

MODELACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE MADERA ASERRADA EN RELACIÓN CON DETERMINADAS CARACTERÍSTICAS DEL ÁRBOL

MODELATION OF LUMBER RECOVERY FACTORY IN RELATION OF TREE CHARACTERISTICS

M. Sc. AYESA LEOKOUNOZE,¹ DR. C. DANIEL ÁLVAREZ-LAZO,¹ DR. C. IGNACIO ESTÉVEZ-VALDÉS,¹ DR. C. JOAQUÍN ALAEJOS-GUTIÉRREZ,² DR. C. ENRIQUE TORRES-ÁLVAREZ,² DR. C. ANDRADE FERNANDO-EGAS,³ DR. C. CRISTINA PRADES⁴, LIC. MARIA N. GALÁ-SOSA⁵ Y DR. C. HÉCTOR BARRERO-MEDEL¹

¹ Universidad de Pinar del Río. Calle Martí no. 270 Final, C. P. 20100, Pinar del Río, Cuba

² Universidad de Huelva, España

³ Universidad de Maputo, Mozambique

⁴ Universidad de Córdoba, España

⁵ Sucursal CIMEX. Pinar del Río, Cuba

RESUMEN

*El trabajo se realizó en la Empresa Forestal Integral Macurije, ubicada en la provincia de Pinar del Río, Cuba, y con el objetivo de desarrollar un modelo general para predecir los rendimientos en valores de los árboles individuales, utilizando para ello características específicas del árbol que pueden ser determinados con facilidad y que son utilizados en los inventarios forestales. Se ha demostrado el efecto del $D_{1.30m}$, la altura y la conicidad de los árboles sobre los rendimientos en valores de la madera aserrada de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Barret y *Golfari*, exponiendo que el $D_{1.30m}$ reporta la mayor influencia sobre los valores de los productos del árbol. El análisis de la elasticidad de los tres modelos seleccionados sustentados a partir del análisis de la componente principal fue utilizado para examinar el efecto de la característica del árbol y la relación entre los parámetros del modelo.*

Palabras claves: *pino, dimensiones, volumen, correlación, elasticidad.*

INTRODUCCIÓN

Los rendimientos o valor de utilización de la madera como materia prima en las operaciones forestales implican la maximización de valor de los árboles desde el mismo rodal o sitio [Zhang y Lei, 2006].

En el presente trabajo se estudia la utilización de una estrategia de manejo y utilización de los bosques a partir del valor total

ABSTRACT

*The work is carried out in the Forest Enterprise Macurije, located in the county of Pinar del Río, Cuba. It has as objective to develop a general model to predict the yields in values of the individual trees using for it characteristic specific of the tree that can be determined with easiness and that they are used in the forest inventories. The effect of $D_{1.30m}$ has been demonstrated, the height and the tape of the trees on the yields in values of the sawed wood of *Pinus caribaea* var. *Caribaea*; exposing that $D_{1.30m}$ reports the biggest influence on the values of the products of the tree. The analysis of the elasticity of the three selected models sustained starting from the analysis of the main component; it was used to examine the effect of the characteristic of the tree and the relationship among the parameters of the model.*

Key words: *pine, dimensions, volume, correlation, elasticity.*

Steele *et al.* (1994) identifican y exponen siete factores –1) diámetro de la troza; 2) longitud; 3) conicidad; 4) diámetros de ramas; 5) diámetro de copa; 6) longitud de copa; 7) longitud de la troza– que afectan los rendimientos de madera aserrada (RMA) [Kellog y Waren, 1984; Malan, 1988; Aubry *et al.*, 1998; Beauregard *et al.*, 2002; Liu y Zhang, 2005, así como Zhang y Lei, 2006 y Álvarez *et al.*, 2010, coincidiendo con Egas, 2001].

Recientes estudios desarrollados por Zhang y Tong (2005) exponen que el valor de la producción del rodal se determina a partir de la distribución del diámetro a 1,30 m de altura ($D_{1,30}$). Zhang y Lei (2006) utilizan al diámetro ($D_{1,30}$), altura del árbol, conicidad del árbol como variables predictoras de los rendimientos en valor del árbol obtenido a partir de estudios reales en los aserríos.

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo general para predecir los rendimientos en valores de los árboles individuales, utilizando para ello características específicas del árbol que pueden ser determinados con facilidad y que son utilizados en los inventarios forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Empresa Forestal Integral Macurije se seleccionan rodales maduros de *Pinus caribaea* var. *caribaea* con una edad de plantación de

treinta años, seleccionando 106 árboles de diferentes diámetros, que son trasladados al aserradero Combate de la Tenería, de Guane, perteneciente a la misma empresa forestal

Medición de los árboles

- Se midió el diámetro a 1,30 con corteza.
- El diámetro del fuste y los defectos son medidos con intervalo de 1 m a lo largo del fuste. Se obtienen trozas de 3 y 4 m de longitud.
- Altura total.

Estos datos son utilizados para determinar la conicidad del fuste, volumen total y el volumen mercantil de cada fuste.

Métodos de modelación

A partir de los estudios desarrollados por Beauregard *et al.* (2002), Zhang y Tong (2005), se asume que los rendimientos en valores de la madera aserrada a partir de árboles individuales se cuantifican en función del diámetro a 1,30 m, altura total y la conicidad, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$P_j = f(D, H, C)$$

Donde:

P_j : Valores del rendimiento de la madera aserrada a partir de un árbol

D: Diámetro a 1,30 m de altura (cm)

H: Altura total del árbol (m)

C: Conicidad del fuste (cm/m) basado en la altura del árbol hasta los 7 cm de diámetro

TABLA 1
Modelos utilizados para estimar los rendimientos en valor de la madera aserrada

Modelo	Forma del modelo
1	$Y = b_0 + (b_1 * t)$.
2	$Y = b_0 + (b_1 * \ln(t))$.
3	$Y = b_0 + (b_1/t)$.
4	$Y = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^{**2})$
5	$Y = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^{**2}) + (b_3 * t^{**3})$
6	$Y = b_0 * (t^{**b_1})$ o $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 * \ln(t))$
7	$Y = b_0 * (b_1^{**t})$ o $\ln(Y) = \ln(b_0) + (\ln(b_1) * t)$
8	$Y = e^{**} (b_0 + (b_1/t))$ o $\ln(Y) = b_0 + (b_1/t)$
9	$Y = 1 / (1/u + (b_0 * (b_1^{**t})))$ o $\ln(1/Y - 1/u) = \ln(b_0 + (\ln(b_1) * t))$
10	$Y = e^{**}(b_0 + (b_1 * t))$ o $\ln(Y) = b_0 + (b_1 * t)$
11	$Y = b_0 * (e^{**}(b_1 * t))$ o $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 * t)$

Los modelos fueron evaluados a partir de la determinación del coeficiente de determinación R^2 y la media del error absoluto de los

residuos (MAE) de las predicciones, tomando como referencia los trabajos realizados por Liu *et al.* (2007).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (P_j - \hat{P}_j)^2}{\sum (P_j - \bar{P})^2} \qquad MAE = \frac{\sum_{i=1}^m (P_j - \hat{P}_j)}{m}$$

Donde:

P_j y \hat{P}_j : Rendimientos de los valores de madera aserrada observados y predictivos del árbol j
 P : Valor observado medio del rendimiento de madera aserrada para m árboles $j = 1, 2 \dots m$
 m : Número de árboles ($m = 106$ en este estudio)

y explica solo el 3,74 % (Tabla 2), coincidiendo con los resultados de Liu *et al.* (2007).

El componente principal 3 (PC3) fue insignificante. El peso es una variable estadística que cuantifica la variación en un grupo de variables y la cuantificación por un factor particular [Morrison, 1976]. A partir del análisis de los factores de búsquedas (datos de entradas) se puede exponer que el $D_{1,30}$ es la variable de mayor contribución en el PC1, seguido por la altura. Por otra parte, se demostró que la conicidad es la variable de menor contribución, lo que evidencia que el $D_{1,30}$ es la variable más importante que afecta el RVMA entre todas las características del árbol (Fig. 1). Estos resultados son coincidentes con los trabajos desarrollados por Zhang y Tong (2005), Tong y Zhang (2006) y Zhang y Lei (2006), así como Moberg y Nordmark (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo del modelo

El análisis de la componente principal (PCA) [Morrison 1976] conduce a determinar qué característica del árbol manifiesta el mayor impacto sobre el rendimiento en valor de la madera aserrada. El primer componente principal (PC1) del PCA tiene un peso de 34,9821 y explica al 96,24 % de la variación total de los datos, mientras que el PC2 tiene un bajo peso de 1,36

TABLA 2
Resultados del análisis de los componentes principales

	Peso	Proporción total (%)	R ² con RVNA
PC1	34,9821	96,24	0,65
PC2	1,3625	3,74	0,31
PC3	0,0009	0,002	0,24

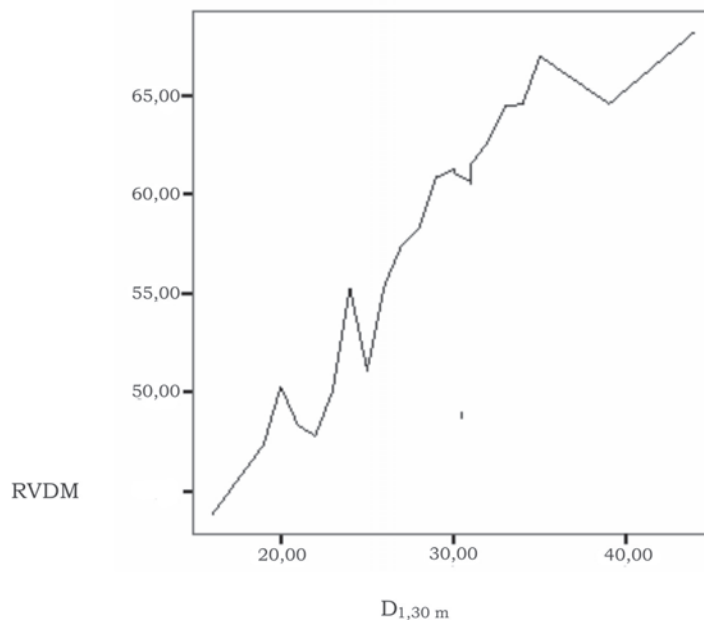


Figura 1. Influencia del $D_{1,30 m}$ sobre los rendimientos en valores de la madera aserrada.

TABLA 3
Modelos ajustados y sus estadísticos de bondad de ajuste y capacidades predictivas para los 11 modelos

Modelo	Modelo o ecuaciones	(Estadísticos de bondad de ajuste y capacidades predictivas)		
		R ²	MAE	Sig.
1	$Y = -7,28774175 + (0,60382136 * D)$	0,64641272	3,08927062	0,00
2	$Y = -107,696475 + (33,4100775 * \ln(D))$	0,64255503	3,10607711	0,00
3	$Y = -59,2048891 + (-11800,25169/D)$	0,62848571	3,16661599	0,00
4	$Y = -14,5996562 + (0,866730904 D) + (0,866730904 D)^2$	0,64707117	3,10133918	0,00
5	$Y = -15,0507288 + (0,81385904 * D) + (0,09 * H^2) + (-2,18^{-5} * C^3)$	0,64807436	3,09692832	0,00
6	$Y = 7,27119601 * (D^{1,02303964})$	0,65498976	0,11435967	0,00
7	$Y = 0,16089255 * (1,2660825^D)$	0,65702344	0,11402212	0,00
8	$Y = e^{(4,50332412 + (-68,5348859/D))}$	0,64856548	0,11541948	0,00
9	$Y = \ln\left(\frac{1}{Y - \frac{1}{U}}\right) = \ln(1,98392079 + \ln(0,02277823) \bullet D)$	0,65498976	0,11435967	0,00
10	$Y = e^{(7,27119601 + (0,02277823 * D))}$	0,65498976	0,11435967	0,00
11	$Y = 0,13752896 * (e^{(0,97747923 * D)})$	0,65498976	0,11435967	0,00
12	$Y = 28,010 + 1,070 * (D_{1.30 m})$	0,646	4,11	0,00

Donde:

D: Diámetro a 1,30 m de altura

H: Altura total

C: Conicidad

U: Valor del límite superior que deber ser un número positivo mayor que el valor máximo de la variable dependiente.

Todos los parámetros en cada modelo fueron estadísticamente significativos para una probabilidad de 0,05 (Tabla 3).

Los modelos analizados muestran elevados coeficientes de correlación y con bajos errores estándares de estimación. El mejor comportamiento respecto a los estadígrafos se observa en el modelo 7, con el coeficiente de determinación de 0,657, y el error estándar de estimación de 0,114, con resultados muy similares a los obtenidos por el 6, 8, 9 10 y 11.

Todos los parámetros en cada modelo fueron estadísticamente significativos para una probabilidad de 0,05 (Tabla 3).

Los modelos analizados muestran aceptables coeficientes de determinación y con bajos valores de la media del error absoluto de los residuos. El mejor comportamiento respecto a los estadígrafos se observa en el modelo 7, con el coeficiente de determinación de 0,657 y el error estándar de estimación de 0,114, con resultados muy similares a los obtenidos por el 6, 8, 9 10 y 11.

Comparación de los modelos

Los modelos finales 6, 7, 8, 9, 10 y 11, así como el modelo polinomio simplificado que se determina a partir de la selección paso a paso, representado en la Tabla 4, son resultados de regresión entre los RVMA y las características del árbol para todos los modelos formados.

TABLA 4
Selección paso a paso a partir del modelo de regresión múltiple

Modelo	Ecuación de regresión	R ²	MAE	Sig.
12	$Y = 28,010 + 1,070 * (D_{1.30 m})$	0,646	4,11	0,00

El modelo 12 fue el mejor predictor del RVMA si se tiene en consideración solo el $D_{1.30\text{ m}}$.

Evaluación de los modelos mediante la utilización del análisis de elasticidad

Relación entre las variables dependientes e independientes

Las relaciones derivadas de los modelos de regresión se pueden utilizar para caracterizar algunas propiedades, entre las que se destacan las elasticidades y la interacción entre las variables dependientes e independientes [Liu *et al.*, 2007].

La elasticidad de los resultados y la elasticidad de la escala se derivan de los modelos de función que asumen la primera derivada de los resultados en relación con las varia-

bles de entrada o predictoras. La elasticidad de los resultados con respecto a las variables predictoras posibilita medir la contribución de cada variable predictora sobre el valor de la variable predictiva. Esto se puede interpretar como el porcentaje de variación o cambio en función del 1 % de cambio en los niveles de salida.

En el modelo 5 se incluyen las tres variables de entrada, donde se tiene un ejemplo de la cuantificación del impacto de un incremento de los valores de entrada (variables predictoras) sobre los valores de salida.

Las elasticidades de las salidas en el modelo 5 en el caso de madera aserrada se ilustran de la siguiente manera:

Para $D_{1.30\text{ m}}$

$$E(P, D_{1.30\text{ m}}) = \left(\frac{\partial P}{\partial D_{1.30\text{ m}}} \right) \left(\frac{D_{1.30\text{ m}}}{P} \right) = b_1 = 0,81385904$$

Para altura del árbol

$$E(P, H) = \left(\frac{\partial P}{\partial H} \right) \left(\frac{H}{P} \right) = b_2 = 0,09$$

Para la conicidad

$$E(P, C) = \left(\frac{\partial P}{\partial C} \right) \left(\frac{C}{P} \right) = b_3 = -2,18 \cdot 10^{-5}$$

En este estudio todos los árboles tienen la misma edad, por lo que el impacto sobre el valor del producto no es considerado.

La contribución de las variables predictoras sobre el valor de la madera aserrada fue:

$$0,81385904 \text{ para } D_{1.30\text{ m}} ; 0,09 \text{ para altura; } -2,18 \cdot 10^{-5} \text{ para la conicidad} \quad [1]$$

Esto indica que el $D_{1.30\text{ m}}$ es el factor de mayor significación e influencia sobre el volumen de madera aserrada producida, así como de sus valores. Los registros de la elasticidad del $D_{1.30\text{ m}}$ de los árboles y la altura son positivos, indicando que el rendimiento en

valor de la madera aserrada aumenta con el $D_{1.30\text{ m}}$ y la altura.

Por otra parte, la conicidad presenta un efecto negativo sobre el valor de la madera aserrada, coincidiendo con Egas (1998), Egas *et al.* (2001), Álvarez *et al.* (2010) y Álvarez *et al.* (2011).

El valor relativo de la madera aserrada tiene un incremento en función del $D_{1.30\text{ m}}$.

Se determina como:

$$\frac{\partial P}{P} = 0,81385904 \left(\frac{\partial P}{\partial D_{1.30\text{ m}}} \right) \quad [2]$$

Esto indica que el incremento en un 1% del $D_{1.30\text{ m}}$ puede ocasionar un incremento aproximado del **0,81385904** % del rendi-

miento en valor de la madera aserrada, lo que ocurre de forma similar para la altura.

$$\frac{\partial P}{P} = 0,09 \left(\frac{\partial H}{H} \right) \quad [3]$$

Lo que indica que el incremento del 1 % de la altura puede causar un 0,09 % del valor del árbol, corroborando los planteamientos de Liu *et al.* (2007), Tong y Zhang (2006) y Zhang

et al. (2006), que establecen que la contribución del $D_{1.30\text{ m}}$ sobre la magnitud del valor de la madera aserrada es superior a la influencia o contribución de la altura.

$$\frac{\partial P}{P} = -2,18 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\partial C}{C} \right) \quad [4]$$

La conicidad tiene un efecto inverso, lo cual establece que el incremento en un 1 % de la conicidad provoca un efecto negativo o reducción del valor de los RVMA en $-2,18 \cdot 10^{-5}$ %.

trada o variable dependientes. Para dos o más variables de entrada o dependiente la elasticidad de escala es la suma de la elasticidad de salida de cada variable de entrada o variable dependiente.

La elasticidad de escala se corresponde con todas las elasticidades de las variables de salida en relación con todas las variables de en-

En este estudio, la elasticidad de escala se describe como:

$$E = E(P, D_{1,30\text{ m}}) + E(P, H) + E(P, C) = 0,90383724 \quad [5]$$

De acuerdo con la ecuación (5), no existe un incremento del ritmo en el estudio a partir de que E es menor que 1.

Un porcentaje (%) de incremento simultáneo en árbol en dependencia del $D_{1.30\text{ m}}$, altura y conicidad resulta en aproximadamente un 0,90383824 % de incremento de los valores de los productos del árbol en el modelo 5.

Interacción entre los factores

La interdependencia técnica entre factores de una función de producción fue examinada a

partir de la productividad marginal de una variable predictora con respecto a otras [Liu *et al.*, 1989]. Matemáticamente esta se obtiene tomando en consideración la derivada parcial cruzada de los resultados con respecto a dos factores o variables predictoras en el modelo 5 en el caso de la producción de tablas en el aserrío.

Para $D_{1.30\text{ m}}$ y altura

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial (D_{1.30\text{ m}}) \partial H} = a_1 a_2 P (D_{1.30\text{ m}})^{-1} H^{-1}$$

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial (D_{1.30 \text{ m}}) \partial H} = 0,81385904 * 0,09 * 9,148756422 * (27,221)^{-1} * (20,339)^{-1}$$

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial (D_{1,30 \text{ m}}) \partial H} = 0,00121$$

Para $D_{1.30 \text{ m}}$ y conicidad

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial (D_{1.30 \text{ m}}) \partial C} = a_1 a_3 P (D_{1.30 \text{ m}})^{-1} C^{-1}$$

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial (D_{1.30 \text{ m}}) \partial C} = 0,81385904 * (-2,1810^{-5}) * (9,148756422) * (27,221)^{-1} * (1,165)^{-1}$$

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial (D_{1.30 \text{ m}}) \partial C} = -5,1183.10^{-6}$$

Para altura y conicidad

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial H \partial C} = a_1 a_3 P H^{-1} C^{-1}$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial H \partial C} = 0,81385904 * (-2,18.10^{-5}) * (9,148756422) * 20,339^{-1} * (1,165)^{-1}$$

$$\frac{(\partial^2 P)}{\partial H \partial C} = -6,850341.10^{-6}$$

La derivada parcial cruzado del modelo 5 presenta valores positivos y negativos.

La derivada parcial cruzada positiva entre $D_{1.30 \text{ m}}$ y la altura indican que las dos variables son complementarias, y la derivada parcial cruzada negativa entre el $D_{1.30 \text{ m}}$ y la conicidad o entre la altura y la conicidad sugiere una relación de competitividad [Liu *et al.*, 2007].

La magnitud de la interacción es elevada entre el $D_{1.30 \text{ m}}$ y la altura, lo que significa que presenta grandes impactos sobre el va-

lor de los productos del árbol. Aubrey *et al.* (1998) reportan que la dimensión del fuste determina el número de vitolas por troza (efecto del diámetro) y el número de trozas por árbol (efecto de la altura).

Por lo tanto, el número de trozas y el número de vitolas o tablas por troza presenta el mayor impacto sobre el valor del árbol.

El valor de madera aserrada a partir de un árbol individual depende significativamente del $D_{1.30 \text{ m}}$ seguido de la altura. En el modelo 5 se puede apreciar lo antes señalado.

Los resultados por los análisis de elasticidad para el modelo 5 en el caso de la optimización del proceso de aserrado por los modelos 1 y 4 fueron obtenidos utilizando los mismos procedimientos anteriores, y son representados en la *Tabla 5*.

Por todo lo antes expuesto, las características del árbol pueden ser utilizadas para cuantificar la relación entre las características del árbol y el valor de los productos, coincidiendo con los resultados de Zhang y Lei (2006).

TABLA 5
Los resultados por los análisis de elasticidad

Modelo	Elasticidad de la salida			Elasticidad de la escala	Derivada parcial cruzada por relación		
	D _{1.30 m}	H	C		D _{1.30 m} H	D _{1.30 m} C	HC
13	0,60382			0,6038			
14	0,8673	-0,002		0,8653	-0,000285		
15	0,814	0,090	-2,13,10 ⁻⁵	0,9038	0,00121	-5,118.10 ⁻⁵	-6,850.10 ⁻⁵

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado el efecto del D_{1.30 m}, la altura y la conicidad de los árboles sobre los rendimientos en valores de la madera aserrada de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, exponiendo que el D_{1.30 m} reporta la mayor influencia sobre los valores de los productos del árbol.
- Teniendo en consideración los coeficientes de determinación y los residuos, los modelos de los mejores resultados fueron los siguientes: función de polinomio de segundo grado con el D_{1.30 m} solamente; función polinomio con un solo producto; función de poder con DBH, altura y conicidad.
- El análisis de la elasticidad de los tres modelos seleccionados sustentados a partir del análisis de la componente principal fue utilizado para examinar el efecto de la característica del árbol y la relación entre los parámetros del modelo.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, D. ET AL. 2010. «Improvement the Lumber Recovery Factory with Low Enviromental Impact in Pinar del Río, Cuba», *The International Forestry Review* (EE.UU.) 12 (5): 303.
- ÁLVAREZ, D. ET AL. 2011. «Análisis de la influencia de la calidad de las trozas sobre los rendimientos de madera aserrada en Pinar del Río, Cuba», edición especial de la revista forestal *Baracoa* (CU) no. 1/2011.
- AUBRY, C. A., ADAMS, W. T., HALIEY, T. D. 1998. «Determination of Relative Economic Weights for Multi-Trait Selection in Coastal Douglas-fir», *Canadian Journal Forest Resources* (CA) 28:1164-1170.
- BEAUREGARD, R. L., GAZO, R., BALL, R. D. 2002. «Grade Recovery, Value, and Relum-to-Log for the Production of NZ Visual Grades (Cuttings and Framing) and Australian Machine Stress Grades», *Wood and Fiber Science* (EE.UU.) 34(4): 455-502.
- EGAS, A. F. 1998. «Consideraciones para el incremento de la eficiencia de conversión de madera en rollo de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* en sierras de bandas, Pinar del Río», tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- EGAS, F. A., ÁLVAREZ, D., ESTÉVEZ, I., GARCÍA, J. M. 2001. «Factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de Cuba», *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (MX) VII (2): 163-168.
- KELLOGG, R. M., WARREN, W. G. 1984. «Evaluating Western Hcnloek Stem Characteristics in Terms of Lumber Value», *Wood and Fiber Science* (EE.UU.) 16(4): 583-597.
- LIU, C., ZHANG, S. Y. 2005. «Models for Predicting Product Recovery Using Selected Tree Characteristics of Black Spruce», *Canadian Journal Forest Resources* (CA) 35: 930-937.
- LIU, C., ZHANG, S. Y., CLOUTIER, A., RYCABAL, T. 2007. «Modelling Lumber Value Recovery in Relation to Selected Tree Characteristics in black Spruce Using. Optitek Sawing Simulator», *Forest Product Journal* (EE.UU.) 57 (4): 57-65.
- MONISON, D. F. 1976. *Multivariate Siatistical Methods*, New York, McGraw-Hill.
- MALAN, F. S. 1988. «IMSS. Kehilionships Between Growth Stress and Somt; Tree Characteristics in South African Growth *F. eucalyptus* Grandis», *Souther African Forestry Journal* (ZA) 144:43-46.
- MOBERG, L., NORDMARK, U. 2006. «Predicting Lumber Volume and Grade Recovery for Scots Pine Stems Using Tree Models and Sawmill Conversion Simulation», *Forest Product Journal* (EE.UU.) 5(4): 68-74.

STEELE, P. H., HARLESS, T. F., WAGNE, F. G. 1994. «Increased Lumber Value from Optimum Orientation of Internal Defects with Respect to Sawing Pattern in Hardwood Sawlogs», *Forest Products* (EE.UU.) 44(3):69-72. *Sawmills. Interfaces* 26(6): 3-8.

TONG, Q. J., ZHANG, S. Y. 2006. «Modeling Simulated Product Value Recovery in Relation to Tree Characteristics In Jack Pine Using Optitek», *Forest Product Journal* (EE.UU.) (1): 66-72.

ZHANG, S. Y., TONG, Q. J. 2005. «Modelling Lumber Value Recovery in Relation to Selected Tree Characteristics in Jack Pine Using Optitek Sawing Simulator», *Annales Science* 62: 219-228.

ZHANG, S. Y., LEI, Y. 2006. «Modelling the Relationship of Tree-Level Product Value with Tree Characteristics in Black Spruce», *Forest Chronicle* (EE.UU.) 82(5): 690-699.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Ayessa Leokounoze

Máster en Ciencias Forestales en la Mención de Aprovechamiento Forestal. Ha trabajado la temática de modelación durante su formación doctoral e impartido tecnología de la madera en la Universidad de Pinar del Río. Este trabajo forma parte de la formación doctoral.

Instituto de Investigaciones Forestales

PATENTES

- Uso de bioestimulantes en la resinosis inducida.

OTRAS OFERTAS

- Turismo científico.
- Posturas forestales y frutales.
- Literatura científica y materiales informativos.
- Semillas forestales.
- Aceite trementina, colofonia.