

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2009

OBTENCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN DE MADERA EN BOLO PARA CUATRO ESPECIE DE LATIFOLIAS DE LA CIÉNAGA DE ZAPATA

Pedro P. Henry Torriente, Juan M. García Delgado, Osvaldo A. Fosado Téllez y Abelardo Domínguez
Goizueta

Ra Ximhai, septiembre-diciembre, año/Vol. 5, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 297-306



e-revist@s

OBTENCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN DE MADERA EN BOLO PARA CUATRO ESPECIE DE LATIFOLIAS DE LA CIÉNAGA DE ZAPATA

OBTAINING OF MATHEMATICAL MODELS FOR THE ELABORATION OF TABLES OF VOLUME OF WOOD IN SKITTLE FOR FOUR BROAD LEAF SPECIES FROM CIENAGA DE ZAPATA

Pedro P. Henry-Torriente¹, Juan M. García-Delgado¹, Osvaldo A. Fosado-Téllez² y Abelardo Domínguez-Goizueta³

¹Instituto de investigaciones forestales. ²Universidad de Pinar del Río. ³Empresa Forestal Integral Macurije.

RESUMEN

En Cuba continua prevaleciendo el empleo de tablas de cubicación inexactas y de procedencia extranjera en las mediciones de las especies maderables que crecen en el país. En el presente trabajo se expresan los resultados de la integración en una ecuación y por ende en una sola tabla de volumen, de cuatro ecuaciones de regresión obtenidas a partir del mismo número de especies independientes: *Lysiloma latisiliquum* Benth. (soplillo), *Bursera simaruba* Sargent. (almácigo), *Calophyllum antillanun* Britton. (ocuje) y *Bucida palustris* Borhidi. (júcaro de Ciénaga); con el objetivo de perfeccionar la cubicación de la madera en bolo en la Ciénaga de Zapata y dar mayor utilidad práctica a los resultados obtenidos. Se utiliza el método del análisis de las covarianzas propuesto por Sigarra (1985). Las ecuaciones obtenidas del conjunto de especies presentaron estadísticos de ajuste que las hacen comparables con las especies individuales. Igualmente, sus sesgos se comportaron con corteza y sin ella inferior al 3 %, siendo inferiores también a los reportados por las tablas utilizadas en la producción que rebasaron el 10%. Finalmente, se hizo un análisis no paramétrico de Kruskal Wallis, para comparar, las ecuaciones del conjunto de especies, la de la especie y el valor real obtenido con los datos independientes de la misma, no encontrándose diferencias estadísticamente significativa entre cada una de ellas. La ecuación propuesta permite mediante el aumento de la exactitud en la cubicación cuantificar volúmenes de madera en bolo que con anterioridad por falta de exactitud de los métodos precedentes no entraban dentro de los cálculos de la madera en bolo que se asimilaba por la industria y que alcanzan la cifra de 1180 m³, lo que representa una ganancia adicional para las unidades productoras de 57 029 pesos, mejorando también las condiciones económicas y laborales del obrero forestal.

Palabras clave: Tablas, Cubicación, Volumen, Especies Latifolias.

SUMMARY

In Cuba prevail the use of inexact and foreign tables of cubing in the measurements of wood species that grow in the country. The present work shows the results of the integration in an equation and in a single table of volume, of four regression equations obtained starting from the same number of independent species: *Lysiloma latisiliquum* Benth. (fan), *Bursera simaruba* Sargent. (almácigo),

Calophyllum antillanun Britton. (ocuje) and *Bucida palustris* Borhidi. (júcaro of Marsh); with the objective to perfect the cubing of the wood in skittle in the Ciénaga de Zapata and to give more practical utility to the obtained results. The method of analysis of covariances proposed by Sigarra (1985) is used. The obtained equations of the group of species presented statistical adjustment that makes them comparable with the individual species. By the same way, their biases behaved with bark and without her inferior to 3%, being inferior also to those reported by the tables used in the production that were higher than 10%. Finally, a nonparametric analysis of Kruskal Wallis was carried out, to compare, the equations of the group of species, of the species and its real value obtained with the independent data, there were no difference statistically significative between them. The proposed equation allows by means of improving the accuracy in the measurement to quantify wooden volumes in skittle that previously for lack of accuracy of the precedent methods they didn't enter inside the calculations of the wood in skittle that was assimilated by the industry and that they reach the 1180 m³, which represents an additional gain for the producers units of 57 029 pesos, also improving the forest worker's economical and labour conditions.

Key Words: Table, cubing, volume, Broad leaf species.

INTRODUCCIÓN

La estimación del volumen a través de tablas, tanto para árboles en pie, como para bolos aunque similares en procedimientos matemáticos tienen diferencias. El primero es un inventario previo, el cual no tiene presión del tiempo y casi todos los modelos son determinados a partir del diámetro a 1,30. El segundo es un inventario post cosecha, el cual exige de rapidez ya que la madera tiene que ser transportada a cargaderos o centros consumidores, en muchos casos para evitar el deterioro de su calidad.

En la práctica forestal, cuando se están explotando los bosques mixtos naturales como es el caso de la Ciénaga de Zapata, donde el sistema de aprovechamiento fundamental del

bolo es la tala selectiva, resulta muy engorroso trabajar con fórmulas o tablas de cubicación para cada una de las especies por separado.

En el proceso de medición de la madera en bolo se mezclan al menos 4 especies; además, el medidor tiene que cuantificar diariamente no solo esta producción, sino otros surtidos. Por tanto el objetivo de este trabajo es verificar la posible unión de los datos para obtener una sola ecuación para todas las especies y así facilitar con el uso de las tablas de volumen el trabajo en el campo y en los aserraderos. Algo similar fue planteado por Alder (1980), el cual señala que para un bosque natural el número de especies es tan elevado que se hace necesario tarifas generales para un grupo de especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la Empresa Municipal Agropecuaria (EMA) “Victoria de Girón” perteneciente al municipio Ciénaga de Zapata provincia de Matanzas que ocupa un área de 477 647 hectáreas de bosques de las cuales el 26,8 % son de bosques productores. Se estudiaron un total de 3 unidades silvícolas en las cuales se concentran los principales potenciales de madera en bolo de las especies *Lysiloma latisiliquum* Benth. (soplillo), *Bursera simaruba* Sargent. (almácigo), *Calophyllum antillanun* Britton. (ocuje) y *Bucida palustris* Borhidi. (júcaro de Ciénaga).

Se tomaron un total de 699 bolos para el ajuste. La muestra se tomó en el patio de los aserraderos haciendo un muestreo al azar simple. Se enumeraron y utilizando el sistema de papelitos en caja se eligieron al azar las muestras a medir. Fueron tomados 210 bolos de la especie soplillo, 210 de almácigo, 179 de ocuje y 100 de júcaro. Como se muestra en la Figura 1 a cada uno de los bolos de la muestra inicial se les midió el diámetro con corteza y sin ella cada 50 cm en los primeros tres metros, partiendo de la base del mismo y cada metro en la porción restante, la medición de este parámetro se hizo con la forcípula, en cada punto el grosor de la corteza se midió utilizando un pie de rey con precisión milimétrica y la longitud con una cinta métrica con precisión en centímetro.

Utilizando el sistema informático estadístico SPSS versión 10.0, se desarrollaron ecuaciones de regresión de dos y tres entradas, empleándose modelos sin transformar y con transformación logarítmica, estos últimos con el objetivo de homogeneizar varianzas (Clark y Saucier, 1990); (Ferreira, 1993); (Prodan et al. ,1997) (Egas, 1998); (Henry, 1999), (Salas, 2001).

Para la obtención del volumen por análisis de regresión se tiene como variables dependientes el volumen con y sin corteza y como independientes, el largo, diámetro en la base, centro rabiza y conicidad calculada y promedio, así como las transformaciones pertinentes.

Con el objetivo de lograr una mayor aplicación práctica para la cubicación de la madera en bolo en la Ciénaga de Zapata, se probó la posibilidad de agrupar los datos de cada una de las especies en una sola regresión. Se utilizó el método de análisis de covarianza que es la técnica que permite examinar si las regresiones coinciden o son diferentes. Según Snedecor y Cochran (1981), citados por Salas, (2000) las regresiones pueden diferir en las varianzas residuales, en pendiente o en elevación. Estos métodos han sido descritos, Alder (1980), Sigarroat (1985), Egas (1998), Muhairwe (1998); por Show citado por Gujarati (1999) y Salas (2000) y (2001).

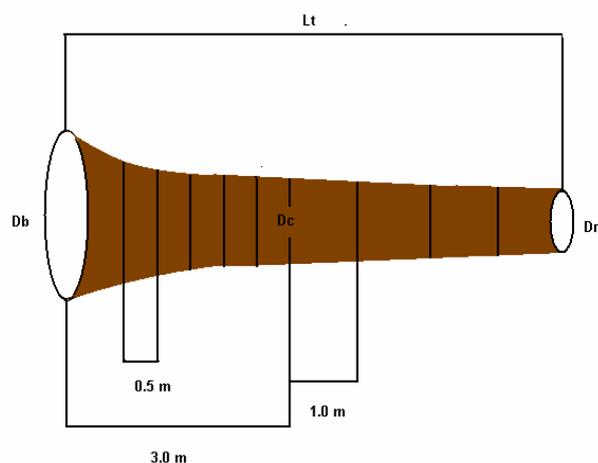


Figura 1. Representación esquemática de los puntos de medición.

El análisis de la covarianza se hizo a través del test general para regresiones coincidentes desarrollado por (Sigarroa, 1985). El modelo utilizado para esta prueba fue el de transformación logarítmica teniendo como variable dependiente el volumen sin corteza y como independientes diámetro en la base, largo y conicidad promedio del bolo.

Test general desarrollado por Sigarroa (1985) para la comparación de ecuaciones de regresión.

$$F = \frac{\frac{SCT - SCP}{2(K - 1)}}{\frac{SCP}{glp}}$$

$$SCP = \sum SCi ; \quad glp = \sum_{i=1}^K ni - k - 1$$

SCT- Suma de cuadrado residual de la regresión resultante de la unión de los datos de todas las curvas analizadas.

SCP - Suma de cuadrado total residual de la regresión reunida de cada una de las curvas.

K - Número de curvas de regresión analizadas.

Glp- Grados de libertad de la regresión reunida.

Sci - Suma de cuadrados residual de cada regresión.

ni - Número de observaciones empleadas en cada regresión

A las ecuaciones obtenidas producto de la unión de los datos se les determinaron la bondad de ajuste y las capacidades predictivas, utilizando los mismos procedimientos empleados para las ecuaciones individuales. Además se compararon también con las tablas y fórmulas utilizadas en

las condiciones de producción.

Se hizo una prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis para cada tipo de especie de bolo, utilizando el volumen sin corteza obtenido a través de la fórmula estimada para la especie, el volumen real sin corteza de la especie (calculado por secciones utilizando la fórmula de Smalian) y la fórmula estimada para el grupo de especies, todo este procedimiento se desarrolló con los datos de la muestra independiente o sea fuera de la muestra de ajuste.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los resultados obtenidos por Henry (2003) correspondientes a los estudios para cada una de las especies, se determinó que el modelo con transformación logarítmica, y variables independientes diámetro en la base, longitud y conicidad promedio del bolo, fue escogido para estimar el volumen con corteza y sin ella debido a que aportaron buenos estadísticos ajustes, además que superan a las otras ecuaciones por su gran aplicación práctica al medir el diámetro en la base que resulta más fácil medir cuando la madera se encuentra apilada. Estos resultados difieren a los obtenidos por Ellis (1984) quien elige una ecuación definida a partir del diámetro en la rabiza, la conicidad promedio y el largo.

El Cuadro 1 muestra las ecuaciones con y sin corteza y el resultado de la bondad de ajuste para cada una de las especies estudiadas, se puede observar que en su totalidad los coeficientes de determinación están por encima del 90 % lo que refleja una alta explicación del volumen a partir de las variables independientes. Igualmente, el

Cuadro 1. Resumen de la bondad de ajuste para las especies individuales.

| E | Ecuaciones | R ² c | IF | |
|---|--|------------------|-------|---|
| S | $LnVbcc = -9.486 + 2.125 * LnDbcc + 0.594 * LnL - 0.275 * LnConB$ | 0.942 | 0.037 | * |
| S | $LnVbsc = -9.631 + 2.143 * LnDbcc + 0.577 * LnL - 0.271 * LnConB$ | 0.938 | 0.035 | * |
| A | $LnVbcc = -9.477 + 2.208 * LnDbcc + 0.431 * LnL - 0.497 * LnConB$ | 0.902 | 0.040 | * |
| A | $LnVbsc = -9.919 + 2.276 * LnDbcc + 0.423 * LnL - 0.492 * LnConB$ | 0.891 | 0.036 | * |
| O | $LnVbcc = -11.056 + 2.807 * LnDbcc - 0.791 * LnConB + 0.284 * LnL$ | 0.912 | 0.048 | * |
| O | $LnVbsc = -11.061 + 2.775 * LnDbcc - 0.792 * LnConB + 0.278 * LnL$ | 0.898 | 0.045 | * |
| J | $LnVbcc = -10.847 + 2.772 * LnDbcc - 0.686 * LnConB + 0.301 * LnL$ | 0.948 | 0.035 | * |
| J | $LnVbsc = -11.055 + 2.770 * LnDbcc - 0.683 * LnConB + 0.253 * LnL$ | 0.939 | 0.034 | * |

* cumple los supuestos del análisis de regresión

• no cumple los supuestos del análisis de regresión

índice de furnival es pequeño y todas las ecuaciones cumplen los supuestos del análisis de regresión.

El hecho de que las ecuaciones hayan sido seleccionadas lo reafirma la siguiente tabla, donde se refleja la validación de cada una con corteza y sin ella, observándose que en todos los casos la desviación global es inferior al 3% y el cuadrado del error inferior a un 12% cuando se hace el análisis con la conicidad promedio del grupo de bolos. Este resultado se hace más confiable si lo comparamos con la tabla utilizada para estimar el volumen del bolo en las condiciones de producción, cuyos valores se reflejan en la tabla 2 y donde en todos los casos la desviación global de las mismas supera los valores de las propuestas.

El resultado de las especies individuales es mucho mejor que los reportados por Henry, (1999) en una misma especies para tablas locales donde se alcanzó hasta un 4,50 % de la desviación global para las especies soplillo y

ocuje. Esto se debió que en estas condiciones solo se tuvo en cuenta el diámetro en la base y el largo y no su conicidad.

Cuando de tablas de volúmenes se trata, la mayor exactitud se lograría, si éstas son elaboradas para cada uno de los sitios (tablas locales), donde los árboles corresponden a una misma especie, tienen correspondencia entre el diámetro y altura y han sido sometidos a un mismo manejo.

En este estudio se consideran las cuatro principales especies de madera en bolo que por su potencial y tradición se aprovechan en la Ciénaga de Zapata, pero existen otras no menos importantes como son el cedro, caoba, jocuma, yagruma, roble, almendro ó cuyá, majagua, entre otras, para los cuales se estaría obligado a elaborar una tabla independiente para estimar su volumen, lo que haría un poco más engorroso el proceso y para lo cuál sería necesario un posterior trabajo.

Cuadro 2. Resumen de la capacidad predictiva para las especies individuales.

| E | Ecuaciones | DG (%) | DA (M ³) | EMA (M ³) | CME (%) |
|---|--|--------|----------------------|-----------------------|---------|
| S | $LnVbcc = -9.486 + 2.125 * LnDbcc + 0.594 * LnL - 0.275 * LnConB$ | ●0.06 | 0.0002 | 0.039 | 5.6 |
| | | ●●2.37 | 0.012 | 0.050 | 7.5 |
| S | $LnVbsc = -9.631 + 2.143 * LnDbcc + 0.577 * LnL - 0.271 * LnConB$ | ●0.26 | 0.010 | 0.034 | 5.0 |
| | | ●●2.49 | 0.013 | 0.055 | 6.8 |
| A | $LnVbcc = -9.477 + 2.208 * LnDbcc + 0.431 * LnL - 0.497 * LnConB$ | ●0.45 | 0.003 | 0.039 | 6.5 |
| | | ●●2.45 | 0.012 | 0.052 | 6.3 |
| A | $LnVbsc = -9.919 + 2.276 * LnDbcc + 0.423 * LnL - 0.492 * LnConB$ | ●1.10 | 0.005 | 0.035 | 5.4 |
| | | ●●3.01 | 0.012 | 0.039 | 4.9 |
| O | $LnVbcc = -11.056 + 2.807 * LnDbcc - 0.791 * LnConB + 0.284 * LnL$ | ●0.63 | 0.004 | 0.051 | 6.5 |
| | | ●●1.59 | 0.009 | 0.095 | 11.4 |
| O | $LnVbsc = -11.061 + 2.775 * LnDbcc - 0.792 * LnConB + 0.278 * LnL$ | ●2.07 | 0.011 | 0.048 | 6.1 |
| | | ●●3.06 | 0.016 | 0.087 | 10.5 |
| J | $LnVbcc = -10.847 + 2.772 * LnDbcc - 0.686 * LnConB + 0.301 * LnL$ | ●0.24 | 0.001 | 0.034 | 5.4 |
| | | ●●0.88 | 0.004 | 0.093 | 12.3 |
| J | $LnVbsc = -11.055 + 2.770 * LnDbcc - 0.683 * LnConB + 0.253 * LnL$ | ●0.89 | 0.004 | 0.038 | 5.8 |
| | | ●●2.16 | 0.009 | 0.087 | 12.0 |

- Resultado con conicidad calculada
- Resultado con conicidad promedio

Cuadro 3. Resumen de la capacidad predictiva para las especies individuales con la tabla utilizada en la producción.

| E | Ecuaciones | DG (%) | DA (M ³) | EMA (M ³) | CME (%) |
|---|---------------------------------|--------|----------------------|-----------------------|---------|
| S | $V = (C^2/4\pi) * L$ (tabla 76) | 13.27 | 0.045 | 0.048 | 5.9 |
| A | $V = (C^2/4\pi) * L$ (tabla 76) | 6.22 | 0.024 | 0.028 | 3.8 |
| O | $V = (C^2/4\pi) * L$ (tabla 76) | 11.09 | 0.055 | 0.068 | 7.8 |
| J | $V = (C^2/4\pi) * L$ (tabla 76) | 9.4 | 0.037 | 0.038 | 4.2 |

Se utilizó para el análisis de las covarianzas el modelo cuyo valor teórico se definió a partir del diámetro en la base, largo y conicidad calculada, con transformación logarítmica, siendo la ecuación utilizada la de volumen sin corteza ya que de esta manera es como se comercializa la misma.

Los resultados individuales se presentan a continuación.

$$\begin{aligned} CT &= 7,972 \\ SCP &= 6,455 \\ GL &= 694 \\ K &= 4 \end{aligned}$$

$$F = \frac{\frac{7,972 - 6,495}{2(4-1)}}{\frac{6,495}{694}}$$

Estos resultados permiten concluir que las regresiones de las cuatro especies son diferentes en cuanto a la variable volumen sin corteza, siendo la $F_{cal} = 27,39$, mayor que la $F_{tab} = 2,60$, lo que indica, al no pertenecer a la región crítica, un tratamiento individual para los bolos de cada una de las especies.

Independientemente de éste resultado, se decidió comprobar la posible combinación de los datos y ajustarlos en una misma regresión, corriendo el riesgo de pérdida de la capacidad predictiva del futuro modelo. Esto reafirma lo planteado por Alder (1980) en un ejemplo de unir regresiones para plantaciones de diferentes zonas geográficas, donde determinó que los datos con diferencias en pendientes e interceptos no pueden combinarse sin una consecuente pérdida de la precisión en las estimaciones. Esto coincide también con lo planteado por Muhairwe (1998) donde al determinar que dos regresiones de diferentes especies de eucaliptos diferían, señaló que una única ecuación de volumen no podría utilizarse para ambas especies sin la introducción de sesgo en las predicciones. Toca valorar si este sacrificio en la precisión se justifica por una mayor aplicación práctica.

En el Cuadro 4 muestra la bondad de ajuste de una ecuación general para las cuatro especies, se observa que el coeficiente de determinación es superior al 90%, manteniéndose muy similar a las especies individuales, lo que reafirma que volumen es altamente explicado por las variables independientes.

Cuadro 4. Resumen de la bondad de ajuste para el conjunto de especies.

| E | Ecuaciones | R ² c | IF |
|----|---|------------------|---------|
| CC | $LnVbcc = -9.539 + 2.206 * LnDbcc - 0.377 * LnConB + 0.498 * LnL$ | 0.93 | 0.046 * |
| SC | $LnVbsc = -9.594 + 2.196 * LnDbcc - 0.347 * LnConB + 0.461 * LnL$ | 0.922 | 0.042 * |

* Cumple los supuestos del análisis de regresión

• No cumple los supuestos del análisis de regresión

En el Cuadro 5, así como en las figuras de la 2 a la 5 se muestra un resumen de los supuestos del análisis de regresión de las ecuaciones seleccionadas, en todos los casos se observa un cumplimiento de los mismos.

Cuadro 5. Análisis de los supuestos de las ecuaciones seleccionadas.

| Ecuación | Supuestos del análisis de regresión | | | |
|----------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| | Normalidad | Multicolinalidad | Homogeneidad | Autocorrelación |
| CC | Se cumple Figura 2 | Se cumple VIF=1,763 | Se cumple Figura 3 | No d=1,852 du=1,799 4-du=2,136 |
| SC | Se cumple Figura 4 | Se cumple VIF=1,767 | Se cumple Figura 5 | No d=1,921 du=1,799 4-du=2,136 |

Gráfico P-P normal de regresión
Variable dependiente: LNVBCC

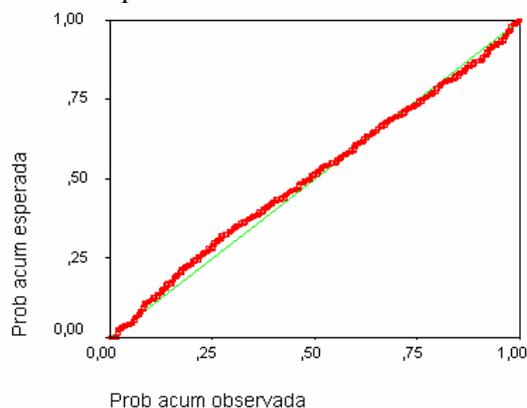


Figura 2. Gráfico de probabilidad normal contra la variable dependiente para el volumen con corteza del conjunto de especies.

Gráfico P-P normal de regresión
Variable dependiente: LNVBSC

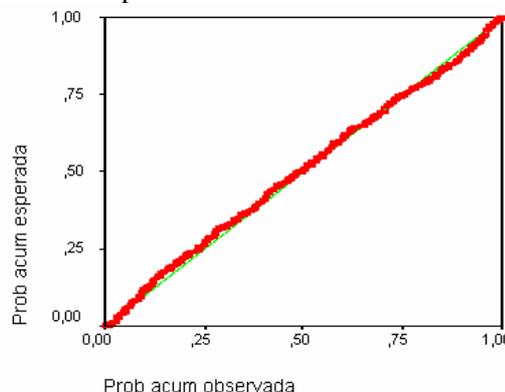


Figura 4. Gráfico de probabilidad normal contra la variable dependiente para el volumen sin corteza del conjunto de especies.

Gráfico de dispersión
Variable dependiente: LnVbsc

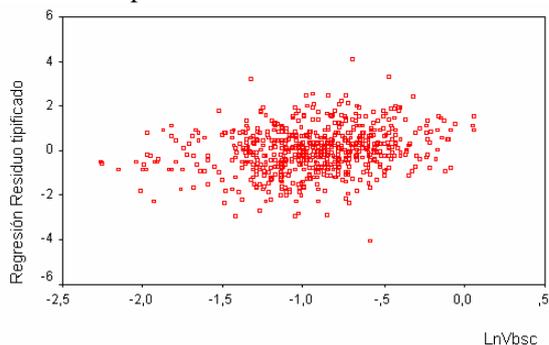


Figura 3. Gráfico de residuos contra la variable dependiente con transformación logarítmica para el volumen del con corteza para el conjunto de especies.

Gráfico de dispersión
Variable dependiente: LnVbsc

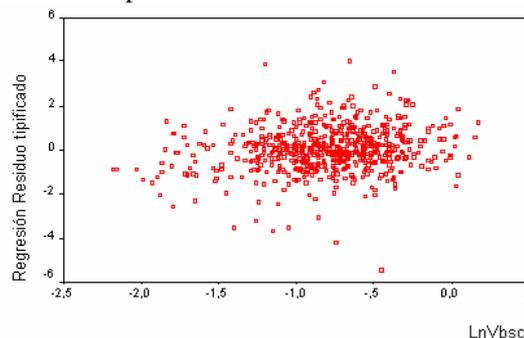


Figura 5. Gráfico de residuos contra la variable dependiente con transformación logarítmica para el volumen con corteza de todas las especies.

Cuadro 6. Comparación de los modelos obtenidos con las fórmulas y tablas utilizadas en las condiciones de producción para el conjunto de especies.

| Ecuación | DG (%) | DA (M ³) | EMA (M ³) | CME (%) |
|---|--------|----------------------|-----------------------|---------|
| $LnVbcc = -9.539 + 2.206 * LnDbcc - 0.377 * LnConB + 0.498 * LnL$ | ●0.80 | 0.003 | 0.044 | 6.5 |
| | ●●2.7 | 0.013 | 0.064 | 8.7 |
| $LnVbsc = -9.594 + 2.196 * LnDbcc - 0.347 * LnConB + 0.461 * LnL$ | ●1.25 | 0.04 | 0.038 | 6.0 |
| | ●●2.9 | 0.05 | 0.053 | 7.7 |
| $V = (C^2/4\pi) * L$ (tabla 76) | 10.0 | 0.039 | 0.043 | 5.5 |
| $V = (\pi/4 * ((db + dr)/2) * L$ (tabla 91) | -15.25 | -0.078 | 0.081 | 10.7 |
| $V = (G_b + G_a)/2 * L$ (Smalian) | -19.95 | -0.108 | 0.110 | 14.1 |
| $V = (G_b + 4 * G_c + G_a)/6 * L$ (Newton) | -2.24 | -0.009 | 0.021 | 3.1 |

- Resultado con conicidad calculada
- Resultado con conicidad promedio

En el Cuadro 6 se muestran los valores de la capacidad predictiva de las ecuaciones seleccionadas, las tablas y fórmulas utilizadas en las condiciones de producción. Como bien se puede observar la tabla de 1976 subestima el volumen en un 10 % coincidiendo con los resultados de cada una de las especies reportados por Henry (2003). Por otra parte la tabla de 1991 muestra una sobrestimación de los volúmenes de -15,25 %, siendo un poco más sesgadas la fórmula de Smalian con valores hasta -19,95 %. Similares resultados fueron obtenidos por Egas (1998) que al comparar las ecuaciones del *Pinus caribaea* con las tablas utilizadas en la producción, los sesgos de esta última fueron muy superiores. Los errores cuadráticos medios llegaron hasta un 14 % superiores a las ecuaciones propuestas donde llegaron a un 8,7 %. Estos resultados se consideran buenos si los comparamos con los resultados obtenidos por Salas (2001) en el ajuste de latifoliadas de los bosques Chileno cuyos resultados oscilaron entre un 15 y 25 %.

Esto reafirma la inexactitud de estas fórmulas y tablas cuando la forma del fuste no es un cilindro o un paraboloides de segundo grado. De todas las fórmulas validadas, la Newton resultó ser la de menor sesgo y error con -2,24 % y 3,1% respectivamente, lo que demuestra su exactitud para cualquier forma del fuste.

En sentido general las fórmulas utilizadas en las condiciones de producción necesitan del

diámetro sin corteza para la estimación del volumen, sin embargo las ecuaciones obtenidas lo predicen a partir del diámetro con corteza, aspecto éste de mucha utilidad en la producción pues, el descortezado siempre consume tiempo que hace que la medición sea muy engorrosa.

Finalmente se hizo una prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis para cada tipo de especie de bolo, utilizando el volumen sin corteza obtenido a través de la fórmula estimada para la especie, la fórmula estimada para el grupo de especies y el volumen real sin corteza de la especie (calculado por secciones utilizando la fórmula de Smalian), todo este procedimiento se desarrolló con los datos de la muestra independiente o sea los de validación. Al igual que en casos anteriores las muestras de volúmenes sin corteza, así como los calculados para cada una de las especies no siguen una distribución normal, siendo la probabilidad en todos los casos menor que la significación $P < 0,05$. Los resultados que se observan en los cuadros 7 y 8, se reflejan además del análisis de varianza, las comparaciones múltiples utilizando el estadístico Student-Newman-Keuls (SNK), indicando para cada una de las especies la no-existencia de diferencias significativas entre las fórmulas de estimación volumen con un nivel de significación de un 5 %, lo que demuestra que la ecuación obtenida del conjunto de especies puede ser utilizada para la estimación del volumen de las especies individuales, reafirmando él porque de la unión de los datos.

Cuadro 7. Prueba no paramétrica de Kruskal - wallis para las diferentes especies.

| | Especies | | | |
|---------------|----------|---------|---------|---------|
| | Volumen | Volumen | Volumen | Volumen |
| Chi-cuadrado | 2.402 | .640 | 2.747 | .783 |
| gl | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Sig. asintót. | .301 | .726 | .253 | .676 |

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Tipo de fórmula

Cuadro 8. Comparaciones múltiples para las diferentes especies.

Variable: volumen sin corteza

Student-Newman-Keuls

| | soplillo | Almácigo | Ocuje | Júcaro |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| N | 70 | 65 | 35 | 36 |
| | Subconj para alfa = .05 |
| Tipo de formula | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Conjunto especie | .374701 | .403780 | .502286 | .429944 |
| Volumen real | .385407 | .07611 | .544786 | .437758 |
| Especie | .403784 | .419902 | .558143 | .439444 |
| Sig. | .568 | .801 | .248 | .961 |

Este resultado permite llegar a la conclusión de que la unión de las regresiones, no ocasionó pérdida en la capacidad predictiva de las ecuaciones, sino más bien reflejó un valor bastante aceptable para datos independientes. Esto se debe en primera instancia a que se utilizó una muestra representativa que abarcó varias zonas dedicadas a la tala selectiva y un tamaño superior de observaciones por variables independiente que tanto para las especies individuales como para el conjunto de especies supera lo planteado por Hair y Col (1999) de 20 observaciones por variable independiente, lo que redundó en ecuaciones con alta bondad de ajuste y de capacidad de extrapolación. En segundo lugar tiene gran importancia que las diferencias entre las especies se deban más a la longitud que a los diámetros, estos últimos con una mayor influencia en la estimación del volumen del bolo. También es de especial consideración que la variabilidad de los datos de validación estén en el rango de los utilizados en la muestra de ajuste.

No obstante al resultado obtenido en este trabajo se debe dejar claro que la unión de las ecuaciones constituye una alternativa para la empresa, por lo que puede elegir la que desee

siempre y cuando le sea mejor para aplicar a sus condiciones.

Los resultados demuestran que el procedimiento actual dado por la tabla de 1976, subestima el volumen real en 1 662,0 m³ de madera en bolo anual, esto significa que las unidades productoras están cuantificando solamente el 90 % de esa producción que representa un total 15 109, m³, recibiendo un valor monetario muy inferior al que realmente tienen sus productos, ocasionándole grandes pérdidas y deterioro en los indicadores económicos.

La ecuación de regresión derivada de este estudio y que se propone aplicar en las condiciones de producción no es exacta, sino que su volumen varía con respecto al real subestimándolo en 2,9 %, magnitud inferior a la tabla existente, lo que representa un promedio anual de 482,0 m³ de madera en bolo para cada especie involucrada en el estudio, cuantificando un total anual de 16 138,0 m³. Este resultado revela que con el empleo de la ecuación de regresión propuesta es posible aumentar la exactitud y disminuir el volumen subestimado en

7,1 %, lo que permite aumentar la producción en 1180,0 m³ de madera en bolo anual.

CONCLUSIONES

- ✓ Las ecuaciones seleccionadas para la estimación del volumen de madera en bolo con y sin corteza para el conjunto de especies estudiadas en la Ciénaga de Zapata son las siguientes.

$$\text{LnVbcc} = -9,539 + 2,206 * \text{LnDbcc} - 0,377 * \text{LnConB} + 0,498 * \text{LnL}$$

$$\text{LnVbsc} = -9,594 + 2,196 * \text{LnDbcc} - 0,347 * \text{LnConB} + 0,461 * \text{LnL}$$

- ✓ Las ecuaciones propuesta para el conjunto de especies proporcionan estimados poco sesgados, con valores de 2,7 y 2,9 % con corteza y sin ella, superior a la tabla utilizada en las condiciones de producción que alcanza un 10%.
- ✓ Los resultados demostraron que al comparar la ecuación del conjunto de especies con las especies individuales en la estimación del volumen de madera en bolo no se encontraron diferencias estadísticamente significativa para un nivel de significación del 5 %. Por lo que resulta más práctico la utilización de la primera al trabajarse con una sola tabla.
- ✓ Introducir en la practica los resultados de esta investigación utilizando las tablas elaboradas al efecto.

LITERATURA CITADA

- Alder, D. 1980. **Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial en los trópicos.** Estudios de la FAO: Montes 22/. Roma. 118 p.
- Clark, A. and J.R. Saucier. 1990. **Tables for estimating total tree-weight, ste weights and volumes of planted and natural southern oines in the Southeas.** Georgia Forestry Comissio. Forest Paper.79. USA.23 p.
- Egas, A. F. 1999. **Apuntes de la Industria del aserrado de la madera.** Universidad de Pinar del Río. Cuba 94p.
- Ellis, j. C. 1982. **A three- dimensional formula for coniferous log volume in New Zelanda.** Forest Research Institute Bulletin N° 20. 12 p.
- Ferreira, O. 1993. **Tablas Preliminares de volumen General y relaciones dasométricas para cuatro especies de *Eucalyptus sp.*** Serie miscelánea de Conseforh Número 45-27/93 Honduras 41 p.
- Gujarati, D. N. 1999. **Econometría.** Segunda Edición.597 p.
- Hair,F. ;R. Anderson; R. Tatham ; W. Black. 1999. **Analisis multivariante.** Quinta edición. Prentice Hall Ibería, Madrid. 796 p.
- Henry, P. P. 1999. **Elaboración de tablas de cubicación de madera en bolo de *Lysiloma latisiliquum* Benth. (soplillo) y *Calophyllum antillanum* Britton. (ocuje) en la Ciénaga de Zapata.** Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. 46 p.
- Henry, P. P. y Col. 2003. **Tablas de cubicación de madera en bolo de las especies *Lysiloma latisiliquum* Benth (soplillo) y *Bursera simaruba* Sargent (almácigo) en la Ciénaga de Zapata.** (Trabajo aprobado para publicar consejo científico).
- Henry, P. P. y Col. 2003. **Modelos matemáticos para estimar el volumen de madera en bolo de las especies *Calophyllum antillanum* Britton. (ocuje) y *Bucida palustris* Borhidi (júcaro de ciénaga).** (Trabajo aprobado para publicar consejo científico).
- Ibañez, A. 1976. **Tabla de cubicación de maderas en bolos Foliaceas.** Instituto nacional de desarrollo y aprovechamiento Forestal. C. Habana.8 p.
- Muhairwe, Ch. K. 1998. **Taper equations for *Eucalyptus Pilularis* and *Eucalyptus Grandis* for north coast in new South Wales, Australia.** Forest Ecology and Management. 113 (1999):251-269.
- Prodan, et al. 1997. **Mensura Forestal. Instituto Iberoamericano de cooperación para la agricultura(IICA), San José.** Costa Rica. 561. p.
- Salas, C. 2000. **Construcción de ecuaciones de volumen para las especies del bosque adulto mixto y renewal de roble (*Nothofagus obliqua* Mirb.) Oerst.) del Predio Rucamanque, IX Región de la Araucanía.** Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile.112 p.
- Salas, C. 2001. **Estimación de volumen mediante un método no destructivo para un relicto del bosque de Roble (*Nothofagus obliqua*), Laurel (*Laurelia supervirens*), Lingue**

(Persea lingue). Departamento de Ciencias Forestales. Universidad de la Frontera. Casilla 54-D. Temúco, Chile. 11 p.

Sigarroa, A. 1985. **Biometría y diseño experimental**. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 793. p.

Pedro P. Henry Torriente

Doctor en Ciencias Ecológicas por la Universidad de Alicante, España. Maestro en Ciencias Forestal por la Universidad de Pinar del Río, Cuba. Ingeniero Forestal por la Universidad de Pinar del Río, Cuba. Profesor Instructor adjunto de la Universidad de Pinar del Río. Asesor de tesis de Maestría y Doctorado; publicaciones recientes en revistas de prestigio nacional e internacional

Juan M. García Delgado

Doctor en Ciencias Forestales por el Instituto Técnico Forestal de Voronezh, Rusia. Profesor Investigador Titular por el Instituto de Investigaciones Forestales.

Especialista en Aprovechamiento e Industria Forestal de la primera y segunda transformación. Experiencia laboral Investigación Científica, Formación profesionistas especialistas. Publicaciones en revistas, libros, autor y coautor en distintas publicaciones. Miembro desde su creación del Consejo Científico del Instituto de Investigaciones Forestales. Presidente de la Comisión de Categorización Científica del Instituto de Investigaciones Forestales y Miembro del Comité Editorial de la Revista Forestal "Baracoa".

Oswaldo A. Fosado Téllez

Profesor Investigador de la Universidad de Pinar del Río. La Habana, Cuba.

Abelardo Domínguez Goizueta

Empresa Forestal Integral Macurije. Profesor Investigador de la Universidad de Pinar del Río, Hermanos Saíz Montes de Oca Pinar del Río código postal 20100. Cuba.