



Revista Chapingo. Serie Ciencias
Forestales y del Ambiente
ISSN: 2007-3828
rforest@correo.chapingo.mx
Universidad Autónoma Chapingo
México

Barrero-Medel, Héctor; Mothe, Frédéric; Nepveu, Gérard; Álvarez-Lazo, C Daniel; García-Corona, Ilya;
Guera, Mariel

CURVAS ANAMÓRFICAS DE ÍNDICE DE SITIO PARA PLANTACIONES DE *Pinus caribaea* Morelet
var. *caribaea* Barret y Golfari DE LA EMPRESA FORESTAL INTEGRAL MACURIJE (EFI) EN LA
PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA

Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 17, núm. 2, 2011, pp. 245-252
Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62919277007>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



CURVAS ANAMÓRFICAS DE ÍNDICE DE SITIO PARA PLANTACIONES DE *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari DE LA EMPRESA FORESTAL INTEGRAL MACURIJE (EFI) EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA

ANAMORPHIC SITE INDEX CURVES FOR *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret and Golfari plantations belonging to the MACURIJE INTEGRAL FOREST COMPANY IN THE PROVINCE OF PINAR DEL RIO, CUBA

Héctor Barrero-Medel¹; Frédéric Mothe²; Gérard Nepveu²; C Daniel Álvarez-Lazo¹; Ilya García-Corona¹; Mariel Guera¹

¹Universidad de Pinar del Río.

²Instituto de las Investigaciones Agronómicas de Francia.

Correos-e: hbarrero@af.upr.edu.cu; mothe@nancy.inra.fr; nepveu@nancy.inra.fr; ilia@af.upr.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se seleccionó el mejor modelo para la obtención de curvas anamórficas de índice de sitio para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, en las condiciones de la Empresa Forestal Integral Macurije, perteneciente a los municipios Guane y Mantua de la provincia de Pinar del Río. Para ello se utilizó el registro de los datos de 14 parcelas permanentes establecidas en el año 2006 con mediciones consecutivas efectuadas y distribuidas en las diferentes Unidades Básicas de Producción Forestal (UBPF), 256 parcelas temporales distribuidas al azar en todo el patrimonio de la empresa y el inventario de la ordenación realizado en los años 2002-2003. El método de construcción del sistema de curvas de índice de sitio empleado mediante el principio anamórfico fue el de regresión anidada aplicado por Bailey y Clutter (1976) y descrito por Alder (1980) como método de regresión jerárquica con estimador de pendiente común. Como resultado del ajuste se obtuvieron las ecuaciones para la altura dominante (Ho) para los 13, 16, 19, 22, 25 y 28 metros a la edad base de 35 años, así como la ecuación para la determinación del índice de sitio.

Recibido: 3 de junio, 2010
Aceptado: 7 de diciembre, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.06.035
http://www.chapingo.mx/revistas

PALABRAS CLAVE: Calidad de sitio, incremento, edad, funciones

ABSTRACT

In this work we selected the best model for obtaining anamorphic site index curves for *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret and Golfari stands belonging to the Macurije Integral Forest Company, located in the municipalities of Guane and Mantua in the province of Pinar del Rio, Cuba. We used data recorded from 14 permanent plots established in the year 2006 with four consecutive measurements taken throughout the different Basic Forest Production Units, 256 temporary lots randomly distributed throughout the enterprise area and the forest inventory carried out by the company in 2002-2003. The anamorphic-based site index curve system was constructed using the nested regression method applied by Bailey and Clutter (1976) and described by Alder (1980) as a method of hierarchical regression with a common slope estimator. The model fitted dominant height (Ho)-age data, and six site indices were derived for 13, 16, 19, 22, 25 and 28 m at 35 years old. In addition, the equation for determining the site index was obtained.

KEY WORDS: Site quality, increment, age, functions

INTRODUCCIÓN

Los modelos de crecimiento convencionales describen la productividad indirectamente a través de la determinación del índice de sitio. El indicador más utilizado es la altura dominante a una edad base, por lo cual se hace necesaria la descripción de un modelo que represente, lo más cerca posible de la realidad, la relación edad-altura

INTRODUCTION

Conventional growth models describe productivity indirectly through determining site index. The most widely used indicator is dominant height at a base age, so it is necessary to describe a model that represents, as close as possible to reality, the dominant height-age relationship, resulting in a system of site index curves. These curves can

dominante, resultando un sistema de curvas de índices de sitio del mismo. Estas curvas pueden ser anamórficas o polimórficas.

En Cuba la construcción de las curvas de índices de sitio ha sido realizada en su totalidad sobre principios anamórficos, de formas análogas, isomórficas y proporcionales, basados en la hipótesis de la relación altura-edad para los diferentes sitios con una tendencia constante independientemente de la edad. La construcción de las curvas de índices polimórficas no ha sido posible debido a la inexistencia de largas series cronológicas provenientes de parcelas permanentes de monitoreo que permitan explicar la evolución de cualquier masa, ya sea en plantación o natural de la altura en función de la edad, obtenidas de parcelas permanentes o mediante el análisis troncal. Zaldívar (2000) hace referencia a este aspecto señalando los ambiciosos planes de reforestación cubanos, a los que no se pudo brindar las atenciones necesarias y menos aún algo tan elemental e importante como el registro histórico del desarrollo de las mismas (por ejemplo una adecuada red de parcelas permanentes), lo cual hubiese constituido una fuente de inestimable valor para realizar los estudios necesarios y así planificar mejor y sobre bases sólidas el manejo sostenible. Por ello en este trabajo se cuenta con datos provenientes de tres fuentes: parcelas temporales, parcelas permanentes y el registro de tasación de la ordenación de la empresa, con el objetivo de acercar más a la realidad el comportamiento de la relación altura-edad-índice de sitio y establecer curvas de índice de sitio para el *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari de la Empresa Forestal Integral Macurije en la provincia de Pinar del Río, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, para lo cual se tomó el registro de unidades muestrales de área fija circular de 400 m² (radio=11.28 m) de 14 parcelas permanentes establecidas en el año 2006, con cuatro mediciones consecutivas efectuadas y distribuidas en las diferentes Unidades Básicas de Producción Forestal (UBPF), como se indica en el Cuadro 1.

En la investigación se emplearon además 256 parcelas temporales de muestreo y el registro del inventario de la ordenación de la empresa realizado en los años 2002 y 2003, con el fin de obtener la mayor cantidad de registros de mediciones posibles y así capturar mejor la variación natural. De estas unidades se emplean los datos de las variables dasométricas: altura media (H) y altura dominante (H₀).

Todas las parcelas fueron sometidas a pruebas de normalidad mediante el estadístico de Kolmogorov-Smirnov, obteniéndose resultados satisfactorios para el 95 % de las distribuciones de frecuencia diamétrica.

be anamorphic or polymorphic.

In Cuba, site index curves have been constructed entirely on anamorphic principles, in analogous, isomorphic and proportional forms, based on the height-age relationship hypothesis for the different sites with a constant trend independent of age. Construction of polymorphic index curves has not been possible due to the lack of long time series from permanent monitoring sites that allow explaining the evolution of any stand, either planted or natural, based on height as a function of age, obtained from permanent plots or through trunk analysis. Regarding this point, Zaldívar (2000) makes note of Cuba's ambitious reforestation plans, which neither received the necessary care nor included something as basic and important as a historical record of their development (for example, a suitable network of permanent plots), which would have been a source of inestimable value to perform the necessary studies and thus better plan, on solid foundations, sustainable management strategies. For this reason, this study draws on data from three sources, namely temporary plots, permanent plots, and company forestry inventory records, in order to represent as close to reality as possible the behavior of the height-age-site index relationship and establish site index curves for *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret and Golfari stands belonging to the Macurije Integral Forest Company in the province of Pinar del Río, Cuba.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret and Golfari *caribaea* plantations. Data was gathered from circular 400 m² (radius=11.28 m) fixed-area sampling units located in 14 permanent plots established in the year 2006, with four consecutive measurements taken throughout the different Basic Forest Production Units (herein referred to by the Spanish acronym UBPF), as shown in Table 1.

CUADRO 1. Distribución de las parcelas permanentes

TABLE 1. Distribution of the permanent plots

US	UBPF	Unidades Muestrales
Guane	Los Ocujes	3
Guane	Las Cañas	3
Guane	Sábalo	3
Mantua	Río Mantua	2
Mantua	Macurije	3
		14

In the study, we also used 256 temporary sampling plots and the company's forestry inventory records compiled in 2002 and 2003 in order to have as many measurement records as possible and thus better capture the natural variation. From these units, we used the data related to

Se tomó como indicador de la productividad del sitio la altura dominante, que es igual al valor de la altura promedio de los 100 árboles más gruesos en una hectárea. Esta variable es en alto grado independiente de la densidad y del manejo, siempre que los raleos y/o podas no sean muy intensos (Prodan *et al.*, 1997).

El método empleado para determinar el índice de sitio fue el de regresión anidada, aplicado por Bailey y Clutter (1974) y descrito por Alder (1980) como método de regresión jerárquica con estimador de pendiente común.

Se utilizaron modelos denominados con restricciones en los que se fuerza la altura dominante para que coincida con el índice de sitio a la edad de referencia. Los modelos empleados son los siguientes:

$$Ho = \beta_0 * e^{\frac{\beta_1}{t^{\beta_2}}} \quad (\text{Schumacher, 1939})$$

[ecuación 1]

$$Ho = \beta_0 * \left[1 - e^{-\beta_2 * t}\right]^{\beta_1} \quad (\text{Chapman, 1961; Richards, 1959})$$

[ecuación 2]

Donde:

Ho: altura dominante

e=2.71828.

β_0 , β_1 y β_2 parámetros estadísticos a ser ajustados

t: edad

Estas dos ecuaciones describen una sigmoidal, y han sido de las más utilizadas para la determinación de los índices de sitio y modelos de crecimiento (García, 1983; Báez, 1988; Peñalver, 1991; Padilla, 1999; Ferrere *et al.*, 2001).

Para usar regresión lineal fue necesario linealizar estas ecuaciones utilizando en ambos lados de la ecuación logaritmos de base e (ln), con lo cual se consigue:

$$\text{Schumacher: } \ln Ho = \ln \beta_0 + \frac{\beta_1}{t^{\beta_2}}$$

[ecuación 3]

$$\text{Chapman-Richards: } \ln Ho = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln \left[1 - e^{-\beta_2 * t}\right]$$

[ecuación 4]

Haciendo $\beta_0 = \ln H_{\text{máx}}$, entonces β_0 y β_1 pueden ajustarse por regresión lineal siempre que β_2 sea conocido. Para la mayor parte de las especies los valores apropiados de β_2 varían entre 0.2 y 2 (Alder, 1980).

the following dasometric variables: average height (H) and dominant height (Ho).

All plots were tested for normality using the Kolmogorov-Smirnov statistic, obtaining satisfactory results for 95% of the diameter frequency distributions.

Dominant height, which is equal to the average height of the 100 thickest trees on one hectare, was taken as a site productivity indicator. This variable is highly independent of density and forest management, provided that thinning and/or pruning are not very severe (Prodan *et al.*, 1997).

Site index was determined using the nested regression method applied by Bailey and Clutter (1974) and described by Alder (1980) as a method of hierarchical regression with a common slope estimator.

Known models were used with restrictions in which dominant height is forced to match with site index at the reference age. The models used were:

$$Ho = \beta_0 * e^{\frac{\beta_1}{t^{\beta_2}}} \quad (\text{Schumacher, 1939})$$

[ecuación 1]

$$Ho = \beta_0 * \left[1 - e^{-\beta_2 * t}\right]^{\beta_1} \quad (\text{Chapman, 1961; Richards, 1959})$$

[ecuación 2]

Where:

Ho: dominant height

e=2.71828.

β_0 , β_1 and β_2 statistical parameters to be fitted

t: age

These two equations describe a sigmoid, and they are the most widely used for determining site indices and growth models (Garcia, 1983; Báez, 1988; Peñalver, 1991, Padilla, 1999; Ferrere *et al.*, 2001).

To use linear regression, it was necessary to linearize these equations using on both sides of the equation logarithms to base e (ln), thus obtaining:

$$\text{Schumacher: } \ln Ho = \ln \beta_0 + \frac{\beta_1}{t^{\beta_2}}$$

[ecuación 3]

$$\text{Chapman-Richards: } \ln Ho = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln \left[1 - e^{-\beta_2 * t}\right]$$

[ecuación 4]

Una vez que la curva de crecimiento de la altura promedio ha sido ajustada, pueden trazarse curvas de la misma forma que pasen por diferentes valores del índice de sitio; si este índice de sitio IS se define como la altura dominante del rodal a una edad t_i , el parámetro β_0 de la curva que pase por este sitio, β_{0i} estará dado por:

$$\text{Schumacher: } \beta_{0i} = \ln IS - \frac{\beta_1}{t_i^{\beta_2}} \quad [\text{ecuación 5}]$$

$$\text{Chapman-Richards: } \beta_{0i} = \ln IS - \beta_1 \ln [1 - e^{-\beta_2 * t_i}] \quad [\text{ecuación 6}]$$

Donde: β_1 provienen de las curvas promedios en ambos modelos.

Para la selección de las ecuaciones de mejor ajuste o comportamiento predictivo, se procedió con las siguientes etapas:

Cumplimiento de supuestos. Se verificó el cumplimiento de los supuestos del análisis de regresión. La normalidad, homocedasticidad e independencia serial de los residuales, mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, prueba de Levene, y Test de Durbin y Watson, respectivamente.

Bondad de ajuste. Se calculó el coeficiente de determinación ajustado ($R^2 \text{ adj}$), el error estándar de la estimación (Sx) y la significancia estadística de los coeficientes de regresión ajustados mediante la prueba t -student.

Capacidades predictivas. Fueron evaluadas en la totalidad de la muestra empleada para la validación de los modelos (validación independiente) las capacidades predictivas con el fin de comparar los modelos. Los estadísticos empleados como medida de exactitud fueron la raíz del error medio cuadrático (REMC) y como medida de sesgo la media de los residuales, denominada frecuentemente diferencia agregada (DA).

Los softwares empleados para el procesamiento y presentación de la información son los siguientes: tabulador electrónico Microsoft Excel, procesador de texto Microsoft Word y procesador estadístico SPSS 15 para Windows

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del ajuste de los modelos con diferentes valores tentativos de β_2 se obtuvieron como los mejores modelos Shumacher con una $\beta_2=0.2$ y Chapman-Richards con una $\beta_2=0.101$, a los cuales les correspondió el menor valor de la suma de cuadrados de los residuos o desviaciones (SCE).

By making $\beta_0=\ln H_{\text{máx}}$, then β_0 and β_1 can be fitted by linear regression where β_2 is known. For most species appropriate β_2 values vary between 0.2 and 2 (Alder, 1980).

Once the average height growth curve has been fitted, curves can be plotted in the same way that pass through different site index values; if this site index SI is defined as the dominant height of the stand at an age t_i , the parameter β_0 of the curve passing through this site, β_{0i} is given by:

$$\text{Schumacher: } \beta_{0i} = \ln SI - \frac{\beta_1}{t_i^{\beta_2}} \quad [\text{ecuación 5}]$$

$$\text{Chapman-Richards: } \beta_{0i} = \ln SI - \beta_1 \ln [1 - e^{-\beta_2 * t_i}] \quad [\text{ecuación 6}]$$

Where: β_1 come from the average curves in both models.

To select the best fit or predictive behavior equations, we proceeded with the following steps:

Fulfillment of assumptions. Fulfillment of the regression analysis assumptions was verified. Normality, homoscedasticity and serial independence of residuals were tested using the Kolmogorov-Smirnov test, Levene's test, and the Durbin-Watson test, respectively.

Goodness of fit. We calculated the adjusted coefficient of determination ($\text{adj } R^2$), the standard error of the estimate (Sx) and the statistical significance of the adjusted regression coefficients using the Student's t -test.

Predictive capabilities. To compare models, predictive capabilities were evaluated in the entire sample used for the validation of models (independent validation). The statistical procedure used as an accuracy measure was the root mean square error (RMSE), whereas the bias measure was the average of the residuals, often called aggregate difference (AD).

The software programs used for processing and presenting the information were: Microsoft Excel electronic spreadsheet, Microsoft Word word processor and SPSS 15 Statistics statistical processor for Windows.

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of fitting the models with different tentative values of β_2 , the best models obtained were Shumacher with $\beta_2=0.2$ and Chapman-Richards with $\beta_2=0.101$, which accounted for the lowest value of the sum of squared residuals (SSR) or deviations.

Both models comply with the first stage of the analysis of the theoretical assumptions of regression: normality,

Ambos modelos cumplieron con la primera etapa del análisis de los supuestos teóricos de la regresión: normalidad, homocedasticidad e independencia serial de los residuos, representados en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Parámetros estimados y estadísticos empleados para la verificación de supuestos

TABLE 2. Parameter estimates and statistical procedures used to verify assumptions

Modelo		Norm	Homoce	Autocor
Chapman-Richards $\beta_2=0,101$	valor	.186	.921	1.592
	v-p	.077	.579	
	valor	.186	.921	1.567
Schumacher $\beta_2=0,2$	v-p	.166	.579	

Norm: Normalidad. Valor que corresponde al estadístico de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, y su respectiva significancia estadística (v-p).

Homoce: Homocedasticidad. Valor que corresponde al estadístico de Levene, y su respectiva significancia estadística (v-p).

Autocor: Autocorrelación. Valor que corresponde al estadístico de Durbin-Watson

Norm: Normality. Value corresponding to the Kolmogorov-Smirnov goodness of fit statistic, and its respective statistical significance (vp).

Homoce: Homoscedasticity. Value corresponding to Levene's statistic, and its respective statistical significance (vp).

Autocor: Autocorrelation. Value corresponding to the Durbin-Watson statistic

Comparando la bondad de ajuste (Cuadro 3) de cada una de las ecuaciones, el modelo de Chapman-Richards posee un mejor comportamiento del coeficiente de determinación (R^2) y error de estimación.

Este modelo tiene un mejor comportamiento en sus bondades de ajustes que el encontrado por García *et al.* (2004) para esta especie ajustando a Shumacher $\beta_2=0.2$ en este mismo sitio quienes obtienen un $R=0.86$, un $R^2=0.74$.

Una comparación de las capacidades predictivas de los dos modelos se muestra en la Cuadro 4.

Mediante el estadístico de sesgo diferencia agregada (DA) y de exactitud con la raíz del error cuadrático medio (RECM) ambos modelos muestran un buen comportamiento, los mismos son insesgados, subestiman levemente, pero en cuanto a la exactitud global esta es satisfactoria porque ninguno de los modelos supera el 10 % en RECM. Las diferencias en la medida de la exactitud a nivel global son mínimas

En el Cuadro 5 se presenta un resumen del análisis de varianza del modelo de mejor comportamiento predictivo de Chapman-Richards $\beta_2=0.101$, el cual informa sobre una relación significativa entre las variables; el estadístico F contrasta la hipótesis nula de que el valor poblacional de

CUADRO 3. Bondad de ajuste

TABLE 3. Goodness of fit

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Sx
Schumacher $\beta_2=0,2$.868	.754	.753	.22494
Chapman-Richards $\beta_2=0,101$.869	.756	.755	.22431

CUADRO 4. Capacidades predictivas de los dos modelos

TABLE 4. Predictive capabilities of the two models

Modelo	RECM	DA
Schumacher $\beta_2=0,2$	3.553	0.339
Chapman-Richards $\beta_2=0,101$	3.352	0.299

homoscedasticity and serial independence of the residues, represented in Table 2.

Comparing the goodness of fit (Table 3) of each of the equations, the Chapman-Richards model has better behavior in the coefficient of determination (R^2) and estimation error.

This model has better behavior in its goodness of fit measures than that found by García *et al.* (2004) for this species fitted to Shumacher $\beta_2=0.2$ at this same site who obtained $R=0.86$ and $R^2=0.74$.

A comparison of the predictive capabilities of the two models is shown in Table 4.

Based on the aggregate difference (AD) statistic for bias and the root mean square error (RMSE) statistic for accuracy, both models show good behavior. They are unbiased and underestimate only slightly, but in terms of overall accuracy this is satisfactory because neither of the models exceeds 10% in RMSE. Differences in overall accuracy measurement are minimal.

Table 5 summarizes the analysis of variance of the best Chapman-Richards predictive behavior model $\beta_2=0.101$, which reports a significant relationship between the variables. The F statistic tests the null hypothesis that the population value of R is zero, which is equivalent to testing the hypothesis that the value of the regression line slope is zero. The critical level (sig) indicates that assuming that the population value of R is zero, it is unlikely (probability=0.00) that R, in this sample, takes the value 0.869, implying that R is greater than zero and, consequently, the two variables are linearly related.

Table 6 shows the regression coefficients. The value of the unstandardized coefficients contains the partial

CUADRO 5. ANOVA del modelo de mejor comportamiento predictivo

TABLE 5. ANOVA of the best predictive behavior model

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	39.820	1	39.820	791.406	.000
Residual	12.881	256	.050		
Total	52.701	257			

CUADRO 6. Coeficientes de la recta de regresión del modelo de mejor comportamiento predictivo

TABLE 6. Coefficients of the regression line of the best predictive behavior model

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Beta	t	Sig.	
	B	Sx				
Chapman-Richards $\beta_2=0,101$						
	β_0	3.127	.022	145.341	.000	
	β_1	1.556	.055	,869	28.132	.000

R es cero, lo cual equivale a contrastar la hipótesis de que el valor de la pendiente de la recta de regresión vale cero; el nivel crítico (sig) indica que si se supone que el valor poblacional de R es cero, es improbable (probabilidad=0.00) que R , en esta muestra, tome valor 0.869; lo cual implica que R es mayor que cero y que, en consecuencia, ambas variables están linealmente relacionadas.

En el Cuadro 6 se muestran los coeficientes de la regresión; el valor de los coeficientes no estandarizados contiene los coeficientes de regresión parcial que definen la ecuación de regresión en puntuaciones directas, donde a es la constante y o el origen de la recta de regresión, mientras que b indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente, en este caso el $\ln Ho$ por cada unidad de cambio de la variable independiente $\ln(1-e^{-0,101*t})$; según este comportamiento, la ecuación viene dada por:

$$Ho=22.803*(1-e^{(-0,101*t)})^{1,556}$$

A cada valor de la variable $\ln(1-e^{-0,101*t})$ le corresponde un pronóstico en $\ln Ho$ en un incremento constante de 3,127 más 1,556 veces el valor de la variable independiente.

La Figura 1 se muestra el ajuste de la ecuación media para la especie en la EFI Macurije.

1. Curva del comportamiento medio de la altura dominante

Después del ajuste de la ecuación media se determinan las curvas de índices de sitio con una pendiente

regression coefficients that define the regression equation in direct scores, where a is the constant and o the origin of the regression line, while B indicates the mean change corresponding to the dependent variable, in this case the $\ln Ho$ per unit of change of the independent variable $\ln(1-e^{-0,101*t})$. According to this behavior, the equation is given by:

$$Ho=22.803*(1-e^{(-0,101*t)})^{1,556}$$

Each value of the variable $\ln(1-e^{-0,101*t})$ corresponds to a forecast in $\ln Ho$ at a steady increase of 3,127 plus 1,556 times the value of the independent variable.

Figure 1 shows the fit of the equation mean for the species in the Macurije plantations.

1. Mean behavior curve of dominant height

After fitting the mean equation, the site index curves were determined with a common slope $\beta_2=1,556$, defining the site index as the dominant height of the stand at age $t=35$ years old, in line with findings in the literature on species rotations and in unison with that reported by Pardé and Bouchon (1994) for fast-growing species. It is further proposed to differentiate the site indices with intervals of 3 meters, coinciding with those used by Grá (1990) for the species in Cuba and following the indices trend reported by Nacimiento et al. (1983), Groothausen and Ferreira (1989), Montero et al. (2000), García et al. (2004), and used for other fast-growing pine and broadleaf species in Cuba, by Padilla (1999) in *Pinus tropicalis* Morelet, by Peñalver (1991) for *Eucalyptus* sp and Zaldívar (2000) for *Telesperitus*

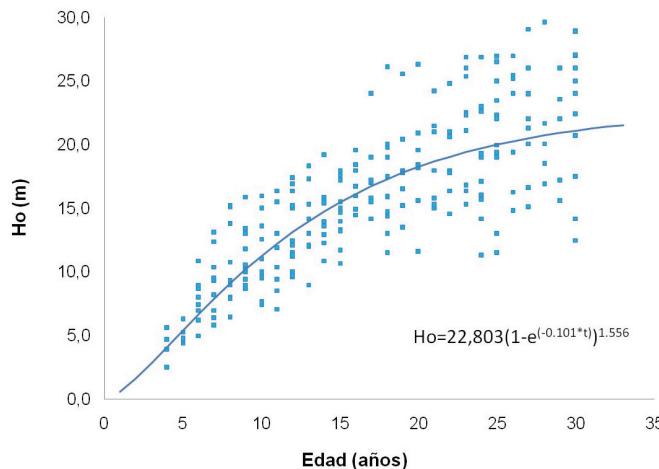


FIGURA 1. Curva del comportamiento medio de la altura dominante

FIGURE 1. Average behavior curve of dominant height

común $\beta_2=1,556$, definiendo el índice de sitio como la altura dominante de la masa a una edad $t=35$, años, en consonancia con lo encontrado en la literatura sobre los turnos para la especie y al unísono con lo reportado por Pardé y Bouchon (1994) para especies de crecimiento rápido. Se propone además diferenciar las calidades de sitio con intervalos de 3 metros, coincidiendo con los empleados por Grá (1990) para la especie en el país y siguiendo la tendencia de los índices reportados por De Nacimiento *et al.* (1983), Groothausen y Ferreira (1989), Montero *et al.* (2000), García *et al.* (2004), y empleados para otras especies de pino y de latifolias de crecimiento rápido en Cuba, por Padilla (1999) en *Pinus tropicalis* Morelet, por Peñalver (1991) para *Eucalyptus sp*, y Zaldívar (2000) para *Teleparitis elatus*. Los índices de sitio propuestos en las condiciones de estudios son los siguientes: 13, 16, 19, 22, 25, 28 m.

Sustituyendo los valores de β_0 en la ecuación para cada curva de índice de sitio, pueden calcularse valores de Ho para valores seleccionados de edad, resultando el sistema de ecuaciones para las calidades de sitios siguientes:

Estas ecuaciones quedan representadas en el sistema de curvas de índices de sitios en la Figura 2.

La tendencia del crecimiento representada en estas curvas es similar a los encontrados para la especie en el país por García (1983), Grá (1990), García y Aldana (2000), García *et al.* (2004), e internacionalmente para la variedad *hondurensis* por Groothausen y Ferreira (1989) y Montero *et al.* (2000), lo cual también justifica el modelo escogido y avala el resultado obtenido.

Este sistema de ecuaciones expresa la calidad de sitio en valores absolutos de altura dominante, permitiendo la comparación con otras especies y para la misma especie en otras regiones.

elatus. The site indices proposed in the study conditions are: 13, 16, 19, 22, 25, 28 m.

By substituting the β_0 values in the equation for each site index curve, one can calculate Ho values for selected age values, resulting in the system of equations for the following site indices:

Site Index (SI)	Ecuation
13 m	$Ho = 13,613 (1 - e^{(-0,101*t)})^{1,556}$
16 m	$Ho = 16,754 (1 - e^{(-0,101*t)})^{1,556}$
19 m	$Ho = 19,895 (1 - e^{(-0,101*t)})^{1,556}$
22 m	$Ho = 23,037 (1 - e^{(-0,101*t)})^{1,556}$
25 m	$Ho = 26,178 (1 - e^{(-0,101*t)})^{1,556}$
28 m	$Ho = 29,319 (1 - e^{(-0,101*t)})^{1,556}$

These equations are represented in the system of site index curves in Figure 2.

The growth trend represented in these curves is similar to those found for the species in Cuba by García (1983), Grá (1990), García and Aldana (2000), García *et al.* (2004), and internationally for the variety *hondurensis* by Groothausen and Ferreira (1989) and Montero *et al.* (2000), which also justifies the model chosen and supports the result obtained.

This system of equations expresses site quality in absolute values of dominant height, allowing comparison with other species and for the same species in other regions.

The growth curves obtained enable classifying the plantations according to their potential productivity, allowing to clearly discern the quality differences among them. Hence, this study should be useful for the implementation of silvicultural management strategies and the establishment of rotations ending with the final harvest.

The site index for a selected height-age observation is then given by the equation:

$$IS = Ho * \left(\frac{1 - e^{-0,101*ti}}{1 - e^{-0,101*t}} \right)^{1,556}$$

CONCLUSIONS

Six site indices were derived for the plantations. The indices were determined by the value of dominant

Las curvas de crecimiento obtenidas permiten clasificar las plantaciones de acuerdo a su productividad potencial, permitiendo diferenciar claramente la calidad de las mismas, por lo que se considera que este estudio sea de utilidad en la aplicación de los manejos silvícolas así como en el establecimiento de los turnos para el aprovechamiento final.

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

$$IS = Ho * \left(\frac{1 - e^{-0,101*ti}}{1 - e^{-0,101*t}} \right)^{1,556}$$

CONCLUSIONES

Las plantaciones se encuentran en seis calidades de sitio, las cuales quedan determinadas por el valor de la altura dominante, según el sistema de curvas de índice de sitio propuesto.

La ecuación para la determinación del sitio viene dada por:

$$IS = Ho * \left(\frac{1 - e^{-0,101*At}}{1 - e^{-0,101*At}} \right)^{1,556}$$

LITERATURA CITADA

ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Commonwealth Forestry Institute, Reino Unido. FAO. 118 pp.

BÁEZ, R. 1988. Estudio dasométrico de plantaciones de *Casuarina equisifolia* Forst. en suelos cenagosos de la provincia de La Habana. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. ISAAC "Frutuoso Rodríguez" INCA. 125 pp.

BAILEY, R. L.; CLUTTER, J. L. 1974. Base-Age invariant Polymorphic Site Curves. Forest Science 20:155-159.

CHAPMAN, D. F. 1961. Statistical Problems in Population Dynamics. In Proceeding fourth Berkeley Symposium Mathematical Statistics. Berkeley. California. pp.153-168.

DE NACIMIENTO, J.; GONZÁLEZ, O.; BENÍTEZ, H.; ABREÚ, E.; PÉREZ, J. 1983. Tablas preliminares de rendimiento para *Pinus caribaea*. Pinar del Río. Revista Baracoa, 57-103 pp.

FERRERE, P.; FASSOLA, H.; FAHLER, J.; CRECHI, E. 2001. Funciones de volúmenes totales, parciales y de forma en *Pinus caribaea* var. *Caribaea*. Montecarlo, EEA Montecarlo. Informe Técnico Núm. 26.

GARCÍA, I.; ALDANA, E. 2000. Tablas de rendimiento y crecimiento para el *Pinus caribaea* en Pinar del Río. Memorias de IV SIMFOR.

GARCÍA, I. 1983. Investigaciones para la elaboración de una tabla de rendimiento preliminar para el *Pinus caribaea* var. *caribaea*. II Foro Multisectorial de la ACC en Pinar del Río.

GARCÍA, I.; ALDANA, E.; ZALDIVAR, A. 2004. Tablas de rendimiento y crecimiento para la EFI Macurije. Memorias del V SIMFOR.

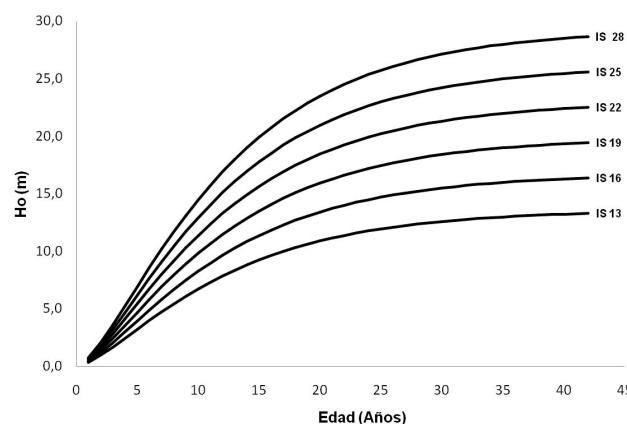


FIGURA 2. Sistema de curvas de índice de sitio para la altura dominante a la edad base de 35 años.

FIGURE 2. System of site index curves for dominant height at the base age of 35 years old.

height, according to the proposed system of site index curves.

The equation for determining the site index is given by:

$$IS = Ho * \left(\frac{1 - e^{-0,101*At}}{1 - e^{-0,101*At}} \right)^{1,556}$$

End of English Version

GRÁ, A. 1990. Tablas de Volumen y surtido y densidad del *Pinus caribaea* en plantaciones puras para Cuba. Informe etapa 509-09.24pp.

GROOTHAUSEN, C.; FERREIRA, O. 1989. Curvas de índice de sitio para *Pinus caribaea* Morelet en Honduras. El Tatascán. Vol.6, No 1, Siguatepeque, Honduras.

MONTERO M. M.; FIERROS C.; AURELIO M. 2000. Predicción del crecimiento de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* Barret y Golfari en "La Sabana", Oaxaca, México. Revista Forestal Centroamericana. (32):20-25.

PADILLA, G. 1999. Tablas dasométricas para plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río.

PARDÉ, J.; BOUCHON, J. 1994. 2da Reimpresión. Dasometría. Versión española. Editorial Paraninfo. Madrid. 382 p.

PEÑALVER, A. 1991. Estudio del Crecimiento y Rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp de la provincia de Pinar del Río. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Forestales. UPR

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursos naturales y Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 561p.

RICHARDS, F. J. 1959. A flexible growth function for Empirical use. Journal of Experimental Botany 10 (29):290-300.

SCHUMACHER, F. X. 1939. A new growth curve and its application to lumber yield studies. J. For. 37:819-820.

ZALDIVAR, A. 2000. Tablas dasométricas para plantaciones de *Hibiscus elatus* en la provincia de Pinar del Río. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río.