

ARTÍCULO ORIGINAL

Estimación del nitrógeno retenido en el fuste de las plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia Granma, Cuba



Estimate of the nitrogen retained in the shaft of the plantations of *Pinus maestrensis* Bisse in the Granma province, Cuba

**Revista Cubana de Ciencias Forestales
Año 2015, Volumen 3, número 1**

Wilmer Toirac Arguelle¹, José Antonio Bravo Iglesias², Héctor Barrero Medel², Alberto Vidal Corona³, Arlety Ajete Hernández⁴, Bertha Rita Catillo Edua⁵

¹Estación Experimental Agro Forestal. Baracoa. Paso Cuba, Km12 Carretera a Guantánamo. Correo electrónico: wilmer@forestales.co.cu

²Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174. Reparto Siboney. Playa. La Habana.

³Universidad de Pinar del Río, Dpto. Forestal. Martí final. CP 20100. Pinar del Río. Teléfono, 779661.

RESUMEN

En la Empresa Forestal Integral Granma se levantaron 138 parcelas de 500 m² en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse, y se tomaron los diámetros a 1, 30 m sobre el nivel del suelo de todos los árboles y la altura de dos árboles por clase diamétrica, se calculó el diámetro medio, la altura media, y se procedió a determinar el volumen por hectárea. Se derribaron 138 árboles tipo, los cuales fueron desramados y descortezados. Se determinó el volumen de cada árbol a través de la fórmula de Smalian; la biomasa de fuste seco, sin corteza, se obtuvo mediante la multiplicación del volumen de cada árbol por la densidad básica de la madera de la especie, y para el nitrógeno retenido, se multiplicó la biomasa del fuste seco sin corteza por el coeficiente de nitrógeno de la especie. Para estimar el nitrógeno retenido se evaluaron cuatro modelos de regresión, donde el de mejor bondad de ajuste presentado, fue el logarítmico, con coeficiente de determinación y coeficiente de determinación ajustado de 97,8%, parámetros con alta significación ($P < 0,001$) y menor valor de índice de Furnival.

Palabras clave: *Pinus maestrensis*; nitrógeno retenido; modelos de regresión.

ABSTRACT

In the Integral Forest Enterprise Granma 138 parcels of 500 m² were settled down in *Pinus maestrensis* Bisse plantations, taking the diameters at 1, 30 m on the level of the

floor of all the trees and the height of two trees for class, calculation the half diameter and the half height, were calculated and the volume for hectare was determined. 138 trees type were demolished, and their branches were cut and barked. The volume of each tree was determined by means of the formula of Smalian; the biomass of dry shaft without bark was obtained by means of the multiplication of the volume of each tree by the basic density of the wood of the species, and for the retained nitrogen multiply the biomass of the dry shaft without bark for the coefficient of nitrogen of the species. To estimate the retained nitrogen four regression models were evaluated, where the pattern that better adjustment kindness presented was the logarithmic one, with coefficient of determination and adjusted coefficient of determination of 97,8%, parameters with high significance ($P < 0,001$) and smaller value of index of Furnival.

Key words: *Pinus maestrensis*; retained nitrogen; regression models.

INTRODUCCIÓN

El N₂O es un gas con efecto de invernadero y, además, está implicado en la destrucción catalítica de la capa de ozono (Crutzen, 1981). Aunque su concentración absoluta es baja, comparada con el CO₂, contribuye de forma significativa al efecto invernadero. Desde la época preindustrial hasta nuestros días, ha aumentado un 5%, la concentración de N₂O atmosférico (Houghton, *et al.*, 1990).

El N₂O es responsable de un 2 a un 3% del calentamiento global del planeta y puede contribuir hasta un 10% en el futuro (Cicerone, 1989) y, por otra parte, doblar la concentración de este gas en la atmósfera, se estima que puede hacer disminuir la capa de ozono en un 10% (Mosier *et al.*, 1996).

El objetivo de este trabajo fue estimar el nitrógeno retenido en el fuste de las plantaciones de *Pinus maestrensis* en la provincia Granma.

MATERIAL Y MÉTODO

El estudio se realizó en la Empresa Forestal Integral Granma, en la provincia Granma, que abarca los municipios Jiguaní, Buey Arriba, Guisa y Bayamo, y que limita por el norte con la provincia de Holguín, al sur, con el mar Caribe y la provincia de Santiago de Cuba, al oeste, con el Golfo de Guacanayabo y al este, con la provincia de Santiago de Cuba. El suelo es ferralítico rojo lixiviado, la temperatura media de 26,5 °C y valores de precipitación anual de 1288 mm. (Mogena *et al.*, 2007).

Colecta de datos

Se utilizó el mapa forestal 1: 25 000 para el levantamiento de las Parcelas Temporales de Muestreo de 500 m² de superficie circular, y se seleccionaron rodales entre 7-36 años de edad.

Tamaño de la muestra y método de muestreo

Se muestrearon aleatoriamente rodales con diferentes edades y calidades de sitio, se establecieron 138 parcelas temporales de 500 m² y se midieron los diámetros de todos los árboles a 1, 30 m sobre el nivel del suelo y la altura; lo que permitió identificar los árboles tipos de cada unidad de muestreo.

Medición de la Biomasa del fuste seco sin corteza.

En este estudio se derribaron y cubicaron rigurosamente 138 árboles tipo de *Pinus maestrensis* Bisse con el objetivo de determinar el peso de la biomasa del fuste, según los criterios de Brown *et al.*, (1989); González, (1989); Brown *et al.*, (1992); Vidal, 1995; Brown, (1997); Dauber *et al.*, (2008); Locatelli y Leonard, (2001); Acosta *et al.*, (2002); Montero *et al.*, (2004), y Benítez, (2006), que han empleado este tipo de muestreo para estimar la biomasa aérea.

Para realizar la recopilación de la información en el campo, fueron utilizados los siguientes instrumentos y medios de trabajo: hacha, motosierra, cinta diamétrica y cinta métrica (30 m)

Los árboles fueron talados, desramados y troceados a un metro. La determinación de la biomasa de fuste de cada árbol se obtuvo sobre la base de la determinación del volumen por la fórmula de Smalian y la utilización de la densidad básica (610 Kg/m³) de la madera determinada por Ibáñez *et al.* (2002), donde se utilizó, para ello, la ecuación:

$$BFSSC = V_{fsc} * D_b$$

donde:

BFSSC : Biomasa del fuste seco sin corteza.

V_{fsc} : Volumen del fuste sin corteza.

D_b : Densidad básica.

La estimación del nitrógeno retenido en el fuste se obtuvo mediante la ecuación:

$$NRF = BFSSC * C_{nm}$$

donde:

NRF: Nitrógeno retenido en el fuste

BFSSC: Biomasa del fuste seco sin corteza

C_{nm}: Coeficiente de nitrógeno en la madera (0,0012), para la especie determinado por Mercadet *et al.* (2011).

Análisis estadístico

Para estimar el nitrógeno retenido se utilizaron los modelos. (Tabla 1)

Tabla 1. Modelos probados para estimar el carbono retenido.

Modelo	Expresión matemática del modelo
Lineal	$Y = a + b \cdot X$
Polinomio de 2 ^{do} Grado	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$
Polinomio de 3 ^{er} Grado	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3$
Logarítmico	$\ln Y = a + b \cdot \ln X$

Fuente: Elaboración propia.

donde:

a: Constante.

b, c y d: Coeficientes de regresión.

Y: carbono retenido en el fuste seco sin corteza (kg).

X: diámetro normal (cm).

Para el estudio de la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron los criterios estadísticos reportados por Furnival (1961), Podran *et al.* (1997), Alder (1980), Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003), Torres y Ortiz (2005).

1. Coeficiente de determinación (R^2): declara que porcentaje de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables predictoras.
2. Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{ajust}): es una corrección o ajuste del coeficiente de determinación original de acuerdo a los grados de libertad del modelo.
3. Sesgo o Diferencia agregada (DA): evalúa la desviación del modelo con respecto a los valores observados. Error medio cuadrático (CME): informa sobre la precisión de las estimaciones.
4. Error medio en valor absoluto (EMA): da una idea de la magnitud media de los errores independientemente de su signo.
5. Significación estadística del modelo: expresa el error $F_{(1, n-1)}$ para el modelo.
6. Significación estadística de los parámetros de los modelos: expresa el error para cada parámetro del modelo.
7. Error estándar del modelo (EEE): permite determinar los intervalos de confianza para el modelo.

8. Error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo: permite determinar los intervalos de confianza para los parámetros.

9. Estadístico Durbin- Watson (D-W): revisa los residuos para determinar si hay correlación significativa

10. Índice de Furnival (IF): es utilizado para la comparación de ecuaciones de regresión con transformación de la variable independiente, teniendo en cuenta que se utilizaron modelos con y sin transformaciones logarítmicas.

Para el ajuste de los modelos se utilizaron 73 muestras y para la validación 65 muestras. Se utilizó un nivel de significación del 5% para el análisis de varianza de las regresiones, donde se utilizaron los programas estadísticos STATGRAPHICS Plus versión 5.1 (1995) e InfoStat (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa que todos los modelos probados tienen coeficiente de determinación y coeficiente de determinación ajustado por encima del 88 %, con un alto nivel de exactitud y precisión. Se escogió el modelo logarítmico: (Tabla 2)

$$\ln NRF = -96725 + 2,5208 \ln d$$

$$NRF = e^{-9,6725 + 2,5208 \ln d}$$

por mostrar los parámetros significativos, menor valor de índice de Furnival y el estadístico de DurbinWatson no significativo.

Tabla 2. Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para el nitrógeno retenido en el fuste.

Modelo	Lineal	Polinomio 2 ^{do} Grado	Polinomio 3 ^{er} Grado	Logarítmico	
R ²	88,7	94,7	94,7	97,8	
R ² ajustado	88,6	97,6	94,5	97,8	
DA	0,00	-0,01	-0,00	0,01	
E E E	±0,11	±0,08	±0,08	±0,16	
EMA	0,0915	0,0517	0,0513	0,1237	
CME	0,0122	0,0058	0,0059	0,0247	
D-W	1,90 NS	1,88 NS	1,87 NS	1,85 NS	
IF	3,7037	2,5528	2,6132	1,5345	
P- valor	***	***	***	***	
Parámetros	a	-0,4492 ±0,0394 ***	0,1119 ±0,0697 NS	0,0719 ±0,1730 NS	-9,6725 ±0,1529 ***
	b	0,0297 ±0,0013 ***	-0,0153 ±0,0052 **	-0,0101 ±0,0211 NS	2,5408 ±0,0460 ***
	c	---	0,0008 ±0,00009 ***	0,0006 ±0,0008 NS	---
	d	---	---	0,000002 ±0,000009 NS	---

*** 0,001 ** 0,01 * 0,05 NS- no significativo

Fuente: Elaboración propia.

Entre los gases de efecto de invernadero se encuentra el nitrógeno. La actividad humana ha alterado el volumen y, la proporción de este gas en la atmósfera, provoca que el volumen del gas vaya aumentando y, por lo tanto, sus efectos en el calentamiento global, y el conocimiento de los montos de nitrógeno retenido por los bosques, permitirán conocer la contribución de estos ecosistemas a la captura y reducción de las emisiones.

Se muestra el comportamiento del modelo logarítmico ajustado al nitrógeno retenido en el fuste. Se destaca de manera general el agrupamiento de los valores observados a diferente diámetro normal, así como un diámetro medio por hectárea de 32 cm diámetro, donde, según la tabla de tasación de los bosques de Cuba, la especie alcanza su máxima madurez con una clase de edad V y 21 años de edad sería 0,420 Kg retenidos en el fuste. (Figura 1)

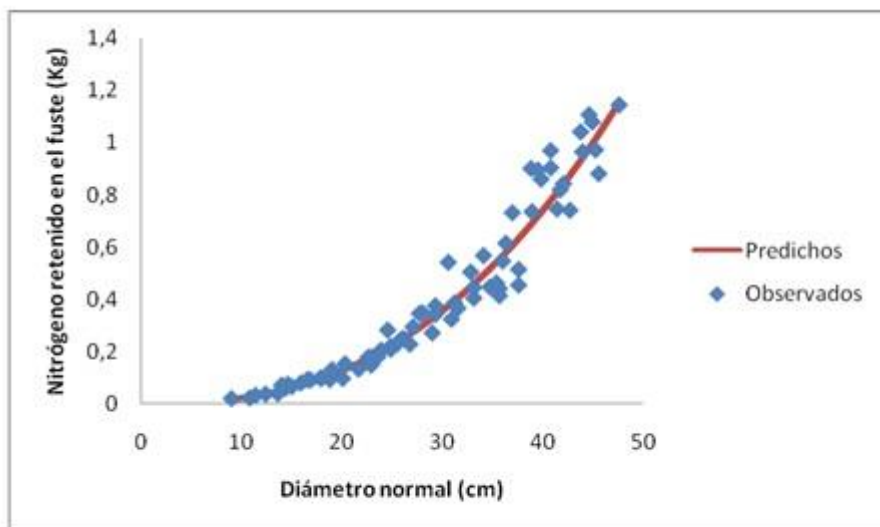


Fig. 1. Modelo logarítmico ajustado al nitrógeno retenido en el fuste.
Fuente: Elaboración propia.

A partir del modelo logarítmico se realizó las estimaciones del nitrógeno retenido en el fuste (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación del nitrógeno retenido en el fuste seco sin corteza.

D _{1,30} (cm)	NRF (kg)	D _{1,30} (cm)	NRF (kg)	D _{1,30} (cm)	NRF (kg)	D _{1,30} (cm)	NRF (kg)
9	0,017	19	0,112	29	0,327	39	0,695
10	0,022	20	0,127	30	0,357	40	0,741
11	0,028	21	0,144	31	0,388	41	0,788
12	0,035	22	0,162	32	0,420	42	0,839
13	0,043	23	0,182	33	0,454	43	0,890
14	0,051	24	0,202	34	0,490	44	0,944
15	0,061	25	0,225	35	0,528	45	0,990
16	0,072	26	0,248	36	0,567	46	1,060
17	0,084	27	0,273	37	0,608	47	1,120
18	0,097	28	0,299	38	0,650		

D_{1,30}: diámetro normal NRF: nitrógeno retenido en el fuste seco sin corteza

Fuente: Elaboración propia.

El nitrógeno leñoso retenido en la madera según UNAM (2006) puede contribuir mucho más al almacenamiento de carbono, que el carbono retenido en el suelo.

CONCLUSIONES

El modelo de mejor ajuste para la estimación del nitrógeno retenido en el fuste seco sin corteza resultó:

$\ln NRF = -9,6725 + 2,5208 \ln d$

$NRF = e^{-9,6725 + 2,5208 \ln d}$

El empleo de este modelo en la práctica social tiene una contribución en la elaboración de las estrategias a nivel de país para la mitigación del cambio climático y el efecto invernadero por parte de las plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse en la provincia Granma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, M.; VARGAS J.; VELÁSQUEZ, A.; ETCHEVER, J. D. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Revista Agrociencia*. **36**(6), 725-763.
- ALDER, D. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, Italia: Estudios FAO Montes 22/2, 1980.
- BENÍTEZ, J. Y. *Estimación de la biomasa total en plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst de la provincia de Camagüey*. Tesis Doctoral inédita en ciencias Forestales, Pinar del Río, 2006.
- BROWN, S.; GILLESPE, J. R.; AND A. E. LUGO. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *For. ASci*. 1989, **35**(4), 881-902 [en línea]. Disponible en: <http://www.winrock.org/ecosystems/files> [Consulta 30 de agosto 2012]. PDF
- BROWN, S.; LUGO, A. E. AND L. R. IVERSON. Processes and lands for sequestering carbon in the tropical forest landscapes. In Wisniewski j. y Lugo A.E. (eds.), *Natural sinks of CO₂. Water, air and soil pollution*, 1992, 64, 139-155.
- BROWN, S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. Illinois, USA: Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois, Urbana, 1997.
- CICERONE, R. J. Analysis of source and links of atmospheric nitrous oxide (N₂O). *Journal Geophysical Research*, 1989, 94 p.
- CRUTZEN, P. J. Atmospheric chemical processes of nitrogen, including nitrous oxide. In: Delwiche CC (ed), *Denitrification, Nitrification and Atmospheric Nitrous Oxide*, Wiley, New Cork, 1981, p. 17- 44.
- DAUBER, E.; TERÁN, J. I.; Y GUZMÁN, R. 2008. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* **1**(1), 1-10. [en línea]. Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2>. [Consulta 29 de agosto 2012]. PDF
- FURNIVAL, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *For. Sci.* **7**, 337- 34.
- GONZÁLEZ, I. *Tablas ponderadas para la estimación de la biomasa de Rebollo (Quercus pyrenaica Willd), en la provincia de León*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto de Investigaciones Agrarias, 1989.
- GUERRA, C. W. *Estadística*. Segunda reimpresión. La Habana, Cuba: Félix Varela, 2003.
- HOUGHTON, J.T., G.J. JENKINS, AND J.J. EPHRAUMS, eds. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate*

- Change by Working Group I*. Great Britain, New York, NY, USA, and Melbourne, Australia: Cambridge University Press, 1990.
- IBÁÑEZ, A. et al... *Propiedades y usos de 50 especies maderables que crecen en Cuba*. Propuesta a premio Academia, 2002.
 - INFOSTAT. *InfoStat, versión 2008*. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 2008.
 - KIVISTE, A, J. G. et. al. *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, 2002.
 - LOCATELLI, B. Y LEONARD, S. Un método para medir carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile) *Forêts des Tropiques*, 2001, **276** (1), 69-90.
 - MERCADET, A, et al. *Coeficiente de carbono y nitrógeno en la madera y corteza de especies forestales arbóreas cubanas*. 2011. [en línea] Disponible en: http://bva.fao.cu/pub_doc/Reposit/cuf0337s.pdf [Consulta: 30 de abril 2012]. PDF
 - MOGENA, O. et al. *Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal. 2006- 2015*. Bayamo. Cuba: Empresa Forestal Integral, 2007.
 - Montero, G. et al. Fijación del CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd en los montes «Pinar Valsain» y «Matas Valsain». *Revista de Investigación Agraria. Sistema y Recursos Forestales*, 2004, **13** (2), 399-416.
 - MOSIER, A. R.; D. W. et al. CH₄ and N₂O fluxes in Colorado shortgrass steppe. I. Impact of landscape and nitrogen addition, *Global Biogeochemical Cycles*, 1996, 10, 387-399 p.
 - NORMAL RAMAL 595. *Tratamientos silviculturales*. Ministerio de la Agricultura. Cuba, 1982, 25 p.
 - PRODAN, M. et al. *Mensura Forestal: Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible*. San José. Costa Rica, 1997.
 - TORRES, V. Y ORTIZ, J. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. *Rev. Cubana Cien. Agríc.* 2005, 39, 397.
 - UNAM. *Secuestro de carbono en bosques. El papel del suelo*. Argentina: Instituto de Ciencias ambientales y Desarrollo sostenible. Universidad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. .html document. 2006.
 - VIDAL, A. *Estudio de las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa de copa de coníferas de la provincia Pinar del Río*. Tesis Doctoral inédita en ciencias Forestales, Pinar del Río. 1995.

Recibido: 19 de enero de 2015.

Aceptado: 5 de marzo de 2015.

Wilmer Toirac Arguelle. Estación Experimental Agro Forestal. Baracoa. Paso Cuba, Km12 Carretera a Guantánamo. Correo electrónico: wilmer@forestales.co.cu