

Modelo de crecimiento para *Caesalpinia violacea* (Mimosaceae) en la Empresa Forestal Integral (EFI) Guanahacabibes, Pinar del Río, Cuba.

Growth model for *Caesalpinia violacea* (Mimosaceae) in the Integral Forestry Enterprise Guanahacabibes, Pinar del Río, Cuba.

Jose Carlos Rodríguez García¹, Héctor Barrero Medel², Jerson Manuel Rodríguez García²

¹.- Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales "ECOVIDA", Delegación CITMA Pinar del Río, Km 2 ½ Carretera Luis Lazo, Pinar del Río, Cuba. E-mail: jcarlos@ecovida.cu

².- Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca", Facultad de Forestal y Agronomía, Departamento Forestal, Calle Martí final No. 270. E-mail: hbarrero@upr.edu.cu; jersonrodriguez1991@gmail.com

Fecha de recepción: 12 de diciembre de 2016 Fecha de aceptación: 27 de junio de 2017

RESUMEN. En el trabajo que se presenta tuvo como fin elaborar un modelo matemático de crecimiento para *Caesalpinia violácea* (Mill). Standl, en la Empresa Forestal Integral (EFI) Guanahacabibes para lo cual se establecieron parcelas temporales de las que se extrajeron los datos dendrométricos y dasométricos necesarios para el análisis, los mismos fueron procesados y se sometieron a pruebas estadísticas utilizando el paquete SPSS versión 15.02, y el CurveExpert versión 1.3 para Windows. Se evaluó la estructura vertical, un perfil de la vegetación con el empleo de las facilidades de software SVS versión 2.0, así como se ajusta una función de probabilidad de densidad (f.p.d). Como resultado del análisis se obtiene la representación de la estructura por clases diamétricas de la especie, la f.p.d de Weibull con las ecuaciones de los parámetros de escala y de forma resultantes, lo cual permite un estimado eficiente en el tiempo de las clases diamétricas, y con ello el despiece comercial de las masas de esta especie, elemento de gran importancia en la valoración de montes. La variable "altura dominante" resultó ser la indicadora del sitio a partir de la cual se obtienen los modelos de crecimiento de la masa del diámetro del árbol medio ($\bar{d}_{1,30}$), de la altura del árbol medio (\bar{h}), y el área basal por hectárea (G/ha). El sistema de curvas de índices de sitio permitió diferenciar las plantaciones en seis calidades, fijados estos para los valores 11, 14, 17, 20, 23 y 26 metros a la edad de 20 años.

Palabras claves: *modelo de crecimiento, función, probabilidad, densidad.*

ABSTRACT. In this paper presented was aimed at developing a growth model for *Caesalpinia violacea* (Mill). Standl in Integral Forest Enterprise (EFI) Guanahacabibes. To which temporary plots were established which data were extracted for analysis, and dasometric, dendrometric which were processed and submitted to statistical tests using SPSS version 15.02 and CurveExpert version 1.3 for Windows. We assessed the vertical structure of the vegetation profile with the use of the facilities SVS version 2.0 software and adjust a probability density function (fpd). As a result we obtain the representation of the structure by size classes of the species, the Weibull fpd with the equations of the scale parameter resulting shape, which allows time-efficient estimated diameter class and thus the commercial cutting

of the masses of this species, important element in the assessment of the mountains, the variable height control yourself indicator proved to be the site from which we obtain the growth models of the mass of the average tree diameter (), of average tree height (), and basal area per hectare (g / ha), and the system of site index curves plantations allowed to differentiate into six grades, set these to the values 11, 14, 17, 20, 23 and 26 meters at the age of 20 years.

Keywords: model, growth, function, probability density corridor.

INTRODUCCIÓN

Lograr el objetivo supremo del rendimiento sostenible constituye un empeño difícil de alcanzar. El enunciado aparentemente simple que lo define es acechado por multitud de presiones que constantemente pueden inclinar la balanza hacia una conservación efectiva de los recursos naturales o en el sentido de acciones insuficientes que no logran una gestión verdaderamente sostenible de los bosques. Resulta difícil conciliar las demandas de las generaciones presentes con los requerimientos y preferencias de las generaciones futuras. No puede predecirse con exactitud qué demandas impondrá un mercado cada vez más Globalizado y dinámico; lo que hoy es una demanda apremiante mañana puede ser relegado o sustituido. Una realidad si permanecerá: la función insustituible de los bosques en el medio ambiente de la Tierra. Existe una preocupación constante por atajar o reducir el agotamiento de los sistemas biofísicos que nos rodean que se ha dado en llamar Línea Verde del Ecodesarrollo (García, 2001).

La estimación de variables de difícil medición, como por ejemplo altura dominante a partir de la altura media, volumen a partir del diámetro o de este y la altura, son herramientas que permiten agilizar el inventario. La clasificación de sitios es indispensable para la fijación racional de la meta de producción y el turno y constituye la base para la elaboración de las tablas de rendimiento (tablas de producción) que poseen gran valor para la planificación del manejo en general (Vergara, 2007).

La vía para la obtención de la información anteriormente expuesta, es sin duda, la realización de estudios de crecimiento y rendimiento en las plantaciones con fines de producción maderera, los cuales, sustentados sobre la base de la experiencia acumulada hasta el presente y el desarrollo de las tecnologías del procesamiento de la información, constituyen una premisa de la planificación forestal, no puede aspirarse a un uso eficiente de los recursos forestales sin conocer el potencial productivo del bosque, hacer productivo a un bosque

conlleva a la inversión de costosos recursos materiales y humanos, así como la aplicación de una tecnología apropiada del dasónomo debe conocer la respuesta cualitativa y cuantitativa del bosque al manejo aplicado (Alder, 1980); Estos son los medios utilizados para lograr tal fin, los cuales se expresan prácticamente a través de las llamadas tablas de rendimiento o producción y más moderadamente modelos de crecimiento y rendimiento forestal, que no son más que la representación gráfica o tabular de los índices numéricos que simulan el desarrollo de un rodal en dependencia de la especie, la calidad del sitio o potencialidad productiva del ecótopo y el manejo silvícola (Mackay, 1961; Anuchin, 1970; Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982, Barrero, 2010).

En la actualidad las herramientas que simulan el crecimiento de *C. violacea*, generan bajos niveles de eficiencia en el proceso de toma de decisiones para la planificación del manejo y aprovechamiento de los bosques en la EFI Guanahacabibes, por lo que en el siguiente trabajo se ajustara un modelo de crecimiento para la especie que podrá lograr eficiencia en el proceso de toma de decisiones en el manejo y aprovechamiento de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de área de estudio (**Fig. 1**).

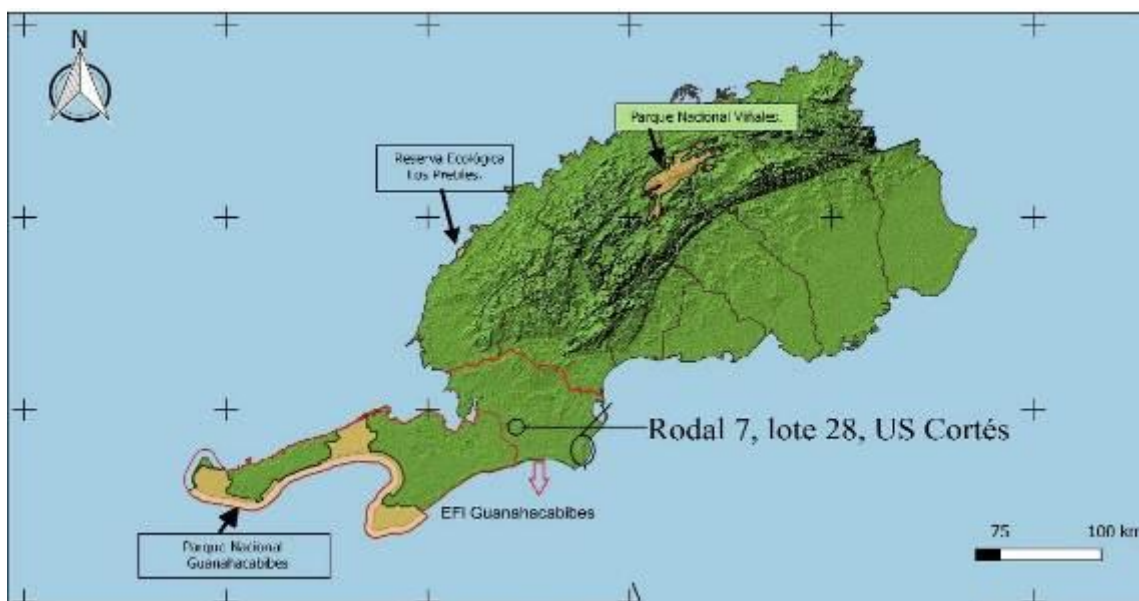


Figura 1. Ubicación del área de estudio (Rodal 7, Lote 28, Unidad Silvícola Cortés).

La investigación se desarrolló en la EFI Guanahacabibes la misma se encuentra ubicada a $21^{\circ} - 56' - 30''$ LN, $84^{\circ} - 13' - 40''$ en el extremo más occidental de Cuba, abarcando gran parte del municipio Sandino en la Provincia de Pinar del Río. Sus límites geográficos son los siguientes: al norte con el municipio de Mantua y el Golfo de Guanahacabibes; al sur con el Mar Caribe; al este con el municipio Guane y la Ensenada de Cortés y al oeste con el Canal de Yucatán. El área de estudio pertenece a la categoría de bosques Protector de la flora y fauna, presenta una superficie de 2.24 ha, ocupada por la especie *C. violacea*, plantada en el año 2006, presentando una edad hasta la fecha de iniciado este trabajo de 7 años en un terreno llano Vergara *et al.*, (2007).

Análisis de los datos

La muestra estuvo conformada por 60 unidades muestréales probabilísticas, 500 m² tamaño de unidad recomendados para plantaciones en los trópicos por De Nacimiento (1979), y Alder (1980) utilizándose las 45 unidades de muestreo temporales totales a razón de 3 mediciones consecutivas a partir del año 2013 (4), 2015 (24) y 2016 (14) además del registro de 15 mediciones históricas del inventario forestal clásico en la empresa de 15 plantaciones con diferentes edades, con el objetivo de representar el comportamiento histórico de esta especie en la empresa y disminuir el déficit de información sobre el crecimiento en determinadas edades.

El tipo de modelo de crecimiento utilizado es el de masas, siendo el método de construcción de las curvas de índice de sitio empleado el de la curva guía, seleccionándose para ello dos modelos, el de Schumacher, 1965 y el de Chapman, 1961; Richards, 1959.

La modelación de las variables dasométricas altura dominante (H_0), diámetro ($d_{1.30}$), altura (h), área basal por hectárea (G/ha) y volumen por hectárea (V/ha) se realizaron en función de la variable más fuertemente correlacionadas, utilizándose para su ajuste los modelos establecidos en el software CurveExpert ver.1.3 y el SPSS ver 15 para Windows.

RESULTADOS

Modelación del crecimiento de las variables dasométricas

El primer paso para la construcción de un modelo de crecimiento es la definición de la calidad de sitio, para ello se analiza la relación que existe entre la variable indicadora de la calidad de sitio que es la altura dominante con la edad y el resto de las variables dasométricas (**Tabla 1**).

Tabla 1. Matriz de Correlaciones de Pearson de las variables dasométricas, donde altura dominante es *Ho*, el diámetro es *d*, altura es *h*, área basal/ha es *g*, volumen/ha es *v* y factor de expansión es *FE*.

	Ho	edad	d	g	h	v	n	FE
Ho	1	,497(**)	,726(**)	,538(**)	,815(**)	,671(**)	-,395(**)	-,873(**)
Sig.		,001	,000	,000	,000	,000	,008	,000
N	44	44	44	44	44	44	44	44
edad	,497(**)	1	,588(**)	,405(**)	,625(**)	,558(**)	-,229	-,498(**)
Sig.	,001		,000	,006	,000	,000	,135	,001
N	44	44	44	44	44	44	44	44
d	,726(**)	,588(**)	1	,736(**)	,888(**)	,799(**)	-,524(**)	-,846(**)
Sig.	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
N	44	44	44	44	44	44	44	44
g	,538(**)	,405(**)	,736(**)	1	,603(**)	,914(**)	,087	-,620(**)
Sig.	,000	,006	,000		,000	,000	,576	,000
N	44	44	44	44	44	44	44	44
h	,815(**)	,625(**)	,888(**)	,603(**)	1	,792(**)	-,445(**)	-,956(**)
Sig.	,000	,000	,000	,000		,000	,002	,000
N	44	44	44	44	44	44	44	44
v	,671(**)	,558(**)	,799(**)	,914(**)	,792(**)	1	-,040	-,760(**)
Sig.	,000	,000	,000	,000	,000		,796	,000
N	44	44	44	44	44	44	44	44
n	-,395(**)	-,229	-,524(**)	,087	-,445(**)	-,040	1	,418(**)
Sig.	,008	,135	,000	,576	,002	,796		,005
N	44	44	44	44	44	44	44	44
FE	-,873(**)	-,498(**)	-,846(**)	-,620(**)	-,956(**)	-,760(**)	,418(**)	1
Sig.	,000	,001	,000	,000	,000	,000	,005	
N	44	44	44	44	44	44	44	44

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Existe una correlación aceptable y significativa de las variables dasométricas altura dominante (*Ho*) con la edad, el diámetro (*d*), altura (*h*), área basal/ha (*g*), volumen/ha (*v*) y factor de expansión (*FE*), no siendo así para el número de árboles (*n*) por hectárea que infiere que sea consecuencia del raleo realizado en el año 2015.

Es entonces la altura dominante la más fuertemente correlacionada con el resto de las variables dasométricas lo cual favorece la obtención de modelos en función de esta variable que indica la calidad del sitio.

Para ello se obtiene primeramente para esta variable analizando dos modelo biológicos asintóticos de crecimiento (Shumacher y Chapman-Richards) y se obtiene como resultado del ajuste de los modelos seleccionados con diferentes valores tentativos de β_2 parámetro relacionado con la velocidad de crecimiento y propuesto como la tasa de velocidad del crecimiento de mejor comportamiento para Shumacher 0,2 y para Chanman Richard 0,17, representándose la bondad de ajuste en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resultados del análisis de bondad de ajuste

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación
Chapman-Richards	,967(a)	,936	,932	,10132
Schumacher	,957(a)	,915	,910	,11638

Comparando la bondad de ajuste (**Tabla 2**) de cada una de las ecuaciones, el modelo de Chapman-Richards posee un mejor comportamiento de los coeficientes de correlación (R), coeficiente de determinación (R²) y error de estimación (Sx).

En la (**Tabla 3**) de resumen de ANOVA se puede observar que existe una relación significativa entre las variables $\alpha < 0,05$, el estadístico F contrasta la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero.

Tabla 3. Resultados del ANOVA con la expresión de relación entre las variables.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,541	1	2,541	247,480	,000(a)
Residual	,175	17	,010		
Total	2,715	18			

Por su parte en la (**Tabla 4**) el valor de *t* y sus niveles críticos (sig) contrastan la hipótesis nula de que los coeficientes valen cero en la población $\alpha < 0,05$, la pendiente poblacional de la

recta de regresión es significativamente distinta de cero lo que nos permite concluir que entre la altura dominante y la edad existe una relación lineal significativa; según este comportamiento la ecuación vendría dada por lo que expresa la siguiente:

Tabla 4. Coeficientes de la recta de regresión

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
B_0	3,062	,030		102,018	,000
B_1	2,982	,190	,967	15,732	,000

Sustituyendo los coeficientes no estandarizados de la regresión en el modelo quedan representados a continuación: $\ln H_0 = 3,062 + 2,982 * [1 - e^{-0,2 * \text{Edad}}]$

En la (**Figura 2**) se muestra el ajuste de la ecuación media de H_0 para la especie en la EFI Guanahacabibes.

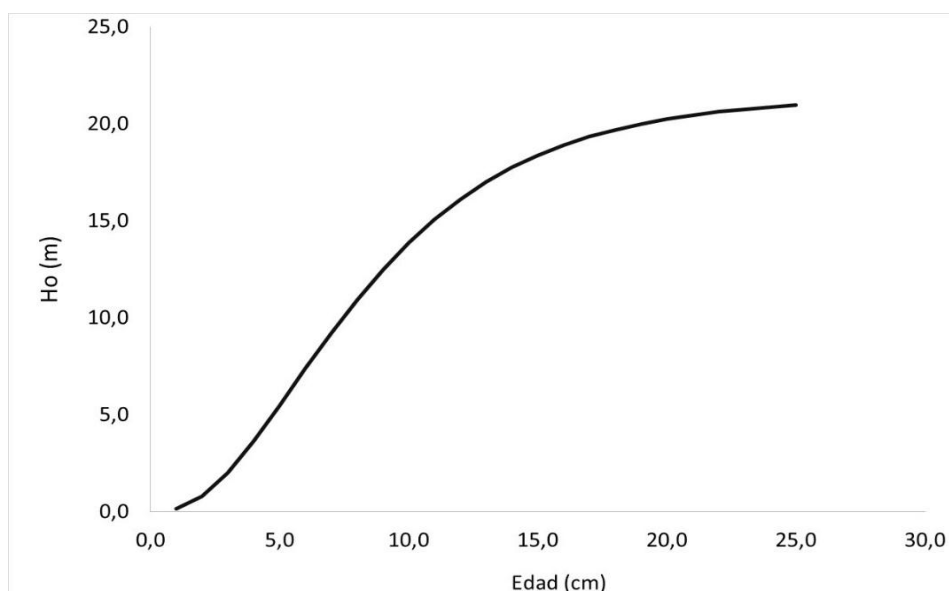


Figura 2. Curva del comportamiento medio de la altura dominante.

Los índices de sitio propuestos en las condiciones de estudio son los siguientes: 11, 17, 20, 23, 27 y 29 m a una edad base de 20 m; para los que se obtienen los siguientes valores de β_0 (Tabla 5):

Tabla 5. Valores de la constante u origen para cada IS

IS	11	14	17	20	23	26
β_0	10.4	13.2	16.1	18.9	21.8	24.6

Los modelos de crecimiento resultantes fueron los siguientes:

Tabla 6. Modelos de altura dominante H_0 por Índice de sitio

Calidad de sitio	IS	Ecuación
VI	11 m	$H_0 = 10,4 * [1 - e(-0,2*t)]^{2,982}$
V	14 m	$H_0 = 13,2 * [1 - e(-0,2*t)]^{2,982}$
IV	17 m	$H_0 = 16,1 * [1 - e(-0,2*t)]^{2,982}$
III	20 m	$H_0 = 18,9 * [1 - e(-0,2*t)]^{2,982}$
II	23 m	$H_0 = 21,8 * [1 - e(-0,2*t)]^{2,982}$
I	26 m	$H_0 = 24,6 * [1 - e(-0,2*t)]^{2,982}$

Sustituyendo en el sistema anterior la edad hasta un valor tentativo de 27 años donde ya se ha logrado la asíntota horizontal, se logra el has de curvas de índice de sitio siguiente **Fig. 3**.

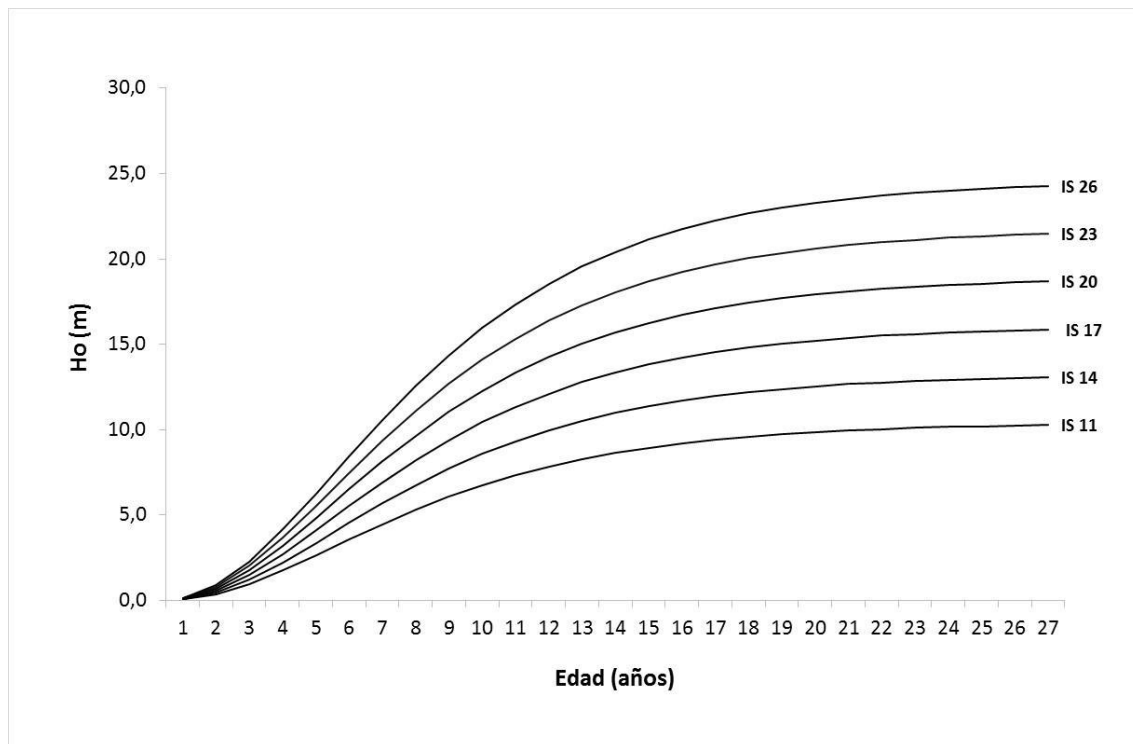


Figura 3. Curvas anamórficas de índice de sitio para *C. violácea*

El índice de sitio para una observación seleccionada de altura-edad viene dado por:

$$IS = Ho * \left[\frac{1 - e^{(-0,2*ti)}}{1 - e^{(-0,2*t)}} \right]^{2,982}$$

Elaborado el modelo de crecimiento de Ho, se procedió ajustar los modelos de crecimiento para las variables dasométricas h, d_{1,30}, G/ha y V/ha.

Para la altura media se obtienen un total de 6 modelos (**Tabla 7**) con buen comportamiento predictivo siendo el Reciprocal Quadratic y un polinomio de Tercer Grado con las mejores bondades de ajuste los menores errores estándar 1.17 y el coeficiente de determinación más altos 0.973.

Tabla 7.- Bondad de ajuste de los modelos de $H=f(H_0)$

Modelos	R	R ²	R ² corregida	Se
Reciprocal Quadratic	0.987	0.973	0.972	1.17
3rd degree Polynomial Fit	0.987	0.973	0.972	1.17
Geometric Fit	0.986	0.972	0.971	1.18
Exponential Association (3)	0.986	0.973	0.971	1.18
Hoerl Model	0.986	0.972	0.971	1.18
Logistic Model	0.986	0.971	0.970	1.21

En la **Fig. 4** se representa el comportamiento del sitio medio para la altura del árbol medio.

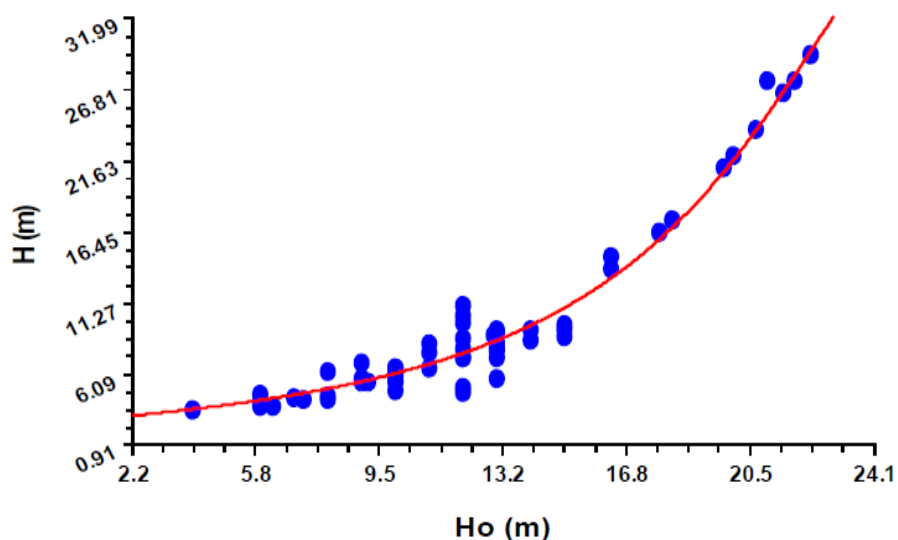


Figura 4. Representación del ajuste del modelo para la altura media.

Sustituyendo los coeficientes no estandarizados de la regresión quedan representado el modelo a continuación:

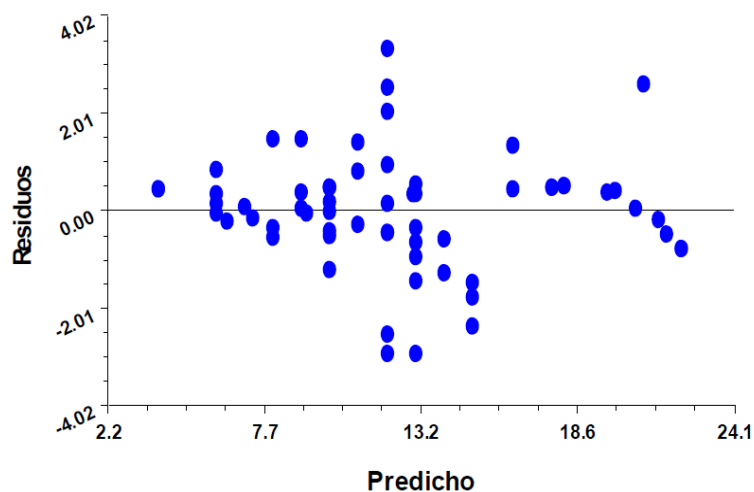


Figura 5.-Distribución de los residuos.

Para el caso del diámetro medio se obtuvieron un total de 4 modelo (**Tabla 8**) resultando una parábola cubica el de mejor ajuste con el menor error estándar 1.42 y el mayor coeficiente de determinación.

Tabla 8.- Bondad de ajuste de los modelos de $D_{1.30}$

Modelos	R	R ²	R ² corregida	Se
3rd degree Polynomial	0.98	0.97	0.97	1.42
Exponential Association	0.98	0.96	0.96	1.48
Logistic	0.98	0.96	0.96	1.50
Quadratic	0.97	0.95	0.94	1.81

En la **Fig. 6** se representa el comportamiento del diámetro medio a 1.30 del sitio promedio en la EFI Guanahacabibes.

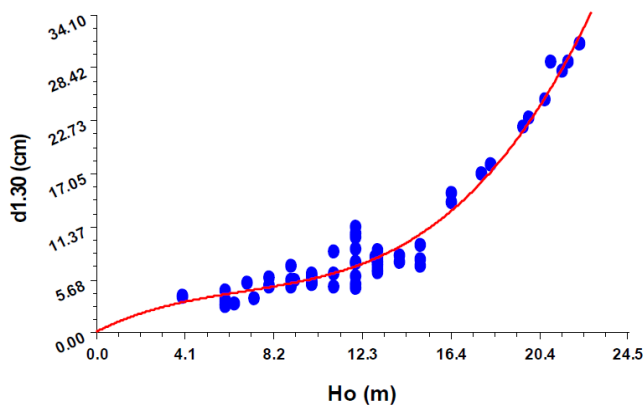


Figura 6. Representación del ajuste del modelo para $d_{1.30}=f(H_o)$.

Sustituyendo los coeficientes no estandarizados de la regresión en el modelo quedan representados a continuación: $D_{1.30}=0.093+1.1784*H_o-0.1194*H_o^2+0.0059*H_o^3$

Un análisis de los residuos de este modelo de mejor ajuste se representa en la **Fig. 7**.

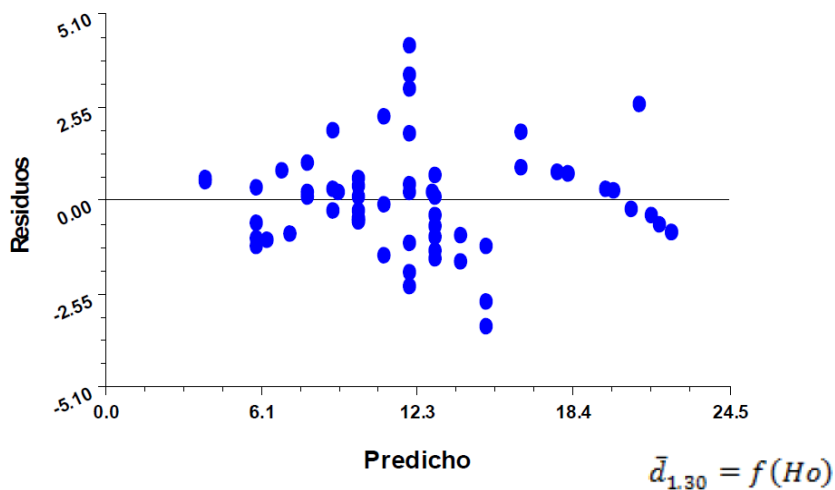


Figura 7. Pautas de distribución de los residuos modelo de:

En la **Fig. 7** se demuestra el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianza, al ubicarse los residuos entre bandas ubicando el 95% de los valores cercanos a cero entre 2 y -2 lo que suministra confiabilidad en la estimación.

En relación al área basal se obtuvieron un total de 6 modelos (**Tabla 9**) resultando el modelo Logístico el de mejor bondad de ajuste con el menor error de estimación de 6.20 y el coeficiente de correlación más alto de 0.85.

Tabla 9.-Resumen de los modelos para el G (m²/ha).

Modelos	R	R ²	R ² corregida	Se
Logistic	0.85	0.72	0.71	6.20
Hoerl	0.84	0.71	0.70	6.29
Modified Exponential	0.83	0.69	0.68	6.32
Gompertz Relation	0.84	0.71	0.69	6.32
Weibull	0.85	0.72	0.70	6.46

En la **Fig. 8** se muestra una representación del comportamiento del G (m²/ha) del sitio medio.

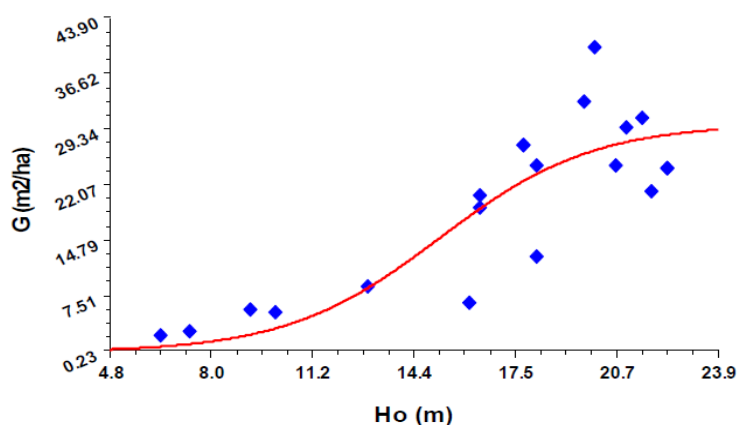


Figura 8. Representación del ajuste del modelo para $G \text{ (m}^2\text{/ha)} = f(Ho)$.

Sustituyendo los coeficientes no estandarizados de la regresión quedan representado el modelo a continuación:

$$G = \frac{29.995}{1 + 545.72 * e^{-0.416 * Ho}}$$

Un análisis de los residuos **Fig. 9** nos permite afirmar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianza.

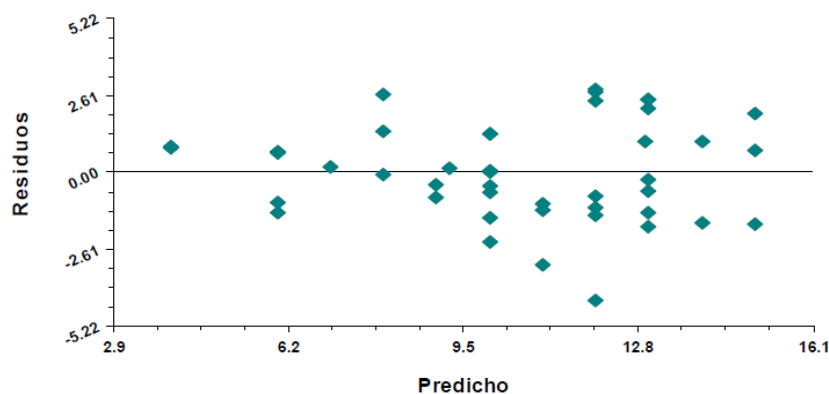


Figura 9. Pautas de distribución de los residuos del modelo de $G \text{ (m}^2\text{/ha)}=f(H_0)$.

Para el caso del $V \text{ (m}^3\text{/ha)}$ se seleccionaron como modelos de mejor ajuste un total de 4 modelos resultando el modelo de mejor ajuste el Weibull con el menor error estándar de 40.3 y el coeficiente de determinación más alto de 0.85 (**Tabla 10**).

Tabla 10.-Resumen de los modelos para el $V \text{ (m}^3\text{/ha)}$

Modelos	R	R ²	R ² corregida	Se
Power	0.91	0.83	0.82	40.3
Weibull	0.92	0.85	0.84	40.3
Hoerl	0.91	0.84	0.83	40.6
Geometric	0.90	0.81	0.80	42.9

Una representación del comportamiento del $V \text{ (m}^3\text{/ha)}$ del sitio medio se observa en la **Fig.10**.

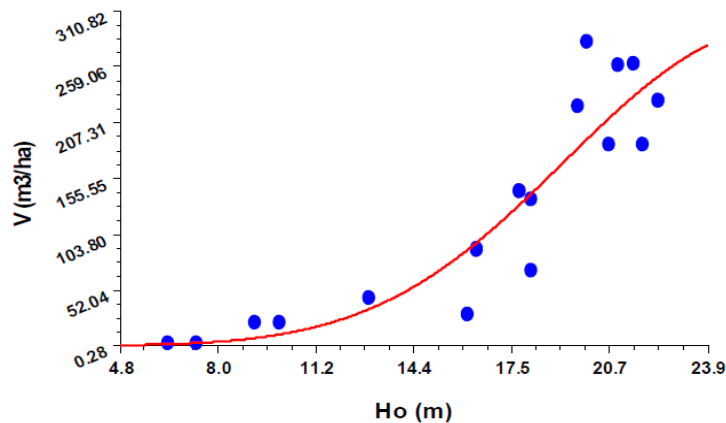


Figura 10.-Representación del ajuste del modelo para $V(m^3/ha)=f(Ho)$.

Sustituyendo los coeficientes no estandarizados de la regresión quedan representado el modelo a continuación:

$$V = 310.8136 - 309.91 * e^{-4.8428e-007 * Ho^{4.8412}}$$

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la **Tabla 2** coinciden con los reportados por Fidalgo y García (2005) para *Tectona grandis* en la EFI Granma, y para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Pinar del Río por García (2002) y Barrero (2010).

Cumplimentándose los resultados obtenidos en las **Tablas 2, 3 y 4** nos permite concluir que entre la altura dominante y la edad existe una relación lineal significativa esto coincide con lo planteado por García *et al.* (1998) *Swietenia macrophylla*, Galan *et al.* (2008) *Cedrela odorata* y *Tabebuia donnell-smithii*.

En la **Fig. 2** coinciden los resultados del mejor ajuste con los encontrados por García *et al.* (1998) quienes desarrollaron ecuaciones de índices de sitio para *Swietenia macrophylla* en plantaciones en Quintana Roo, México y por Galan *et al.* (2008) para plantaciones de *Cedrela odorata* y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, México con un R^2 de 0,919.y error típicos de 2,34.

Con el ajuste del modelo de Chapman-Richards se generaron familias de curvas anamórficas de IS en correspondencia con lo encontrado para otras especies de crecimiento rápido en

Cuba, como en *Pinus tropicalis* por Padilla (1999); en *Eucalyptus sp* por Peñalver (1991) y para *Hibiscus elatus* por Zaldívar, (2000). (**Fig. 3**).

Esta ecuación permite conocer para una observación dada de altura dominante-edad con un t_i fijado, el índice de sitio al cual pertenece el área, facilitando el trabajo de ordenación para la clasificación de los sitios.

Las curvas de crecimiento obtenidas permiten clasificar las plantaciones en su productividad potencial y diferenciar claramente seis (6) calidades por lo que se considera que este estudio es de utilidad en la aplicación de los manejos silvícolas así como en el establecimiento del turno para el aprovechamiento final.

Este modelo ha sido ampliamente utilizado y efectivo por Galan *et al.*, (2008) para *Cedrela odorata* y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, en San José Chacapala, Pochutla, Oaxaca, México y por Barrero, 2010 para *Pinus caribaea var caribaea* en la EFI Macurije en la provincia de Pinar del Río, Cuba. **Tablas 6 y 7**.

Según muestra la **Fig. 5**, este comportamiento de la altura se corresponde con el encontrado por Fors (1975) quien en reporta alturas de un metro al año y de 2 a 3 m en los tres primeros años.

El modelo obtenido para $V(m^3/ha)=f(H_0)$, Coinciden con lo reportado para esta especie por Fors (1975), Sablón (1985) y Prodan *et la* (1997). (**Fig. 7**).

Un análisis de los residuos (**Fig. 5**) nos permite afirmar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianza, al ubicarse los residuos entre bandas sin seguir una pauta específica de asociación lo que también garantiza que los datos fueron tomados aleatoriamente, todo ello certifica la confiabilidad en el uso en la práctica social del modelo ajustado, sobre todo como herramienta en la toma de decisiones del manejo y aprovechamiento forestal de la EFI Guanahacabibes para manejos futuros.

Como se constata en la figura 9 los residuos no siguen ninguna pauta de asociación y se ubican en una banda, lo cual indica homogeneidad de varianza, se constata además que existen estimaciones que sobrestiman pero no son la gran mayoría lo cual se corresponde con el ajuste obtenido representado por el R^2 y el error de estimación.

CONCLUSIONES

La estructura por clase diamétrica de la especie se ajustan efectivamente a la f.p.d de Weibull quedando evidenciado por el buen ajuste de las ecuaciones de los parámetro de escala y de forma resultantes, lo cual permite un estimado eficiente en el tiempo de las clases diamétricas y con ello el despiece comercial de las masas de esta especie, elemento de gran importancia en la valoración de montes.

La variable altura dominante resultó ser la indicadora del sitio a partir de la cual se obtienen los modelos de crecimiento de la masa del diámetro del árbol medio, de la altura del árbol medio, y el área basal por hectárea (G/ha).

El conocimiento de las 5 variables modeladas permite tomar decisiones sobre el manejo futuro y evaluar el existente, el cual se puede evaluar como aceptable al corresponderse los incrementos de las variables dasométricas con los encontrados en la literatura para esta especie en el país. El uso de las ecuaciones permite al tasador actualizar el inventario forestal para la ordenación de montes actividad que representa el 70% de los costos de la ordenación, lo cual sustituye casi el 90% del trabajo de campo algo que representa una contribución económica considerable a la economía de esta empresa solo por este concepto.

El sistema de curvas de índices de sitio permitió diferenciar las plantaciones en seis calidades, fijados estos para los valores 11, 14, 17, 20, 23 y 26 metros a la edad de 20 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldana E. 1983. Ein Beitrag zur Waldinventur in Kuba Dargestelltan untersuchungen in den Kiefern wäldern der Oberförsterei Cajálbana.

<http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>

Alvarez P y Varona, J. 1988. *Silvicultura*. La Habana: Félix Varela. 959-07-0153-1.

Alder D. 1980. *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos*. 1, Roma: FAO, 1980, Vol. 2. 81-92

Álvarez J.G., 1997. *Análisis y caracterización de las distribuciones diamétricas de Pinus pinaster Ait. En Galicia*. 2, Madrid: INIA, diciembre de 1997, Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, Vol. 11. 89-102.

Andenmatten E y Letourneau, E. 2010. Modelo de Rendimiento Forestal. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.

- Abellanas M, Abellanas B y García O y Vilas C. 2009. Un Modelo informático simula el crecimiento de un bosque. <http://supertoolbar.ask.com>.
- Báez R. 1988. *Estudio dasométrico de plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst. En suelos senagosos de la provincia de La Habana. 2*, La Habana: s.n., 1988, Vol. 10. 74-89.
- Báez R y Gra H. 1988. *Estudios dasométricos en Casuarina equisetifolia. L. Tablas de volumen. 2*, 1988, Revista Forestal Baracoa, Vol. III. 23-47.
- Barrero H 2010. Modelo integral de crecimiento, perfil de fuste, grosor de corteza y estudio de la microdensidad de la madera para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Ggolfari. Estudio de caso EFI Macurijes. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Burkhart H.E y Strub M.R. 1974. *A model for simulation of planted loblolly pine stands. In Growth models for tree and stand simulation.* s.l.: IUFRO, 1974, Vol. 1. 4-14.
- Blanco J.A. 2007. *Testing the performance of a forest ecosystem model (FORECAST) against 1 29 years of field 2 data in a Pseudotsuga menziesii plantation.* Vol I, n:37,. 1808-1820.
- Bailey R.L y Dell, T.R. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Blanco J.A. 2008. Modelización forestal: herramienta importante para pronosticar el desarrollo de los ecosistemas forestales. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Bijit M.A. 1988. *Distribuciones diamétricas para rodales de Pinus radiata D. Don en Arauco.* Arauco, Chile: s.n., Vol. I. 54-02.
- Bobkó A y Aldana, E. 1981. Ordenación de Montes. Partes 1 y 2. Facultad Forestal, Universidad Pinar Del Rio.
- Bonnor G.M. 1967. *Predicting stand diameter distributions for red pine plantations in Ontario.* Ontario: FMR, <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Cano M.O. 1984. Proyección de la tabla de rodal en modelos de crecimiento en *Pinus radiata* (D.Don). <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Curtis R. O. 1972. *Yield tables-past and present.* 71, 1972, Vol. 1. 28-32. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Cluter J.L y Bennett, F.A. 1965. *Diameter distribution in old-field slash pineplantations.* 13, Georgia: FOR RES. 354-71.
- Clutter J., 1983. Timber management: A quantitative approach. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- De Nacimiento J. 1979. *Tabla de surtidos para Pinus tropicallis.* 36, 1979, Revista Forestal Baracoa, Vol. 9. 69-79.
- De Nacimiento J. 1979. *Comparación de dos unidades de muestreo para Pinus tropicallis.* 1-2, La Habana: s.n., 1979, Revista Forestal Baracoa, Vol. 9. 36-47.

- Departamento Forestal, Colectivo de autores 1983. Investigaciones para la elaboración de una tabla de rendimiento preliminar para el *Pinus caribaea* var. *caribaea*. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- De los Santos R., 2008. *Crecimiento y rendimiento de Cedrela odorata L. y Tabebuia donnell-smithii Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca*. 2, Oaxaca: s.n., 2008, Revista Madera y Bosque, Vol. 14. 65-82.
- FAO. 1980. *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento*. 1980, Vol. 1. 25-36.
- Ferrere P., 2003. *Funciones de volúmenes totales, parciales y de forma en Pinus caribaea var. caribaea*. Montecarlo: EEA, Vol II. 26-39.
- Fidalgo D y García I. 2005. Tablas de producción para plantaciones jóvenes de *Tectona grandis* L.f. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Fors A.J. 1975. *Maderas cubanas*. La Habana: Pueblo y Educación, 1975.
- Fierros A.M y Montero M. 2003. *Predicción de crecimiento de Pinus caribaea var. hondurensis Barr y Golf.*, en *La Sabana, Oaxaca México*. Oaxaca, México: Revista Forestal Centroamericana, Vol I. 20-25.
- Ferguson C.W. 1979. *Dendrochronology of bristlecone pine, Pinus longaeva L.* Environment: s.n., 1979, Vol. 2. 209-214.
- Gadow K.V P. Real y J.G. Álvarez 2010. *Modelización del crecimiento y la evolución de los bosques*. Viena : s.n., 2010, Vol. 12. 15-26.
- García. 2001. Bases para el control y la planificación para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en la provincia de Pinar del Río. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- García Güemes C y Montero G. 1998. Influencia de ciertas variables selvícolas en la pudrición provocada por *Phellinus pini* sobre *Pinus pinea*. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- García I. 2004. Bases para el control y planificación del *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* Barret y Golfari en la provincia de Pinar del Río. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- García O. 2010. El enfoque del espacio de estados en modelos de Crecimiento. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- García Y. 2002. Variabilidad genética en pruebas combinadas de procedencia/progenies en *Pinus caribaea* Morelet var, *caribaea* Barret y Golfari. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Goelz J. C y Burk T. E. 1992. Development of a well - behaved site index equation: Jack pine in north central Ontario. Can. J. For. Res. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Gra A., 1990. *Tablas de Volumen y surtido y densidad del Pinus caribaea en plantaciones puras para Cuba*. La Habana: s.n., 1990. 509-09.24.
- Hafley W.L y Schreuder, H.T. 1977. *Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands*. 7, s.l.: FOR RES, 1977, Vol. II. 41-57.

- Hyink D.M. 1979. *A generalized method for the projection diameter distributions applied to unevenaged forest stands*. New York: s.n., 1979. 102-406.
- Kimmins J.P, Maily D. y Seely B. 1999. *Modelling forest ecosystem net primary production: the hybrid simulation approach used in FORECAST*. 122, s.l.: Ecological, Vol III. 195-224.
- Kikki P., Maltamo M., Mykkänen R., Päivinen, R. 1989. *Use of the Weibull function in estimating the basal area dbh-distribution*. 2, Madrid: INIA, diciembre de 1989, Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, Vol. 11. 19-30.
- Lemoine B. 1980. *Densité de Peuplement, concurrence et coopération chez le Pin maritime. II. Résultats á 5 et 10 ans d'une plantation á espacement variable*. 2, 1980, Vol. 11. 217-237.
- Linares E, Álvarez A y Diago L y Mercadet A. 2008. Situación del patrimonio y las plantaciones forestales de la República de Cuba. 2008. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Maltamo M., Puumalainen J., Päivinen R. 1995. *Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of Pinus sylvestris*. 2, Madrid: INIA, diciembre de 1995, Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, Vol. 11. 35-48.
- Maldonado D, Nívar J. 2002. *Ajuste y predicción de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de plantaciones de pino de durango*. 001, Xalapa, México: s.n., Madera y Bosques, Vol. 8. 66-77.
- Mcgee C.E y Della-Bianca, L. 1974. *Diameter distributions in natural yellow-poplar stand*. S.l.: USDA For. SE-25.
- Meredieu, C. 1998. Croissance et branchaison du Pin Laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. (Poiret) Maire): Élaboration et évaluation d'un système de modèles pour la prevision de caractéristiques des arbres et du bois. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Prodan M., Peters R., Cox F. y Real P. 1997. *Mensura Forestal*. San Jose: IICA, 1997.
- Padilla G. 1999. Tablas dasométricas para plantaciones de *Pinus tropicallis* Morelet. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Peñalver A. 1991. Estudio del crecimiento y Rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus sp* de la provincia de Pinar del Río. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Peraza O. 2011. Turnos de corta para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la provincia de Pinar del Río, Cuba. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Prodan M. 1997. *Mensura Forestal*. San José, Costa Rica: IICA/GTZ, 203.
- Sablón M.A. 1985. *Dendrología*. La Habana: Ciencia-Tecnología, Vol II. 23-49.
- Prodan M. 1953. *Verteilung des Vorrates gleichaltriger Hochwaldbestände auf Durchmesserstufen*. 4, s.l.: AFJZ, 1953, Vol. II. 93-106.
- Rennolls K., Geary D.N., Rollinson T.J. 1985. *Characterizing diameter distribution by the use of the Weibull distribution*. 2, Madrid: INIA, Vol. 11. 14-26.

- Rodríguez M y Arteaga B. 2005. *Índice de sitio para Pinus chiapensis (Mtez) andrese, en los estados de Veracruz y Puebla, México*. 9, Chapingo, México: s.n., 2005, Vol. 11. 39-44.
- Schreuder, H.T., 1978. *Maximum likelihood estimation for selected distributions (MLESD)*. 61, s.l.: FOR RES, Vol. I. 53-65.
- Thomasius H. 1974. *Reisebericht-Vorlage zum Sommerkurz der Universität Havana-Sommerkurz*. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Torres J.M. 2001. *Curvas de índice de sitio de forma y escala variables en investigaciones forestales*. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Vergara L, Baños R. y Martínez L. 2016. *Proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal de la Empresa Forestal Integral*. Guanahacabibes: s.n., 2007-2016. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.
- Verbug P.S.J y Johnson D.W. 2001. *A spreadsheet-based biogeochemical model to simulate nutrient cycling processes in forest ecosystems*. 141, s.l.: Ecological Modelling, Vol II. 185-200.
- Zoehrer F. 1969. *The application of the beta function for best fit of stem diameter distributions in inventories of tropical forest*. 74, 1969, Vol. III. 207-34.
- Zaldívar A. 2000. *Estudio dasométrico de plantaciones de Hibiscus elatus SW en la provincia de Pinar del Río*. <http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Libros>.