

ESTIMACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LAS PLANTACIONES DE *BAMBUSA VULGARIS* SCHRADER EX WENDLAND EN ÁREAS DEL BOSQUE MODELO SABANAS DE MANACAS, VILLA CLARA, CUBA

ESTIMATE OF DASOMETRIC VARIABLE PLANTATIONS OF *BAMBUSA VULGARIS* SCHRADER EX WENDLAND IN MODEL FOREST MANACAS'S SAVANNA, VILLA CLARA, CUBA

M.Sc. ARMANDO SOLANO-CABRERA,¹ DR.C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS¹ Y DR.C. CRISTÓBAL RÍOS-ALBUERNE²

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17 B y 17 C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba

² Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba

RESUMEN

Con el objetivo de estimar las variables dasométricas en las plantaciones de *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland, bajo las condiciones del Bosque Modelo Sabanas de Manacas, localizado en la provincia de Villa Clara, región central de Cuba, se realizó un estudio en plantaciones de cinco años de edad, establecidas sobre un suelo ferralítico amarillento, donde se levantaron parcelas temporales de muestreo para determinar el número de individuos por clases diamétricas, midiéndose las variables dasométricas, diámetro externo del culmo, diámetro interno del culmo, volumen externo del culmo, volumen interno del culmo y volumen sólido. Con el empleo de la modelación matemática se evaluaron tres modelos de regresión: lineal, polinomio de segundo y tercer grado. Para la altura total del culmo el modelo de mejor ajuste resultó el Lineal, para el diámetro interior del culmo el modelo Polinomio de segundo grado, y para el volumen sólido del culmo el modelo Polinomio de tercer grado.

Palabras claves: *Bambusa vulgaris*, Bosque Modelo, variables dasométricas.

INTRODUCCIÓN

Bambusa vulgaris, conocida en el mundo como bambú común (Inglaterra), bambú imperial (Brasil), bambú amarillo (Colombia) [Dransfield

ABSTRACT

In order to estimate forest variables in the plantations of *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland under the terms of the Model Forest Manacas Sheets located in the province of Villa Clara, in central Cuba. A study was conducted in plantations five years old, established on a yellowish Ferralitic where temporary sample plots were erected to determine the number of individuals per diameter class, measuring the dasometric variable, external diameter of the culm, inner diameter of culm, external volume of the culm, culm and internal volume of the solid volume. Linear, polynomial of 2nd and 3rd grade: With the use of mathematical modeling three regression models were evaluated. For the total height of culm model was the best fit linear to the inner diameter of the culm 2nd grade polynomial model and the solid volume of the culm the 3rd grade polynomial models.

Keywords: *Bambusa vulgaris*, Model Forest, dasometric variable.

and Widjaja, 1995] and caña brava (Cuba), es quizás la especie exótica más cultivada en Cuba y en la región del Caribe, donde se ha convertido en

una importante fuente proveedora de madera con múltiples usos. Este recurso forestal da origen a una gran gama de productos que ya sobrepasan los cinco mil en todo el mundo; unos son desarrollados a pequeña escala, a veces con fines de autoconsumo, y otros mediante procesos de transformación industrial llegan al mercado para usos masivos, con gran incidencia de forma notable en la economía de Asia, en particular en la República Popular China [Sánchez y Villavicencio, 2006].

Todos los impactos positivos, servicios ambientales, alimentarios, energéticos y otras contribuciones de importancia económica están relacionadas de una u otra forma con sus variables dasométricas, de ahí la importancia de su caracterización y comportamiento en diferentes condiciones de sitio para hacer un uso sostenible de dicho recurso.

A pesar de una presencia de bambú en Cuba, que va más allá de dos siglos, aún resultan insuficientes los estudios de caracterización dasométrica, morfológica, taxonómica y su regionalización ambiental con criterios científicos que puedan constituir el soporte de una estrategia como la que está planteando el país para el desarrollo del bambú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en áreas del Bosque Modelo Sabanas de Manacas (BMSM), localizado en 22°39'25,9" latitud norte y 80°17'43,43" longitud oeste, en la región central de Cuba, en la provincia de Villa Clara, al noroeste de la ciudad de Santa Clara, con una extensión superficial de 1717 km²; de ellos, 880,1 km² corresponde al municipio de Santo Domingo y 836,9 km² al municipio de Corralillo, representando el 20,4 % de la superficie total de la provincia. El relieve es generalmente llano, predominando en una buena parte de su territorio las pendientes inferiores al 15 %.

Suelo

El suelo sobre el cual se desarrollan las plantaciones estudiadas es ferralítico amarillento, según los criterios de la IV Clasificación Genética de los Suelos de Cuba [Hernández *et al.*, 1999].

Caracterización de las principales variables climáticas de la localidad

Según la clasificación de Köppen-Geiger [Kottek *et al.*, 2006], el clima predominante es el tipo

cálido tropical estacionalmente húmedo, con estaciones lluviosas en el verano.

Temperatura

Los valores medios anuales de la temperatura están entre los 19-24 °C, siendo la humedad relativa media alta, con promedios cercanos al 80 %.

Vientos

Los que predominan son los de componentes del este, aunque en el verano giran más al sudeste.

Precipitación

El elemento que más varía en el clima es la lluvia con promedios de 1440 mm, reconociéndose dos temporadas fundamentales: lluviosas (mayo a octubre) y poco lluviosas (noviembre a abril). En la primera ocurre aproximadamente el 80 % del total de lluvia anual por año. Los mayores volúmenes de lluvia están asociados a fenómenos meteorológicos como ciclones tropicales, frentes fríos y ondas tropicales, o tienen su origen en el calentamiento diurno.

Selección de la muestra

Para el estudio se seleccionaron dos sitios con idénticas características edafo-climáticas donde se desarrolla la especie *Bambusa vulgaris* de cinco años de edad, a un marco de plantación de 7 m x 7 m.

Sitio 1: con una superficie de 118,3 ha.

Sitio 2: con una superficie de 59,4 ha.

Colecta de datos

Se utilizó el mapa forestal 1:25 000 para ubicar las parcelas temporales de muestreo en los sitios seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple, Se muestreó el 3 % de área según el criterio de la Norma Ramal 595 (1982).

Para cada plantón seleccionado se determinó el número de individuos representados por clases diamétricas, y se tomaron las siguientes variables dasométricas:

Diámetro externo del culmo a 1,30 (m) del suelo

Diámetro interno del culmo (mm)

Altura total del culmo (m)

A partir de estas variables se calculó:

Volumen externo del culmo (m³):

$$VE = \frac{\pi}{4} \times DE^2 \times AT$$

DE: Diámetro externo (m)

AT: Altura total (m)

Volumen interno del culmo (m³):

$$VI = \frac{\pi}{4} \times DI^2 \times AT$$

DI: Diámetro interno (m)

Volumen sólido del culmo (m³): VS = VE - VI

Análisis estadísticos

Se realizó la Prueba T para dos muestras independientes para las variables dasométricas.

Para la modelación matemática de la altura total de culmo, diámetro interno del culmo, volumen sólido del culmo, se seleccionaron los modelos:

Modelo Lineal $y = a + bx$

Modelo Polinomio de segundo grado

$$y = a + bx + cx^2$$

Modelo Polinomio de tercer grado

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

Para la altura total de culmo

y: Altura total del culmo (m)

x: Diámetro externo del culmo (mm)

a, b, c y d: Parámetros del modelo

Para diámetro interno del culmo

y: Diámetro interno del culmo (mm)

x: Diámetro externo del culmo (mm)

a, b, c y d: Parámetros del modelo

Para el volumen sólido del culmo

y: Volumen sólido del culmo (m³)

x: Volumen externo del culmo (m³)

a, b, c y d: Parámetros del modelo

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

1. *Coefficiente de determinación (R²):* declara qué porcentaje de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables predictoras.
2. *Coefficiente de determinación ajustado (R²ajust):* es una corrección o ajuste del coeficiente de determinación original de acuerdo a los grados de libertad del modelo.
3. *Diferencia agregada (DA) o sesgo:* evalúa la desviación del modelo con respecto a los valores observados.

4. *Error medio cuadrático (CME):* informa sobre la precisión de las estimaciones.
5. *Error medio en valor absoluto (EMA):* da una idea de la magnitud media de los errores independientemente de su signo.
6. *Significación estadística del modelo:* expresa el error α para el modelo.
7. *Significación estadística de los parámetros de los modelos:* expresa el error α para cada parámetro del modelo.
8. *Error estándar del modelo:* permite determinar los intervalos de confianza para el modelo.
9. *Error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo:* permite determinar los intervalos de confianza para los parámetros.
10. *Estadístico Durbin-Watson (D-W):* revisa los residuos para determinar si hay correlación significativa.

Para el ajuste del modelo se utilizaron 250 muestras. Se emplearon los programas estadísticos Statgraphics Plus versión 5.1 (1995) e InfoStat (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *Tabla 1* se aprecia que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los dos sitios estudiados en cuanto al comportamiento de las variables dasométricas, permitiendo unificar las muestras para aumentar el tamaño muestral. Esta situación trae consigo que la media \bar{X} de la muestra aleatoria de tamaño (n) tiende a la μ media poblacional y varianza finita σ^2 [Millar *et al.*, 1992; Anon, 2009], obteniendo estimaciones con mayor exactitud.

TABLA 1

Prueba t para dos muestras independientes para las variables dasométricas en las parcelas de *B. vulgaris*

Variables dasométricas	Sitios	Media	Valor T	p - valor
AT (m)	1	4,90	-0,56	0,5783
	2	5,30		
DE (mm)	1	56,84	-0,56	0,5765
	2	58,87		
DI (mm)	1	36,90	-0,50	0,6174
	2	38,85		
VE (m ³)	1	0,01	0,63	0,5311
	2	0,01		
VS (m ³)	1	0,0039	-0,64	0,5252
	2	0,0030		

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ NS- $P > 0,05$

AT: Altura total del culmo (m)
 DE: Diámetro externo del culmo (mm)
 DI: Diámetro interior de culmo (mm)
 VS: Volumen sólido del culmo (m³)
 VE: Volumen exterior del culmo (m³)

En las *Tablas 2, 3 y 4* se muestran los estadísticos de ajuste y los parámetros de los modelos para la altura total del culmo (AT), diámetro interior del culmo (DI), volumen sólido del culmo (VS) en las plantaciones de *B. vulgaris*.

Respecto a la altura total del culmo, el modelo de mejor ajuste resultó el Lineal, para el diámetro interior del culmo el modelo Polinomio de segundo grado, y para el volumen sólido del culmo el modelo Polinomio de tercer grado, donde se aprecia en todos los casos coeficientes de determinación y coeficientes de determinación ajustados por encima del 99 %, bajos valores de desviación global, error medio absoluto y cuadrado medio del error, con altos niveles de significación de los modelos ($p < 0,001$) y valores adecuados del estadístico Durbin-Watson que indican la independencia de los errores.

TABLA 2
Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros del modelo

Variable respuesta: AT Variable regresora: DE

Modelo		Lineal
R ²		99,9
R ² _{ajustado}		99,9
Diferencia agregada		0,002
Error estándar de estimación		±0,0327
Error medio absoluto		0,0265
Cuadrado medio del error		00011
Estadístico Durbin-Watson		1,46 NS
P-valor		***
Parámetros	a	-6,4440 ±0,0135***
	b	0,1995 ±0,0002***

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ NS-P > 0,05

AT: Altura total del culmo (m)
 DE: Diámetro externo del culmo (mm)

TABLA 3
Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros del modelo

Variable respuesta: DI Variable regresora: DE

Modelo		Polinomio de segundo grado
R ²		99,9
R ² _{ajustado}		99,9

Diferencia agregada		5,17
Error estándar de estimación		±0,0837
Error medio absoluto		0,0721
Cuadrado medio del error		00070
Estadístico Durbin-Watson		1,48 NS
P-valor		***
Parámetros	a	-83,0282 ±0,1541***
	b	3,1989 ±0,0054***
	c	-0,0180 ±0,00004***

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ NS-P > 0,05

DI: Diámetro interior del culmo (mm)
 DE: Diámetro exterior del culmo (mm)

TABLA 4
Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros del modelo

Variable respuesta: VS Variable regresora: VE

Modelo		Polinomio de tercer grado
R ²		99,9
R ² _{ajustado}		99,9
Diferencia agregada		-5,2E-06
Error estándar de estimación		±0,00006
Error medio absoluto		0,00005
Cuadrado medio del error		3,9E-09
Estadístico Durbin-Watson		1,47 NS
P-valor		***
Parámetros	a	-0,0001 ±0,00002***
	b	0,3832 ±0,0102***
	c	31,9225 ±1,3356***
	d	-878,192 ±47,3410***

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ NS-P > 0,05

VS: Volumen sólido del culmo (m³)
 VE: Volumen exterior del culmo (m³)

Las *Figs. 1, 2 y 3* ilustran el ajuste de los modelos, donde se observa el agrupamiento de los valores observados alrededor de la curva de ajuste, indicando la alta homogeneidad de las plantaciones de *Bambusa vulgaris*, lo cual puede estar dado por el desarrollo en iguales condiciones edáfico-climáticas y presentar la misma edad, lo que garantiza la efectividad de los modelos seleccionados.

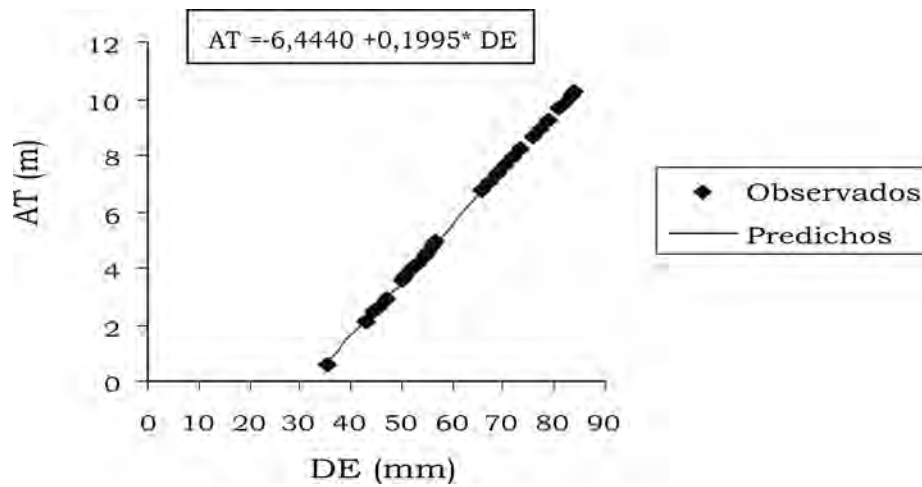


Figura 1. Modelo lineal ajustado a la altura total.

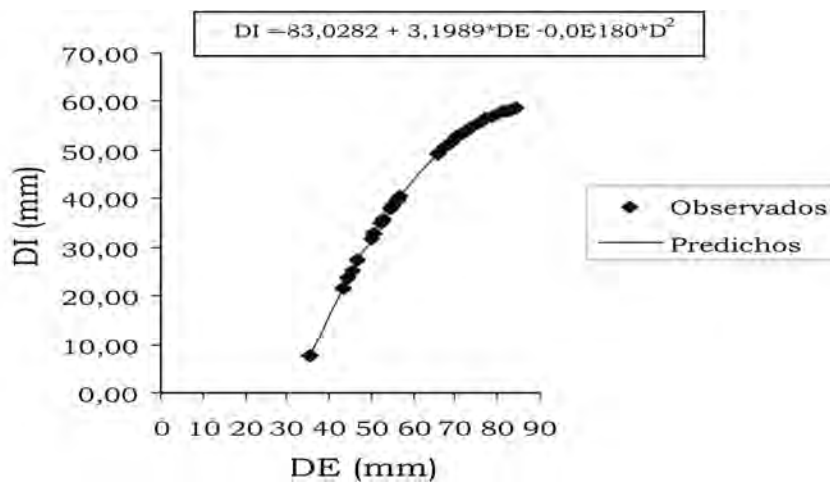


Figura 2. Modelo Polinomio de segundo grado ajustado al diámetro interno del culmo en la base.

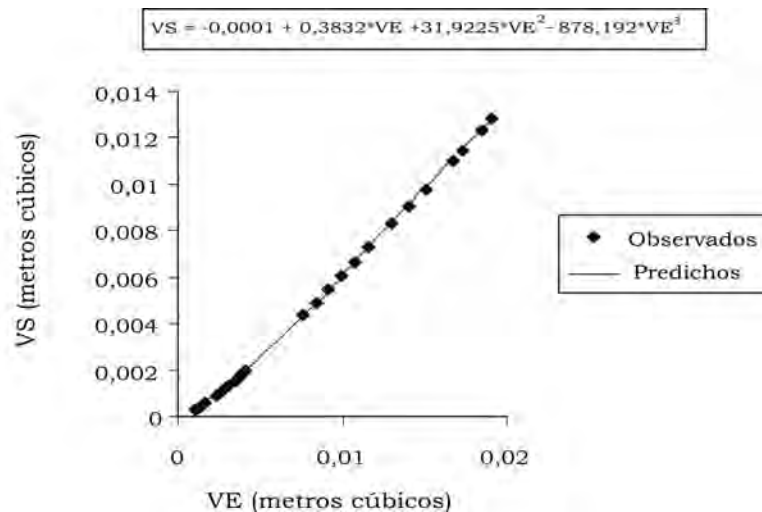


Figura 3. Modelo Polinomio de tercer grado ajustado al volumen sólido.

CONCLUSIONES

- Los modelos de mejor ajuste para la estimación de la altura total del culmo, diámetro interno del culmo y volumen sólido del culmo resultaron el Lineal, Polinomio de segundo grado y tercer grado, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Anon. 2009. Distribuciones muestrales. Disponible en: http://siona.udea.edu.co/~bcalderon/2_TCL.html [Consulta 23 de Diciembre 2008].
- Dransfield, S., Widjaja, E. 1995. Plant Resource of South East Asia No. 7, Bamboos, S. Dransfield y E.A Widjaja (editados) Lieden: Backhuys. 189 p.
- Guerra, C., Cabrera, A., Fernández, L. 2003. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola (CU)* 37(1): 3-10.
- Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D., Rivero, L. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Ciudad de La Habana. Instituto de Suelos, AGRINFOR. 64 p.
- InfoStat. 2008. InfoStat, versión 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Kiviste, A., Álvarez, G., Rojo, A., Ruiz, D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. 190 p.
- Kottek, M., et al. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification Updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15, No. 3, 259-263.
- Morán, J. 2005. El Bambú como material de la construcción: Conferencia dictada en la Universidad de Guayaquil, Facultad de Letras y Filosofía, Escuela de Comercio Exterior.
- Millar, I., Freund, J.E., Johnson, R.A. 1992. Probabilidad y estadística para ingenieros. Prentice- Hall Hispanoamérica, S.A. Cuarta edición. 624 p.
- Normal Ramal 595. 1982. Tratamientos silviculturales. Ministerio de la Agricultura. 25 p.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P. 1997. *Mensura Forestal. Proyecto IICA/ GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible.* 561 p.
- Sánchez, D., Gómez, V. 2006. *Negocios de Bambú. Revista Emprendedores (DO)* Vol. 5(13): 5-17.
- Software estadístico Statgraphics *Plus* version 5.1 sobre Windows, 1995.
- Torres, V., Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas (CU)* 39 (Número Especial).

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Armando Solano Cabrera

Ingeniero Forestal, máster en Agricultura Sostenible, es director de la UCTB Placetas, profesor instructor adjunto de la Universidad Central de las Villas, responsable y participante en proyectos de investigación Innovación y Desarrollo en temáticas de Manejo y Conservación de Bambú y Ratán, Cambio Climático, Conservación y Mejoramiento de Recursos Genéticos Forestales, Agroforestería. Ha participado activamente en eventos nacionales e internacionales.