

Modelos para estimar el rendimiento de madera con variables dendrométricas en *Pinus cubensis* Griseb.

Models to estimate the yield of wood with dendrometric variables in *Pinus cubensis* Griseb.

Autores: Ms.C Adonis Martínez-Nieves¹; Dr.C Daniel Álvarez-Lazo¹; Dr.C Adrián Montoya-Ramos², Ms.C Juan de Dios Robles-Pastrana³, Dr.C Pedro Posos-Ponce³.

Organismo: ¹Empresa Agroforestal Integral "Sierra Cristal". II Frente Oriental. Santiago de Cuba, ²Facultad Agroforestal, Universidad de Guantánamo-Cuba. ³Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez, 2100, Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.

E-mail: montoya@cug.co.cu

Resumen

El inventario forestal es la herramienta fundamental en la toma de decisiones dentro de un Plan de Manejo, siendo la estimación del volumen aprovechable en pie uno de sus objetivos principales. En los bosques estas estimaciones se han convertido en una tarea compleja a la hora de cuantificar los volúmenes aprovechables para una industria determinada. La Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal", municipio Segundo Frente, evaluó parámetros dendrométricos para estimar el rendimiento de madera en bolo y aserrada, a partir de las variables dendrométricas en rodales de *Pinus cubensis* Griseb y utilizó modelos donde demostró que los de mayor ajuste para la variable dependiente volumen de madera en bolo y madera aserrada son modelos logarítmicos.

Palabras clave: inventario forestal, parámetros dendrométricos, rendimiento, modelos logarítmicos.

Abstract.

The forest inventory is the fundamental tool in the decision making within a management plan, being the estimate of the usable volume in foot of one of its main objectives. In the forests, these activities have become a complex task when quantifying the volumes that can be used for a given industry. The Agricultural and Forestry Company "Sierra Cristal", Segundo Frente Municipality, evaluated the metric parameters to estimate the performance of the wood in bolus and sawing, from the dendrometric variables in the stands of *Pinus cubensis* Griseb and used models where it was showed that the highest degree for the dependent variable volume of wood in bolus and sawn wood are the logarithmic ones.

Keywords: forest inventory, metric parameters, performance, logarithmic models.

Introducción.

En Cuba las plantaciones de *Pinus* han ido incrementándose considerablemente atendiendo a que por su versatilidad juega un rol protagónico en los planes de reforestación del país (Linares *et al.*, 2009). Por diversas razones las plantaciones realizadas en Cuba con objetivos industriales no han sido tratadas y cuidadas de la forma que hoy permitiesen contar con un bosque sano y vigoroso, lo cual a su vez garantiza en su procesamiento ulterior madera aserrada con un máximo de calidad.

Usualmente se estima el volumen total del bosque a partir de modelos biométricos (Martínez Pastur *et al.*, 1993; Peri *et al.*, 1997) y se le clasifica de acuerdo a diferentes parámetros estructurales (frecuencias diamétricas, fases de desarrollo, clase de copa, forma del fuste y sanidad del árbol). A partir de estas clasificaciones se estima un "volumen aprovechable" por rodal de acuerdo con la experiencia del técnico forestal.

Los resultados que se obtienen son muy variables dependiendo de las estimaciones llevadas a cabo en el campo, siendo poco confiable y precisas, por lo que rara vez son utilizadas cuando se requiere una correcta planificación del manejo forestal. El carácter subjetivo, intrínseco a la estimación visual realizada, convierte a dicha estimación en un factor de distorsión en la evaluación de las existencias reales (Piterberg, 1965).

En los últimos años se han desarrollado distintas metodologías tendientes a aumentar la precisión en la estimación de los volúmenes aprovechables a partir de árboles en pie (Chauchard y Carabelli, 1992; Chauchard y González Peñalba, 1993). Estos sistemas apuntan a eliminar parte de la subjetividad del técnico forestal mediante una normativa de clasificación de volúmenes y asignación de descuentos a partir de códigos. Sin embargo, estas metodologías incluyen estimaciones cuantitativas muy difíciles de ejecutar, como el volumen de porciones del fuste en pie para realizar los descuentos (largos y diámetros de inicio y finalización) y clasificación minuciosa árbol por árbol, lo que aumenta la complejidad y el costo del inventario. Por otra parte, los descuentos a realizar son tareas de estimaciones engorrosas e imprecisas.

La construcción de modelos matemáticos y su posterior validación son aspectos centrales del método científico para poder determinar o predecir los rendimientos y calidad de la madera aserrada que se obtendrán después de seleccionados los árboles que serán talados. Si algo caracteriza a las ciencias modernas es el uso extensivo de modelos matemáticos, cuya precisión y capacidad predictiva son enormemente mayores que la de modelos de otro tipo (Chalmers 1999; Morais Coutinho *et al.*, 2018). Por lo anteriormente expuesto el objetivo de este trabajo es ensayar modelos matemáticos que posibiliten predecir el rendimiento y calidad de la madera aserrada a partir de parámetros dasométricos y defectos de la madera de los árboles en pie de *Pinus cubensis* Griseb.

Materiales y métodos.

Análisis de los modelos de regresión de volumen.

Para evaluar el modelo de mejor ajuste con vista a la estimación del volumen del fuste en pie y las trozas derribadas se analizaron 11 modelos, todos de simple entrada, los cuales están representados en la tabla 1; de ellos tres son aritméticos y ocho logarítmicos y fueron ensayados por estimación curvilínea con todas las variables independientes que se correlacionaron fuertemente según el análisis de correlación de las variables dependientes, volumen de madera en bolo (V_{mb}), volumen de madera aserrada (V_{mas}), rendimiento (R) y conicidad (C).

1	Lineal VrT = f(x)	$Vrt = b_0 + (b_1 * x)$
2	Logarítmica VrT = f(x)	$\log(Vrt) = b_0 + (b_1 * \log(x))$
3	Inverso VrT = f(x)	$Vrt = b_0 + (b_1 / x)$
4	Cuadrático VrT = f(x)	$Vrt = b_0 + (b_1 * x) + (b_2 * x^2)$
5	Cúbico VrT = f(x)	$Vrt = b_0 + (b_1 * x) + (b_2 * x^2) + (b_3 * x^3)$
6	Potencia VrT = f(x)	$\log(Vrt) = \log(b_0) + b_1 * \log(x)$
7	Compuesto VrT = f(x)	$\log(Vrt) = x (b_0) + (\log(b_1) * (x)$
8	S VrT = f(x)	$\log(Vrt) = b_0 + (b_1 / x)$
9	Logístico VrT = f(x)	$\log(1 / Vrt * 1 / u) = (\log b_0 + (\log(b_1) * x)$
10	Crecimiento VrT = f(x)	$\log(Vrt) = b_0 + (b_1 * x)$
11	Exponencial VrT = f(x)	$\log(Vrt) = \log(b_0) + (b_1 * x)$

b_0, b_1, b_2 : coeficientes de regresión.

El modelo logístico cuya ecuación es $\ln(1/Y - 1/u) = \ln(b_0 + (\ln(b_1) * t)$ donde u es el valor del límite superior tras seleccionar Logístico.

Para los modelos del 1 al 11 la variable (x) corresponde a cada una de las variables independientes correlacionadas, cada uno de estos modelos se ensayó con VrT = f (d_{1.3}; d_{1/2}; dpf).

Tabla 1. Modelos matemáticos de simple entrada según variables correlacionadas

En todos los casos un mismo modelo fue ensayado con diferentes variables independientes. Para el procesamiento matemático-estadístico de los resultados se empleó el paquete estadístico SPSS versión 15.0 mediante el cual se realizó un análisis de regresión del volumen real total con las variables correlacionadas, para todos los casos.

Para la determinación de un modelo único en cada caso fue necesario construir una base de datos única por caso, con los datos de la especie, luego se realizó un análisis de los mejores tres modelos ajustados individualmente para cada una de las variables dependientes y después se ajustaron para la base de datos común en cada caso. La precisión de la ecuación de volumen se comprobó mediante el error estándar de la estimación, el coeficiente de correlación y de determinación, respectivamente, y se realizó un análisis de las capacidades predictivas para definir el modelo de mejor ajuste en cada uno de los casos.

Resultados y discusión.

Modelos para estimar el rendimiento de madera en bolo y aserrada a partir de las variables dendrométricas.

Los modelos que se ajustaron para *Pinus cubensis* Griseb sobre la base del análisis de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas con las cuatro variables dependientes antes mencionadas. Estos modelos fueron ensayados solo con las variables que se correlacionaron fuertemente en cada caso y los modelos que no cumplieron con los supuestos teóricos de la regresión lineal no se ensayaron, por lo que los resultados no aparecerán en sus respectivas tablas.

En el caso de la madera en bolo se ensayaron los 11 modelos explicados en los materiales y métodos con las tres variables que más fuerte se correlacionaron, correspondientes a los tres diámetros antes mencionados; en la tabla 2 se encuentra el análisis de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas (validación), cada caso con la variable dependiente y las independientes.

No. Modelo	Modelos	Variables	Variables Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
		Dep.		R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	Vmb	d _{1.30}	0.918	0.843	0.203	0.20194045	0.041
2	Logarítmica	Vmb	d _{1.30}	0.913	0.833	0.209	0.20788933	0.043
3	Inversa	Vmb	d _{1.30}	0.898	0.806	0.225	0.22433584	0.050
4	Cuadrático	Vmb	d _{1.30}					
5	Cúbico	Vmb	d _{1.30}					
6	Compuesto	Vmb	d _{1.30}	0.944	0.891	0.944	0.26821991	0.072
7	Potencia	Vmb	d _{1.30}	0.958	0.918	0.164	0.22592713	0.051
8	S	Vmb	d _{1.30}	0.962	0.925	0.157	0.20369984	0.041
9	Crecimiento	Vmb	d _{1.30}	0.944	0.891	0.189	0.26821991	0.072
10	Exponencial	Vmb	d _{1.30}	0.944	0.891	0.189	0.26821991	0.072
11	Logística	Vmb	d _{1.30}	0.944	0.891	0.189	0.26821991	0.072

Tabla 2. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para la madera en bolo (Vmb) como variable dependiente y el diámetro a 1.30 como independiente.

Como puede observarse, los modelos marcados con los números 7, 8 y 9 son los que mejores ajustes presentaron para el diámetro a 1.30 como variable independiente siendo el 8 el de mejor ajuste con un coeficiente de correlación de 0,962; estos tres modelos son logarítmicos y corrobora lo planteado por Lores (2012) quien dice que los modelos logarítmicos presentan mayor eficiencia en los ajustes.

Así mismo la tabla 3 muestra los resultados, en este caso con el diámetro en la parte más fina como variable independiente y los modelos que mejores ajustes estuvieron fueron los marcados con los números 1, 7 y 8 siendo en este caso el 7 el de mejor ajuste, en este caso un modelo aritmético y dos logarítmicos. También se ensayaron estos modelos para el diámetro medio como variable de interés; al igual que para el diámetro a 130 los modelos 7, 8 y 8 fueron los que mejores resultados ofrecieron, coincidiendo también que el número 8 fue el de mejor ajuste. Este mismo modelo es a su vez el de mejor ajuste de todos, o sea, de las tres variables y estos resultados son similares con los obtenidos por (Leckoundzou, 2015) que fue un modelo logarítmico, aunque no el mismo.

Finalmente la ecuación que define el volumen de madera en bolo es el modelo logarítmico: $\ln(Vmb) = 2,424 + (-59,217 / d_{1/2})$.

N ₀ Modelo	Modelos	Variables	Variables Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
		Dep.		R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	Vmb	d _{pf}	0.941	0.885	0.174	0.17276990	0.030
2	Logarítmica	Vmb	d _{pf}	0.925	0.856	0.194	0.19314591	0.037
3	Inversa	Vmb	d _{pf}	0.897	0.805	0.226	0.22461628	0.050
4	Cuadrático	Vmb	d _{pf}					
5	Cúbico	Vmb	d _{pf}					
6	Compuesto	Vmb	d _{pf}	0.938	0.879	0.199	0.27042326	0.073
7	Potencia	Vmb	d _{pf}	0.952	0.906	0.175	0.18192175	0.033
8	S	Vmb	d _{pf}	0.950	0.902	0.179	0.17470461	0.031
9	Crecimiento	Vmb	d _{pf}	0.938	0.879	0.199	0.27042326	0.073
10	Exponencial	Vmb	d _{pf}	0.938	0.879	0.199	0.27042326	0.073
11	Logística	Vmb	d _{pf}	0.938	0.879	0.199	0.27042326	0.073

Tabla 3. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para la madera en bolo (Vmb) como variable dependiente con el diámetro (d_{pf}) como independiente.

N ₀ Modelo	Modelos	Variable	Variable Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
		Dep.		R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	Vmb	d _{1/2}	0.94 2	0.88 7	0.17 2	0.17134788	0.029
2	Logarítmica	Vmb	d _{1/2}	0.93 2	0.86 9	0.18 5	0.18444012	0.034
3	Inversa	Vmb	d _{1/2}	0.91 4	0.83 6	0.20 7	0.20628331	0.043
4	Cuadrático	Vmb	d _{1/2}	0.94 3	0.88 9	0.17 1	0.16964445	0.029
5	Cúbico	Vmb	d _{1/2}	0.94 3	0.88 9	0.17 1	0.16964445	0.029
6	Compuesto	Vmb	d _{1/2}	0.95 3	0.90 8	0.17 4	0.22579958	0.051
7	Potencia	Vmb	d _{1/2}	0.96 6	0.93 4	0.14 7	0.18190107	0.033
8	S	Vmb	d _{1/2}	0.97 0	0.94 1	0.13 9	0.16976247	0.029
9	Crecimiento	Vmb	d _{1/2}	0.95 3	0.90 8	0.17 4	0.22579958	0.051
10	Exponencial	Vmb	d _{1/2}	0.95 3	0.90 8	0.17 4	0.22579958	0.051
11	Logística	Vmb	d _{1/2}	0.95 3	0.90 8	0.17 4	0.22579958	0.051

Tabla 4. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para la madera en bolo (Vmb) como variable dependiente con el diámetro (d_{1/2}) como independiente.

El grado de adecuación del modelo propuesto es bueno, con una tendencia conveniente adecuada donde no se obtuvo diferencia significativa entre el volumen estimado y el volumen real para una significación de 0,873, mayor que 0,05, aunque se pudo observar que el valor real se separa un poco más de la línea de tendencia, lo que corrobora las consideraciones de Aldana (2006), Barreo (2010) y Lores (2012) quienes afirman que los modelos matemáticos dan estimaciones más exactas y precisas que las formulas convencionales. Estos resultados son similares a los modelos propuestos en Cuba por Peñalver (1991), Padilla (1999), Zaldívar (2001) para plantaciones de *Eucaliptus* sp, *Pinus*

tropicalis, *Talipariti elatum*, respectivamente, así como por Ares (1999) para *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea* en bosque natural, quienes encontraron que fue el modelo logarítmico de Spurr el de mejor ajuste con diferentes valores en los coeficientes, con el diámetro en la base como variable dependiente. Estos resultados confirman además las valoraciones de Loetsch, Zöhrer y Haller (1973), citado por Lores (2012), los que aseguran que las tablas de volumen en función del diámetro y la altura producen estimaciones más exactas.

Al igual que el volumen de madera en bolo, para el volumen de madera aserrada las variables que más fuerte se correlacionaron fueron los tres diámetros; en las tablas 5, 6, y 7 se muestran los ajustes y la validación del volumen de madera aserrada en función del diámetro a 1.30, diámetro en la parte más fina y diámetro a un medio respectivamente, como variables independientes.

N ₀ Modelo	Modelos	Variable Dep.	Variable Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
				R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	Vmas	d _{1.30}	0.91 8	0.84 4	0.13 6	0.1353480 2	0.01 8
2	Logarítmica	Vmas	d _{1.30}	0.90 6	0.82 0	0.14 6	0.1450512 4	0.02 1
3	Inversa	Vmas	d _{1.30}	0.88 4	0.78 1	0.16 1	0.1603052 7	0.02 6
4	Cuadrático	Vmas	d _{1.30}					
5	Cúbico	Vmas	d _{1.30}					
6	Compuesto	Vmas	d _{1.30}	0.96 2	0.92 5	0.18 0	0.1764565 3	0.03 1
7	Potencia	Vmas	d _{1.30}	0.97 3	0.94 7	0.15 3	0.1443095 7	0.02 1
8	S	Vmas	d _{1.30}	0.97 3	0.94 7	0.15 1	0.1323386 1	0.01 8
9	Crecimiento	Vmas	d _{1.30}	0.96 2	0.92 5	0.18 0	0.1764565 3	0.03 1
10	Exponencial	Vmas	d _{1.30}	0.96 2	0.92 5	0.18 0	0.1764565 3	0.03 1
11	Logística	Vmas	d _{1.30}	0.96 2	0.92 5	0.18 0	0.1764565 3	0.03 1

Tabla 5. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para la madera aserrada (Vmas) como variable dependiente y el diámetro a 1.30 como independiente.

N ₀ Modelo	Modelos	Variable Dep.	Variable Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
				R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	Vmas	d _{pf}	0.95 7	0.91 6	0.09 9	0.0989104 1	0.01 0
2	Logarítmica	Vmas	d _{pf}	0.92 7	0.86 0	0.12 9	0.1282532 6	0.01 6
3	Inversa	Vmas	d _{pf}	0.88 6	0.78 6	0.15 9	0.1583965 2	0.02 5
4	Cuadrático	Vmas	d _{pf}					
5	Cúbico	Vmas	d _{pf}					
6	Compuesto	Vmas	d _{pf}	0.95	0.91	0.19	0.1642895	0.02

				4	1	7	6	7
7	Potencia	Vmas	d _{pf}	0.96 2	0.92 6	0.18 0	0.0831171 9	0.00 7
8	S	Vmas	d _{pf}	0.95 3	0.90 8	0.20 0	0.0993684 2	0.01 0
9	Crecimiento	Vmas	d _{pf}	0.95 4	0.91 1	0.19 7	0.1642895 6	0.02 7
10	Exponencial	Vmas	d _{pf}	0.95 4	0.91 1	0.19 7	0.1642895 6	0.02 7
11	Logística	Vmas	d _{pf}	0.95 4	0.91 1	0.19 7	0.1642895 6	0.02 7

Tabla 6. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para la madera aserrada (Vmas) como variable dependiente con el diámetro (d_{pf}) como independiente

N ₀ Modelo	Modelos	Variable Depend	Variable Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
				R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	Vmas	d _{1/2}	0.95 1	0.90 4	0.10 7	0.1062610 6	0.01 1
2	Logarítmica	Vmas	d _{1/2}	0.93 1	0.86 6	0.12 6	0.1253192 9	0.01 6
3	Inversa	Vmas	d _{1/2}	0.90 3	0.81 6	0.14 8	0.1469707 5	0.02 2
4	Cuadrático	Vmas	d _{1/2}					
5	Cúbico	Vmas	d _{1/2}					
6	Compuesto	Vmas	d _{1/2}	0.97 1	0.94 2	0.15 9	0.1300633 8	0.01 7
7	Potencia	Vmas	d _{1/2}	0.97 9	0.95 9	0.13 4	0.0956088 0	0.00 9
8	S	Vmas	d _{1/2}	0.97 8	0.95 7	0.13 7	0.1300633 8	0.01 7
9	Crecimiento	Vmas	d _{1/2}	0.97 1	0.94 2	0.15 9	0.0978403 8	0.01 0
10	Exponencial	Vmas	d _{1/2}	0.97 1	0.94 2	0.15 9	0.1300633 8	0.01 7
11	Logística	Vmas	d _{1/2}	0.97 1	0.94 2	0.15 9	0.1300633 8	0.01 7

Tabla 7. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para la madera aserrada (Vmas) como variable dependiente con el diámetro (d_{1/2}) como independiente.

Como se observa en la tabla 7, los modelos que mejores resultados tuvieron según la bondad de ajuste y la validación (capacidades predictivas) fueron los marcados con los números 7, 8 y 9, siendo el 8 el de mejor ajuste para esta variable, todos ellos correspondientes a modelos logarítmicos.

Los resultados para el diámetro en la parte más fina mostraron que los modelos de mejor ajuste correspondieron a un modelo aritmético y dos logarítmicos.

Por otro lado fue posible observar el grado de correspondencia o de adecuación del modelo propuesto ($\ln(Vmas) = \ln(-0.0000031) + (3.050 * \ln(d_{1/2}))$) con una tendencia conveniente, donde no se obtuvo diferencia significativa entre el volumen estimado y el volumen real para una significación de 0,906, mayor que 0,05. Se destaca que aunque no

existen diferencias significativas estadísticamente, para los valores del volumen de madera aserrada hasta 1m^3 aproximadamente el valor real sobreestima el volumen con respecto el valor estimado; a partir de 1m^3 en adelante ocurre lo contrario, de ahí que se garantiza la implementación práctica del modelo de mejor ajuste para esta empresa.

Egas (1998) expresa que existe un grupo de autores que consideran dos formas de expresar el rendimiento volumétrico: rendimiento volumétrico por surtidos y rendimiento volumétrico total. El primer indicador no es más que la relación entre el volumen de madera aserrada de un pedido específico o de una clase de calidad determinada y el volumen total de madera aserrada obtenida de una troza o grupo de trozas (ambos volúmenes en m^3) expresados en porcentaje, coincidiendo con Willinston (1988) y Steele *al.*, (1994).

En el caso del rendimiento las variables que más fuerte se correlacionaron fueron, en primer lugar, el volumen de madera aserrada y el diámetro medio; en este caso solo se ensayaron los modelos con la variable más fuerte ya que el rendimiento depende en gran medida del volumen de madera, como se observa en la tabla 8. Los modelos de mejor ajuste fueron el 1, 6 y 9 según la bondad de ajuste y el análisis de las capacidades predictivas, siendo en este caso el modelo 1 el de mejores resultados y es un modelo aritmético, por tanto la ecuación que define el rendimiento es: $R = (46.213) + (16.125 * Vmas)$.

N ₀ Modelo	Modelos	Variable	Variabl e Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
		Dep.		R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	R	Vmas	0.70 4	0.495	5.598	5.570866 51	31.03 5
2	Logarítmica	R	Vmas	0.69 0	0.476	5.704	5.676996 27	32.22 8
3	Inversa	R	Vmas	0.62 2	0.387	6.168	6.138857 72	37.68 6
4	Cuadrático	R	Vmas					
5	Cúbico	R	Vmas					
6	Compuesto	R	Vmas	0.67 5	0.455	0.108	5.641907 15	31.83 1
7	Potencia	R	Vmas	0.67 1	0.450	0.109	5.629094 25	31.68 7
8	S	R	Vmas	0.61 2	0.375	0.116	6.076727 76	36.92 7
9	Crecimiento	R	Vmas	0.67 5	0.455	0.108	5.641907 15	31.83 1
10	Exponencial	R	Vmas	0.67 5	0.455	0.108	5.641907 15	31.83 1
11	Logística	R	Vmas	0.67 5	0.455	0.108	5.641907 15	31.83 1

Tabla 8. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para el rendimiento (R) como variable dependiente con el volumen de madera aserrada (Vmas) como independiente.

Se ha determinado el grado de correspondencia o de adecuación del modelo propuesto ($R = (46.213) + (16.125 * Vmas)$) con una tendencia conveniente, donde no se obtuvo diferencia significativa entre el volumen estimado y el volumen real para una significación de 0,998, mayor que 0,05, donde la mayor concentración de la nube de puntos se

encuentra encima de la línea de tendencia. Estos resultados corroboran la calidad de la materia prima del área de estudio que autores como Kellog y Waren (1984); Aubry *et al.*, (1998); Beauregardet *et al.*, (2002) y Zhang *et al.*, (2005) por lo que se asume que los rendimientos en valores de la madera aserrada están influenciados por la calidad de la materia prima utilizada, en este caso, trozas obtenidas a partir de árboles individuales.

Álvarez *et al.*, (2010_a), afirman que el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrado puede ser afectado por la longitud y por la conicidad de las trozas. En la medida que aumenten ambos parámetros se incrementa la diferencia entre los diámetros en ambos extremos de la troza. En este caso el diámetro en la mitad de la troza fue el que arrojó los mejores resultados según el análisis de correlación. En la tabla 9 se pueden observar los resultados del ajuste con esta variable donde los modelos que más fuerte se correlacionaron fueron los marcados con los números 3, 4 y 5, siendo este último el de mejor ajuste según el análisis de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas por tanto la ecuación para la conicidad es: $C = 2.650 + (-0.24 * d_{pf}) + 0.009 * (d_{pf})^2 + (-0.00000979 * (d_{pf})^3)$ correspondiente a un polinomio de tercer grado. Resultados similares a este lo obtuvo (Lores, 2012) para el análisis del perfil de fuste de tres especies de valor económico de la Empresa Agroforestal de Baracoa para determinar la influencia de la forma del árbol en la madera aserrada.

N ₀ Modelo	Modelos	Variable	Variable Ind.	Bondad de Ajuste			Validación	
		Dep.		R	R ²	Sx	RECM	DA
1	Lineal	C	d _{pf}	0.72 3	0.52 2	0.09 6	0.0957667 8	0.00 9
2	Logarítmica	C	d _{pf}	0.75 6	0.57 2	0.09 1	0.0906217 0	0.00 8
3	Inversa	C	d _{pf}	0.78 0	0.60 8	0.08 7	0.0866984 6	0.00 8
4	Cuadrático	C	d _{pf}	0.79 2	0.62 8	0.08 5	0.0845302 7	0.00 7
5	Cúbico	C	d _{pf}	0.79 9	0.63 9	0.08 4	0.0832515 2	0.00 7
6	Compuesto	C	d _{pf}	0.60 9	0.37 1	0.26 9	0.0931081 5	0.00 9
7	Potencia	C	d _{pf}	0.63 4	0.40 2	0.26 2	0.0883518 7	0.00 8
8	S	C	d _{pf}	0.65 0	0.42 3	0.25 8	0.0851692 9	0.00 7
9	Crecimiento	C	d _{pf}	0.60 9	0.37 1	0.26 9	0.0931081 5	0.00 9
10	Exponencial	C	d _{pf}	0.60 9	0.37 1	0.26 9	0.0931081 5	0.00 9
11	Logística	C	d _{pf}	0.60 9	0.37 1	0.26 9	0.0931081 5	0.00 9

Tabla 9. Bondad de ajuste y capacidades predictivas para conicidad (C) como variable dependiente con el diámetro a un medio (d_{1/2}) como independiente.

Estos resultados demuestran la confiabilidad del modelo de mejor ajuste para la conicidad con una significación de 0,944 que demuestra que no existen diferencias estadísticas significativas para α mayor que 0,05, por lo que se garantiza la implementación práctica

de este modelo en la práctica productiva; este resultado corrobora además las consideraciones de (Henry, 2002) quien sita que “aunque existen discrepancias entre cuál es la parte del bolo troza a la que debe medirse la circunferencia para estimar los pies madereros, es válido aclarar que con fines aserrables la madera siempre se encuadra por la parte menor y que sólo cuando la troza presenta conicidad generalmente se comienza por la parte media del bolo, punto donde pueden aprovecharse las piezas aserradas que salen de la base”.

Conclusiones.

Se demostró que los modelos de mayor ajuste para la variable dependiente volumen de madera en bolo y madera aserrada son modelos logarítmicos

Referencias bibliográficas.

- Álvarez, D., Betancourt, Y., Rodríguez, J.F., Pastor J.F., Villalba, M.J., Alaejos, J., Prades, et al., (2010c). Aprovechamiento Forestal. Universidad de Pinar del Río, 148 p.
- Álvarez, D., Estévez, I., Domínguez, A., García, O., Alaejos, J., Rodríguez, J. C. (2010^a). Improvement the lumber recovery factory with low environmental impact in Pinar del Río, Cuba. *The International Forestry Review* Vol 12 (5): 303.
- Ares, A. E. (1999). Tablas Dasométricas para bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet para la EFI “La Palma”. 94 p. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río.
- Aubryet, C. A., W. T. Adams, T. D. Halley. (1998). Determination of relative economic weights for multi-trait selection in coastal Douglas-fir. *Can. J. Forest Res*, 28: 1164-1170.
- Baillères, H., Durand, P.Y. (2000). Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. *Bois et Forêts des Tropiques* 263(1): 17-29.
- Barrero, H. (2010). Modelo integral de crecimiento, perfil del fuste, grosor de corteza y densidad de la madera para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Estudio de caso EFI Macurije. Pinar del Río. 102 p. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. UPR.
- Beauregard, R. L., Gazo, R., Ball, R. D. (2002). Grade recovery, value, and return-to-log for the production of NZ visual grades (cuttings and framing) and Australian machine stress grades. *Wood and FiberSci.* 34(4):4S5-502.
- Cailliez, F. (1980). Estimación del Volumen forestal y predicción del rendimiento V 22 (1). Estimación del Volumen. Estudio FAO. Montes. Roma. 91 p. Disponible en <http://www.acofop.org/index.htm>.

Fecha de recibido: 10 enero 2019

Fecha de aprobado: 25 marzo 2019