. De igual manera, en la investigación para

Centrolobium tomentosum y *Schizolobium parahyba* en el trópico de Cochabamba, Bolivia, de Álvarez (2008) y en la investigación de Bhandari & Neupane (2014) para *Alnus nepalensis* en Bhakarjung, Nepal, determinaron que las variables que mejor se correlacionan con la biomasa son el DAP y HT. Se presume que esta similitud se debe a la poca competencia y la alta disponibilidad de nutrientes en los ecosistemas estudiados. También es necesario considerar que las variables DAP, DB y HT casi siempre tienen una correlación no menor a $r = 0.7$ que se la considera positiva. (Brown y otros., 1989; Brown e Iverson, 1992; Pérez & Kanninen, 2002; Segura & Kanninen, 2005 citados por Lerma & Orjuela, 2014). Asimismo en trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que las variables independientes que mejor predicen la biomasa de un árbol son el DAP, DB y HT (Regina, 2000), variables que son las más comunes por su disponibilidad en inventarios forestales (CIRAD & FAO, 2012).

Tabla 4. Análisis de correlación entre las variables independiente (DAP, Db, Ht y Ac) con respecto a la variable dependiente biomasa total.

	DAP (cm)	Db (cm)	Ht (cm)	Ac (cm)
Correlación	0,90	0,91	0,57	0,52
Significancia	**	**	Ns	Ns
$r_{0,05}$		0,632		
$r_{0,01}$		0,765		

** : altamente significativo, Ns: no significativo

Con base a las correlación y a las transformaciones de ln, \log_{10} , raíces y potencias se ajustaron preliminarmente 15 modelos, los cuales fueron ponderados usando los estadígrafos: coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado, cuadrado medio del error y criterio de información akaike.

En la Tabla 5 se presentan los cinco modelos de biomasa aérea (tres modelos con tres regresoras y otros dos modelos con dos regresoras) de mejor ajuste para la especie.

Todos los modelos obtuvieron coeficientes de determinación igual o mayor a 0.90, lo cual es altamente significativo, pues sobre 0.80 se considera ya un nivel alto de predicción (CIRAD & FAO, 2012).

Por lo expuesto anteriormente, podemos concluir que la combinación de las variables (DAP, Db y la Ht) y la transformación a ln para estas variables, fueron las mejores combinaciones para predecir la biomasa aérea.

Tabla 5. Modelos alométricos para predecir la biomasa aérea y estadígrafos obtenidos para aliso de Nepal.

N	R ²	R ² ajustado	CME	AIC
M1	0,94	0,93	0,05	-26,01
M2	0,93	0,92	0,05	-24,54
M3	0,92	0,91	3,84	53,53
M4	0,92	0,91	0,05	-22,77
M5	0,90	0,89	4,31	55,58

R²: Coeficiente de determinación, **R² ajustado:** Coeficiente de determinación ajustado, **CME:** Cuadrado medio del error, **AIC:** Criterio de información akaike.

Generados los modelos se graficó (Q-Q plot) la dispersión de los valores predichos versus los valores observados de la biomasa aérea y no se observó una tendencia que pudiera rechazar los resultados de los análisis realizados. Sin embargo, los modelos M3 y M5 mostraron un mejor ajuste a la línea de regresión (Figuras 3 y 4) mientras que los modelos M1, M2 y M3 mostraron leves sesgos sistemáticos, sobrestimando la biomasa aérea.

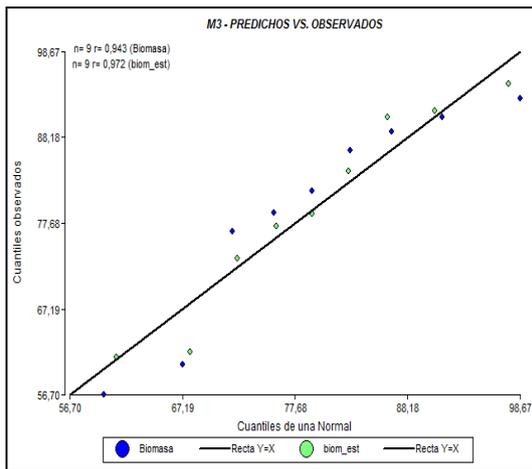


Figura 2. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 3.

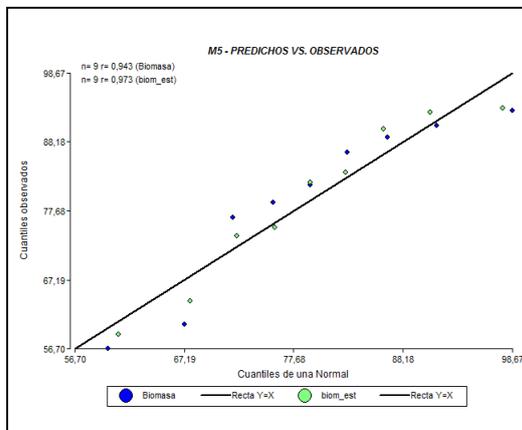


Figura 3. Exploración gráfica de los valores predichos versus los valores observados para el modelo 5.

Por lo expuesto anteriormente, se determinó que los modelos $B = -163.36 44.42 \ln(DAP \times DB)$ y $B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(DAP \times DB \times HT)$ son los mejores para estimar la biomasa aérea del aliso de Nepal para el sitio de estudio. Lo que confirma que los modelos que mejor predicen la biomasa aérea son los de tipo logarítmico (Schlegel, 2001 citado por Solano y otros, 2014), y que cuando se utilizan ecuaciones de dos o más variables se consiguen estimaciones de biomasa más exactas (Segura y otros., 2005; Segura y otros., 2006 y Schlegel, 2001 citados por Solano y otros, 2014). El grado de confiabilidad de estas ecuaciones es del 95%.

Los modelos generados en esta investigación predicen mejor la biomasa aérea capturada en este sitio. El uso de modelos alométricos desarrollados en ecosistemas diferentes a los

del sitio de estudio presentan limitaciones, debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles (Alvarez, 2008). Debido a esto, los modelos alométricos son específicos para cada zona de vida, ecosistema, edad. (Segura y Kanninen, 2005; Andrade y Segura, 2008; Ortiz, 1993).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los árboles de aliso de Nepal tuvieron un DAP y Ht promedio de 14,32 cm y 972 cm respectivamente a los tres años de edad de la plantación y un IMA en DAP y Ht de 4,77 cm y 324 cm respectivamente los cuales son altamente representativos a la edad de la plantación.

El promedio de biomasa aérea capturada por el aliso de Nepal en las condiciones del sitio fue de 37,53 t/ha.

Se observó que los modelos con mejor ajuste fueron $B = -163.36 44.42 \ln(DAP \times DB)$ y $(B = 37.157 + 1.75 \times 10^{-4}(DAP \times DB \times HT))$ los cuales tienen un R^2 de 0.93 y 0.90 respectivamente.

Los mejores modelos fueron aquellos en los cuales se usaron las variables DAP, DB y Ht y también los modelos en los cuales se usan transformaciones con ln y potencias de dichas variables.

Los modelos alométricos generados en el sitio de la investigación son los mejores para cuantificar la biomasa aérea para la especie, debido a que si se usan otros modelos de un sitio diferente existirá sesgos sistemáticos en la cuantificación de la biomasa aérea.

RECOMENDACIONES

Por su simplicidad, se debería usar modelos con las variables Dap, Db y Ht, debido a que son las mediciones más comunes en inventarios forestales y con mayor precisión a la hora de predecir la biomasa.

Para fines de cuantificación de biomasa aérea, se recomienda calcular la densidad de la madera y el factor de forma de los árboles. En virtud de que estas variables pueden ayudar en un mejor ajuste a los modelos alométricos.

Para mayor precisión se recomienda utilizar un mayor número de estadígrafos que califiquen a los modelos alométricos.

Esta investigación debería de servir como una línea base para determinar la biomasa aérea y por ende el carbono capturado por el aliso de Nepal en toda la zona de Intag.

Si se desea utilizar los modelos alométricos generados en esta investigación, se debe tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas del sitio en el cual se generaron. Esto permitiría validar, probar la factibilidad y hasta que nivel son confiables estas fórmulas.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, C., & Vizcaíno, M. (2010). Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales. *Editorial Universitaria*, Ibarra, Ecuador.

Alvarez, G. (2008). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Turrialba, Costa Rica: Centro agronomico tropical de investigación y enseñanza CATIE.

Andrade, H., & Segura, M. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Costa Rica: CATIE.

Arévalo, R. & Londoño, A. (2005). Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el

departamento de Tolima. Ibagué: Impresiones CONDE.

Bhandari, S. K., & Neupane, H. (2014). BIOMASS MODELING OF ALNUS NEPALENSIS D. DON AT. Crossing the Border: International Journal of Interdisciplinary Studies, 51 - 53.

Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forest: A primer. Obtenido de: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>

Castillo, N. (2012). Análisis del comportamiento del aliso *Alnus nepalensis* D. Don, asociado con brachiaria *Brachiaria decumbens* Staff y pasto miel *Setaria sphacelata* (Schumach) Staff & C. E. Hubb y pasturas en monocultivo. Ibarra: Editorial Universitaria.

Centre de Coopération Internationale en Recherche, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2012). Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. *Editorial Cirad*, Roma. 223 p.

Centro para la Investigación Forestal Internacional. (s.f). Guía de CIFOR sobre bosque, cambio climático y REDD. Indonesia: CIFOR.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (1992). Cambio Climático. En N. Unidas, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, New York: CMNUCC.

Gayoso, J., Guerra, J., & Alarcon, D. (25 de Mayo de 2002). Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Obtenido de Minga on line:

http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S071792002005000200005&script=sci_arttext

- Gutiérrez, V., & Lopina, G. (2001). Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Imbaquingo, E., & Naranjo, D. (2010). Comportamiento inicial de aliso (*Alnus nepalensis* D. Don) y cedro tropical (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn), asociados con brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf) y pasto miel (*Setaria sphacelata* (Schumacher) Stapf & C.E. Hubb). *Editorial Universitaria*. Ibarra – Ecuador.
- IPCC. (24 de Mayo de 2001). Tercer Informe de Evaluación de la Mitigación del Cambio Climático. Obtenido de:

http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml.
- IPCC. (20 de Mayo de 2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Obtenido de:

http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
- Khila Nath, D., & Gandhiv, K. (2012). Organic Carbon in Soil and Biomass of an *Alnus nepalensis* Forest in Kathmandu, Nepal. *Institute of Forestry*. Hetauda, Nepal.
- Lerma, M., & Orjuela, E. (2014). Modelos Alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia. *Universidad de Colombia*. Colombia.
- Londoño, A. (2008). Apuntes para el curso de anatomía y tecnología de maderas. Universidad del Tolima, Ibagué.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Metodología para la representación cartográfica de los ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de patrimonio natural. Quito.
- Monroy, C., & Navar, J. (2004). Ecuaciones de actividad para estimar componentes de biomasa de Hevea brasiliensis Muell. *Madera y Bosques*. Mexico.
- Morán, J. M., & Morán, M. D. (1994). Meteorology: The atmosphere and the science of weather. New York: Publishing C.o.
- Ortiz, E. (1993). Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Instituto tecnológico de Costa Rica. Revista Instituto tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. 78 – 85.
- Regina, S. (2000). Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata, Salamanca. Spain: Forest Ecology Management.
- Segura, M. (1997). Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en bosques de altura en la cordillera de Talamanca. Heredia: Universidad Nacional.
- Segura, M. & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volumen and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Revista Biotropica*, 37(1), 2 – 8.
- Solano, D., Vega, C., Eras, H., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar la biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estado de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *CEDAMAZ*, 18 – 19 p.
- Zamora, J. C. (2011). Implicaciones del cambio climático para el almacenamiento de carbono y la riqueza de especies en bosques naturales en Costa Rica. Costa Rica: CATIE.