



NOTA DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH NOTE

TABLAS DE RENDIMIENTO PARA TECA (*Tectona grandis* L.) EN EL ESTADO DE CAMPECHE

YIELD TABLES FOR TEAK (*Tectona grandis* L.) IN THE STATE OF CAMPECHE

Adair Camacho-Linton¹, Hugo Ramírez-Maldonado¹
Héctor Manuel de los Santos-Posadas² y Francisco José Zamudio Sánchez¹.

RESUMEN

Se elaboraron tablas de producción para plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en el estado de Campeche, que son aplicables a zonas cuyas condiciones ambientales sean similares. Se procesó información de 233 árboles dominantes de parcelas de 1.2 a 21 años. La productividad de los terrenos fue considerada con la aproximación del índice de sitio, mediante la altura de los árboles dominantes a la edad base de 23 años, misma que se determinó por ser el turno esperado de algunas de las plantaciones más grandes establecidas en el país. Se advierte que la altura corresponde a una proyección al aplicar el modelo ajustado en este trabajo, ya que no se obtuvieron datos para edades mayores. Con el objeto de proyectar el rendimiento se recurrió a la opción del árbol medio. Se ajustaron ecuaciones de crecimiento para altura y diámetro basadas en el modelo de Schumacher de tres parámetros. Las tablas de producción se presentan para una densidad de 1 055 árboles ha⁻¹, a partir de 1 111 ejemplares en una plantación con 95% de supervivencia. Se seleccionaron tres niveles de productividad: a los 19 años, para el nivel bajo, con un índice de sitio de 15 m y un volumen de 134 m³ ha⁻¹; para el nivel intermedio, de 20 m y 309 m³ ha⁻¹, y para el nivel alto, de 25 m y 592 m³ ha⁻¹, respectivamente. Dichos valores son indicativos, pues el cultivo implicará aclareos que mantendrán los volúmenes en dimensiones menores.

Palabras clave: Crecimiento, índice de sitio, productividad, tabla de producción, *Tectona grandis* L., volumen.

ABSTRACT

Production tables were devised for teak (*Tectona grandis*) plantations in the state of Campeche; these tables are applicable to areas with similar environmental conditions. Information regarding 233 trees that were dominant in the plots and whose ages ranged between 1.2 and 21 years was processed. The productivity of the plots was estimated based on the approximation of the site index by means of the height of the dominant trees at a baseline age of 23 years, which is the turn expected from some of the largest plantations established in the country. The height of these trees corresponds to a projection derived from the application of the adjusted model in this work, since no data for higher ages were obtained. The yield projection was based on the average tree. Growth equations for height and diameter were adjusted according to Shumacher's three-parameter model. Production tables are shown for a density of 1 055 trees ha⁻¹, based on 1 111 specimens in a plantation with 95% survival. Three productivity levels were selected: at 19 years, a low level with a site index of 15 m and a volume of 134 m³ ha⁻¹; an intermediate level, with 20 m and 309 m³ ha⁻¹, and a high level, with 25 m and 592 m³ ha⁻¹. These values are indicative, since the cultivation process will involve thinnings that will keep the volumes lower.

Key words: Growth, site index, productivity, production table, *Tectona grandis* L., volume.

Fecha de recepción/date of receipt: 1 de marzo de 2012; Fecha de aceptación/date of acceptance: 9 de mayo de 2013

¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Correo-e: alintondicifo@gmail.com

² Programa Forestal. Colegio de Postgraduados.

INTRODUCCIÓN

Ante la reducción de la superficie de recursos forestales a nivel mundial y el deterioro de su calidad, las plantaciones forestales comerciales se han convertido en una fuente importante de madera, lo que, además, reduce la presión de aprovechamiento en los bosques naturales.

Las plantaciones forestales representan una proporción reducida de la superficie mundial de bosques, es decir, alrededor de 6.6%. En 2010 se estimó que los plantados cubrían 264 millones de hectáreas, de las cuales 76% (200 millones de hectáreas), aproximadamente, estaban destinadas a la producción. La mayor parte del área con este uso se concentra en tres regiones del mundo: Asia Oriental (35%), Europa (27%) y América del Norte (5.5%) (FAO, 2010).

En México, las plantaciones forestales comerciales cubren más de 118 000 ha (Velázquez, 2009); sin embargo, para las condiciones particulares del país, la información sobre el rendimiento y productividad de las diferentes especies utilizadas, entre ellas la teca (*Tectona grandis* L.), no es profusa. En consecuencia, es necesario generar mecanismos que permitan estimar lo anterior y apoyar el desarrollo de las técnicas para su cultivo.

La teca es una especie importante por el alto precio que alcanza su madera; la rapidez de su crecimiento es intermedia y se han propuesto turnos de 20 a 30 años, aunque la madera de árboles más jóvenes también tiene buena aceptación comercial.

El presente documento ofrece información relativa a la estimación del potencial productivo de la teca que servirá de apoyo a las instituciones, a los plantadores y a los técnicos forestales en la toma de decisiones sobre la planeación, el desarrollo y la inversión con esta especie tropical.

Con el objeto de generar las tablas de producción correspondientes, en un inicio se elaboró un esquema de índice de sitio para calificar la productividad de los terrenos en los que se planeaba establecer la plantación; se generaron ecuaciones de crecimiento en diámetro y altura para cada árbol individual y el volumen se calculó por medio de la ecuación de Pérez y Kanninen (2003). Posteriormente, al considerar una densidad inicial de plantación de 1 111 árboles ha⁻¹ y una supervivencia de 95%, se recurrió a la opción del árbol medio y se elaboraron las tablas de producción para plantaciones sin aclareo.

El esquema de índice de sitio se hizo mediante el uso de la información relativa a 233 árboles dominantes de plantaciones de teca de las localidades de San Luis, Pich y San Luciano, del estado de Campeche. Se empleó el modelo de Schumacher (1939) de tres parámetros tanto para diámetro como para altura (Ecuación 1):

INTRODUCTION

In the face of the reduction of the surface of forests worldwide and of the deterioration of its quality, commercial forest plantations have become an important source of wood, which furthermore reduces the pressure for the exploitation of natural forests.

Forest plantations represent a reduced proportion of the world surface of the forests, i.e. near 6.6%. In 2010 forest plantations were estimated to cover 264 million hectares, of which nearly 76% (200 million hectares) were destined to production. Most of the area with this use is concentrated in three regions of the world: Eastern Asia (35%), Europe (27%) and North America (5.5%) (FAO, 2010).

In Mexico, commercial forest plantations cover more than 118 000 ha (Velázquez, 2009); however, for the particular conditions of the country, information regarding the yield and productivity of the various utilized species, including teak (*Tectona grandis* L.) is scarce. This makes it necessary to generate mechanisms by which the former can be estimated and to promote the development of techniques for the cultivation of these species.

Teak is an important species because of the high price of its wood. The pace at which it grows is intermediate, and the proposed age for its exploitation is 20 to 30 years, although younger trees also have a good commercial acceptance.

The present document offers support information about the estimation of the productive potential of teak which will prove useful to institutions, planters, and forest technicians in making decisions for the planning, development of, and investment in plantations of this tropical species.

In order to generate the corresponding production tables, a site index outline was initially devised in order to assess the productivity of the land where establishment of the plantation was intended; equations for growth in diameter and height were obtained for each individual tree, and the volume was estimated using the equation generated by Pérez and Kanninen (2003). Subsequently, a baseline plantation density of 1 111 trees ha⁻¹ and a survival rate of 95% was estimated based on the average tree, and production tables for plantation without thinning were generated.

The index site outline was devised using information about the 233 dominant trees in teak plantations of San Luis, Pich and San Luciano, in the state of Campeche. Schumacher's three-parameter model (1939) was utilized for both diameter and height (Equation 1):

$$y = \beta_0 \exp(-\beta_1 E^{-\beta_2}) \quad (1)$$

$$y = \beta_0 \exp(-\beta_1 E^{-\beta_2}) \quad (1)$$

Donde:

y = Variable de interés (diámetro o altura)
 E = Edad (años)
 $\exp$ = Función exponencial
 β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

Respecto a las dos variables en cuestión se fijó la asíntota (β_0) en 60 cm para diámetro y 35 m para altura, debido a que son niveles de crecimiento esperados en plantaciones forestales con un buen manejo. Así, según Fonseca (2004), la teca puede llegar a medir 2 m de diámetro y 50 m de altura en su lugar de origen, pero en Costa Rica puede alcanzar más de 35 m de altura en los sitios más ricos. En dicho país, Mora y Gómez (2003) observaron ejemplares de 40 años de edad con 47.8 cm de diámetro; estos resultados marcaron la pauta para elegir los valores asíntóticos para las ecuaciones de diámetro y altura.

A fin de obtener el volumen de árbol individual, se utilizó la ecuación de Pérez y Kanninen (2003):

$$V = 0.000038 \times D^{1.5633} \times H^{1.3475}$$

Donde:

V = Volumen
 D = Diámetro normal
 H = Altura total

Para diseñar una ecuación de crecimiento en volumen de árbol individual, las variables diámetro y altura se sustituyeron por las correspondientes ecuaciones de crecimiento ajustadas en este estudio, como se muestra a continuación:

$$V = 0.000038 \times [\alpha_0 \exp(-\alpha_1 E^{-\alpha_2})]^{1.5633} \times [\beta_0 \exp(-\beta_1 E^{-\beta_2})]^{1.3475} \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen (m³)
 E = Edad (años)
 α_0, α_1 y α_2 = Parámetros del modelo de diámetro
 β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo de altura

La ecuación final de crecimiento en volumen de árbol individual derivada de lo anterior, se presenta en el apartado de resultados.

Una vez realizados los ajustes y obtenidas las ecuaciones de crecimiento para diámetro, altura y volumen, cada índice de sitio se determinó con la elaboración de las tablas de rendimiento, a partir de una densidad inicial de 1 111 árboles ha⁻¹ (distanciamiento de 3 X 3 m) con una supervivencia de 95%,

Where:

y = Variable of interest (diameter or height)
 E = Age (years)
 $\exp$ = Exponential function
 β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

In regard to the two variables in question, the asymptote (β_0) was fixed at 60 cm for diameter and 35 m for height, as these are the expected growth levels in properly handled forest plantations. Thus, according to Fonseca (2004), a teak can measure 2 m in diameter and 50 m in height in its place of origin, but in Costa Rica it can reach a height above 35 m in the richest sites. In that country, Mora and Gómez (2003) found specimens aged 40 years with a 47.8 cm diameter; these results set the standard for selecting the asymptote values for diameter and height equations.

In order to obtain the volume of an individual tree, the Pérez and Kanninen equation (2003) was used:

$$V = 0.000038 \times D^{1.5633} \times H^{1.3475}$$

Where:

V = Volume
 D = Normal diameter
 H = Total height

In order to design an equation for the growth in volume of an individual tree, the variables diameter and height were replaced with the corresponding growth equations adjusted in this study, as is shown below:

$$V = 0.000038 \times [\alpha_0 \exp(-\alpha_1 E^{-\alpha_2})]^{1.5633} \times [\beta_0 \exp(-\beta_1 E^{-\beta_2})]^{1.3475} \quad (2)$$

Where:

V = Volume (m³)
 A = Age (years)
 α_0, α_1 y α_2 = Diameter model parameters
 β_0, β_1 y β_2 = Height model parameters

The results section shows final equation for the growth in volume of an individual tree.

Once the adjustments were made and the growth equations were obtained for diameter, height and volume, each site index was determined by the yield tables devised with a baseline density of 1 111 trees ha⁻¹ (separated by intervals of 3 X 3 m) with a survival rate of 95%, i.e. 1 055 trees ha⁻¹. It is worth noting that these tables do not consider thinnings and therefore must be used with this limitation.

The anamorphic curves of index sites (Figure 1) were estimated using Equation 3, generated by the adjustment of Schumacher's three-parameter model (1939) for the height and age data of the

es decir, 1 055 árboles ha⁻¹. Cabe mencionar que en dichas tablas no fueron considerados los aclareos, por lo que habrán de utilizarse con esta limitación.

El sistema de curvas anamórficas de índice de sitio (Figura 1) se elaboró mediante el empleo de la Ecuación 3, que se generó por el ajuste del modelo de Schumacher (1939) de tres parámetros en relación con los datos de altura y edad de los 233 árboles dominantes antes referidos, se tomó como referencia la edad base de 23 años. Los estadísticos de ajuste se indican en los cuadros 1 y 2.

$$HD = (IS / \exp(-2.07109 / E_0^{0.387118})) \times \exp(-2.07109 / E^{0.387118}) \quad (3)$$

Donde:

HD = Altura de los árboles dominantes (m)
IS = Índice de Sitio (m)
E = Edad del arbolado (años)
E₀ = Edad base (años)

233 dominant trees mentioned above, with a baseline age of 23 years. The adjustment statistics are indicated in Tables 1 and 2.

$$HD = (IS / \exp(-2.07109 / E_0^{0.387118})) \times \exp(-2.07109 / E^{0.387118}) \quad (3)$$

Where:

HD = Height of the dominant trees (m)
SI = Site Index (m)
A = Age of the trees (years)
A₀ = Baseline age (years)

The adjustment of Shumacher's three parameter model (Equation 1) for diameter and height was made using the MODEL procedure of the SAS software (2003); the results obtained are recorded in Tables 1 and 2.

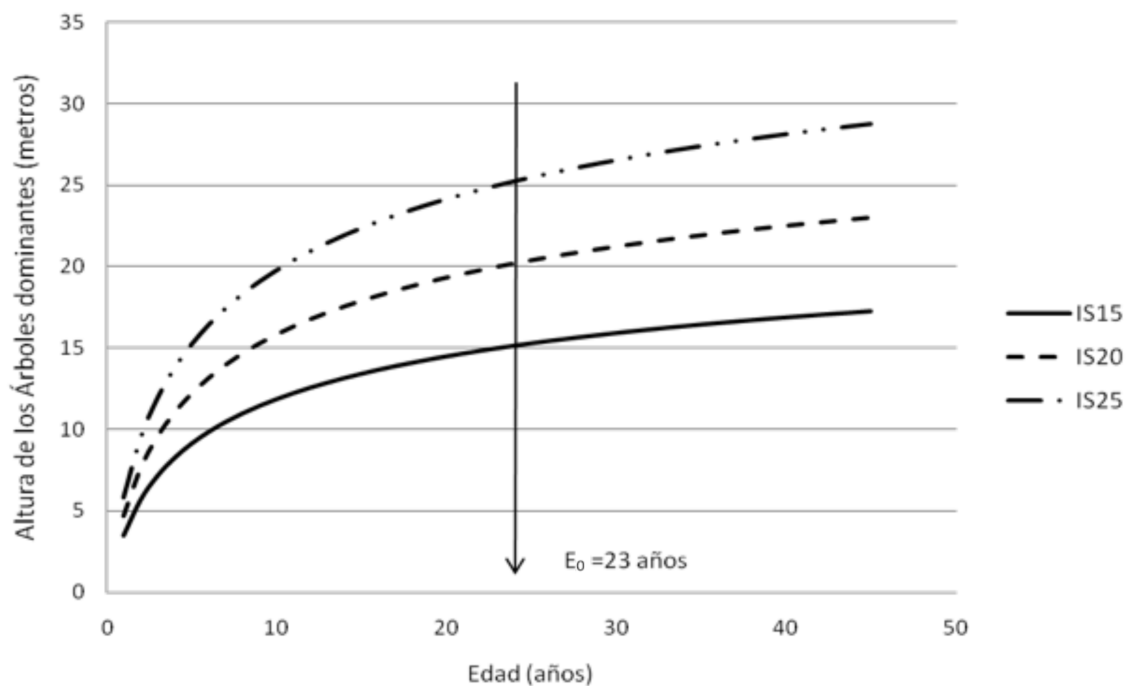


Figura 1. Sistema de curvas de índice de sitio para plantaciones de teca en Campeche.
Figure 1. Site index curve system for teak plantations in Campeche.

El ajuste del modelo de Schumacher de tres parámetros (Ecuación 1) para diámetro y altura se efectuó a través del procedimiento MODEL del software SAS (2003); los resultados obtenidos se consignan en los cuadros 1 y 2.



Cuadro 1. Estadísticos de ajuste del modelo de Schumacher de tres parámetros para las variables diámetro normal y altura total.
Table 1. Statistics of the adjustment of Schumacher's three-parameter model for the normal diameter and total height variables.

Variable	Modelo	gl Modelo	gl Error	SCE	CME	R ² -ajustada
Diámetro		2	231	4411.2	19.096	68.04
Altura		2	231	1313.1	5.6845	77.75

gl= grados de libertad; SCE=Suma de cuadrados estimado; CME=Cuadrado medio estimado

A juzgar por los valores de R^2 -ajustada, las ecuaciones reflejan una bondad de ajuste aceptable toda vez que los datos corresponden a diferentes niveles de productividad y, por lo tanto, poseen una variabilidad considerable. En cuanto a las ecuaciones estimadas de los parámetros, sus estadísticos también presentan una conducta aceptable, pues son diferentes de cero con una probabilidad menor de 0.0001 en todos los casos.

Judging by the R^2 -fitted values, the equations reflect an acceptable goodness of fit, as the data correspond to different productivity levels and, therefore, possess a considerable variability. As for the estimated equations for the parameters, their statistics also reflect an acceptable conduct, being different from zero, with an odds ratio below 0.0001 in all cases.

Cuadro 2. Estimadas de los parámetros de los modelos de crecimiento en diámetro y altura y sus estadísticos de significancia.
Table 2. Estimations for the parameters of the models of growth in diameter and height and their significance statistics.

Variable	Parámetro	Estimada	Error estándar	Valor de t	p-valor
Diámetro	b	2.568057	0.0827	31.06	< 0.0001
	c	0.35062	0.0170	20.60	< 0.0001
Altura	b	2.07109	0.0523	39.57	< 0.0001
	c	0.387118	0.0147	26.32	< 0.0001

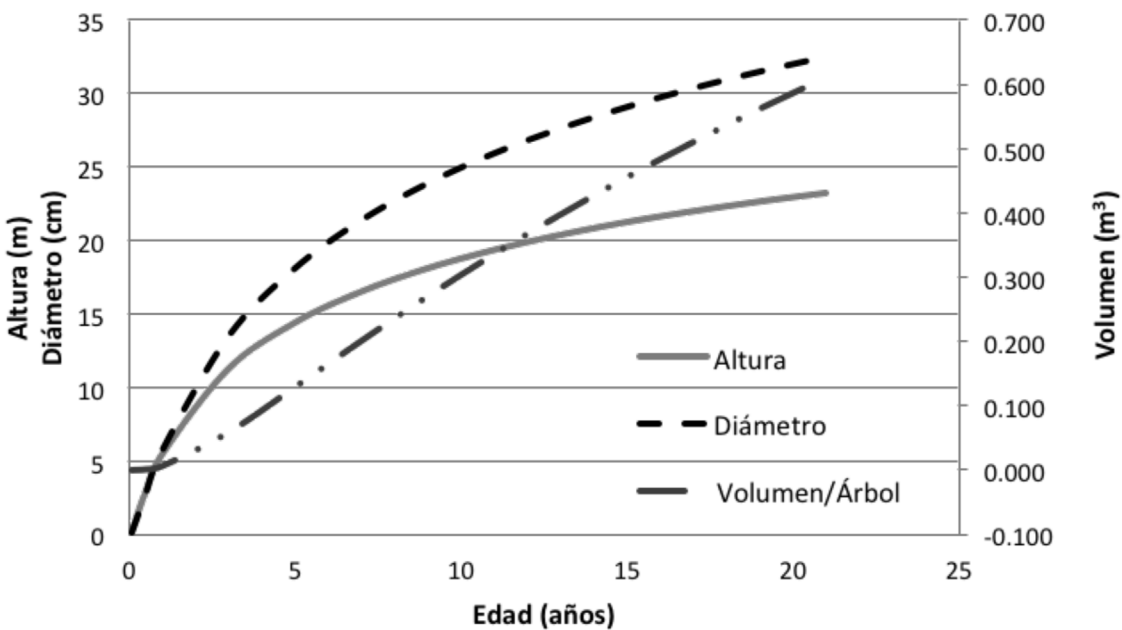


Figura 2. Sistema de crecimiento de árbol individual utilizado para generar las tablas de rendimiento.
Figure 2. Growth system for individual tree used for generating the yield tables.

Las tres funciones del sistema de crecimiento de árbol individual, diámetro normal, altura total y volumen total del fuste con corteza (ecuaciones 4, 5 y 6, respectivamente) se muestran en la Figura 2. Con estas funciones se crearon las tablas de rendimiento para los índices de sitio 15, 20 y 25.

Las curvas de la Figura 2 se generaron en función de la edad, a partir de las siguientes ecuaciones, las cuales actúan de manera armónica por la forma como se produjo la de volumen:

$$\text{Altura} = 35 \times \exp\left(\frac{-2.090399}{\text{Edad}^{0.35062}}\right) \quad (4)$$

$$\text{Diámetro} = 60 \times \exp\left(\frac{-2.576354}{\text{Edad}^{0.370131}}\right) \quad (5)$$

$$\text{Volumen} = 2.75549188 \times \exp\left(\frac{-4.01464351}{\text{Edad}^{0.35062}} - \frac{2.79079378}{\text{Edad}^{0.387118}}\right) \quad (6)$$

Los cuadros 3, 4 y 5 corresponden a se presentan las tablas de rendimiento potencial para los índices de sitio 15, 20 y 25 m, respectivamente. En ellas se parte de un espaciamiento inicial de 3 X 3 m para una densidad de 1 111 árboles ha⁻¹; con una supervivencia de 95%. (1 055 árboles ha⁻¹).

En la Figura 3 se expone el incremento medio anual de las variables de interés (diámetro, altura y volumen) para el índice de sitio 20.

En las tablas de rendimiento, la altura dominante se generó a través de la ecuación de índice de sitio (Ecuación 3); la altura media para el índice de sitio intermedio 20 m se originó mediante la ecuación de altura (Ecuación 4), y el diámetro y la altura medios para los índices de sitio 15 y 25 m se obtuvieron por proporcionalidad respecto al índice de sitio intermedio.

The three functions of the growth system of the individual tree, normal diameter, total height and total volume of the stem with bark (equations 4, 5 and 6, respectively) are shown in Figure 1. The yield tables for 15, 20 and 25 m site indexes were created based on these functions.

The curves of Figure 6 were generated in terms of age, based on the following equations [which act harmoniously because of the way in which the curve for the volume occurred:

$$\text{Height} = 35 \times \exp\left(\frac{-2.090399}{\text{Edad}^{0.35062}}\right) \quad (4)$$

$$\text{Diameter} = 60 \times \exp\left(\frac{-2.576354}{\text{Edad}^{0.370131}}\right) \quad (5)$$

$$\text{Volume} = 2.75549188 \times \exp\left(\frac{-4.01464351}{\text{Edad}^{0.35062}} - \frac{2.79079378}{\text{Edad}^{0.387118}}\right) \quad (6)$$

Tables 3, 4 and 5 show the potential yield tables for 15, 20, and 25 m site indexes, respectively. These tables are built according to a 3 X 3 baseline intervals for a density of 1 111 trees ha⁻¹; whereas a density of 1 055 trees ha⁻¹ would find a survival rate of 95%.

Figure 3 shows the mean annual increase for the variables of interest (diameter, height and volume) for the 20 m site index.

In the yield tables, the dominant height was generated through the site index equation (Equation 3); the average height for the intermediate site —20 m— was obtained with the height equation (Equation 4), and the mean diameter and height for the 15 and 25 m site indexes were estimated by proportionality to the index of the intermediate site.

Support programs for the forest plantations managed by the National Commission of Forestry (Comisión Nacional Forestal) have established a survival rate of at least 70% to deliver subsidies; however, according to forest planters, for a plantation to be correctly considered successful, the survival rate must be 95%. The literature registers very diverse plantation intervals, even in regions with a long history of teak cultivation. In Mexico, different intervals have also been used, but there are not sufficient documentary data to support this decision; in keeping with the above criteria, the yield tables with a density of 1 055 trees ha⁻¹ were based on the proposed density and a survival rate of 95%.



Cuadro 3. Producción de teca para índice de sitio 15 m, edad base de 23 años y 1 055 árboles ha⁻¹.Table 3. Teak production for the 15 site index, baseline age of 23 years, and 1 055 ha⁻¹.

Edad (años)	AD (m)	A (m)	DN (cm)	V (m ³)	V/ha (m ³ ha ⁻¹)	IMAA (m año ⁻¹)	IMAD (cm año ⁻¹)	IMAV/ha (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
0.1	0.20	0.15	0.11	0.000	0.000	1.50	1.10	0.00
0.5	2.07	1.69	1.61	0.000	0.171	3.38	3.22	0.34
1	3.91	3.25	3.42	0.001	1.342	3.25	3.42	1.34
3	8.01	6.75	8.09	0.013	13.801	2.25	2.70	4.60
5	10.21	8.64	10.88	0.029	30.588	1.73	2.18	6.12
7	11.69	9.91	12.84	0.045	47.672	1.42	1.83	6.81
9	12.80	10.86	14.36	0.061	64.239	1.21	1.60	7.14
11	13.67	11.62	15.58	0.076	79.936	1.06	1.42	7.27
13	14.39	12.23	16.60	0.090	94.567	0.94	1.28	7.27
15	15.00	12.75	17.48	0.103	108.437	0.85	1.17	7.23
17	15.52	13.20	18.24	0.115	121.442	0.78	1.07	7.14
19	15.98	13.60	18.92	0.127	133.872	0.72	1.00	7.05
21	16.39	13.94	19.53	0.138	145.440	0.66	0.93	6.93

AD = Altura dominante (m); A = Altura promedio (m); DN = Diámetro normal promedio (cm); V = Volumen total del fuste con corteza (m³); IMAA = Incremento Medio Anual en Altura (m año⁻¹); IMAD = Incremento Medio Anual en Diámetro (m año⁻¹); IMAV = Incremento Medio Anual en Volumen (m³ ha⁻¹ año⁻¹).

AD = Dominant height (m); A = Average height (m); DN = Average normal diameter (cm); V = Total volume of the stem with bark (m³); IMAA = Annual Mean Increase in Height (m year⁻¹); IMAD = Annual Mean Increase in Diameter (m year⁻¹); IMAV = Annual Mean Increase in Volume (m³ ha⁻¹ year⁻¹).

Cuadro 4. Producción de teca para índice de sitio 20 m, edad base de 23 años y 1 055 árboles ha⁻¹.Table 4. Teak production for the 20 m site index, baseline age of 23 years, and 1055 trees ha⁻¹.

Edad (años)	AD (m)	A (m)	DN (cm)	V (m ³)	V/ha (m ³ ha ⁻¹)	IMAA (m año ⁻¹)	IMAD (cm año ⁻¹)	IMAV/ha (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
1	5.21	4.33	4.56	0.003	3.096	4.33	4.56	3.10
3	10.68	9.00	10.79	0.030	31.901	3.00	3.60	10.63
5	13.61	11.52	14.50	0.067	70.617	2.30	2.90	14.12
7	15.59	13.22	17.13	0.105	110.313	1.89	2.45	15.76
9	17.06	14.49	19.14	0.141	148.469	1.61	2.13	16.50
11	18.23	15.49	20.77	0.175	184.578	1.41	1.89	16.78
13	19.19	16.31	22.14	0.207	218.642	1.25	1.70	16.82
15	20.00	17.00	23.31	0.238	250.579	1.13	1.55	16.71
17	20.70	17.60	24.33	0.266	280.750	1.04	1.43	16.51
19	21.31	18.13	25.23	0.293	309.275	0.95	1.33	16.28
21	21.85	18.59	26.04	0.319	336.095	0.89	1.24	16.00

AD = Altura dominante (m); A = Altura promedio (m); DN = Diámetro normal promedio (cm); V = Volumen total del fuste con corteza (m³); IMAA = Incremento Medio Anual en Altura (m año⁻¹); IMAD = Incremento Medio Anual en Diámetro (m año⁻¹); IMAV = Incremento Medio Anual en Volumen (m³ ha⁻¹ año⁻¹).

AD = Dominant height (m); A = Average height (m); DN = Average normal diameter (cm); V = Total volume of the stem with bark (m³); IMAA = Annual Mean Increase in Height (m year⁻¹); IMAD = Annual Mean Increase in Diameter (m year⁻¹); IMAV = Annual Mean Increase in Volume (m³ ha⁻¹ year⁻¹).

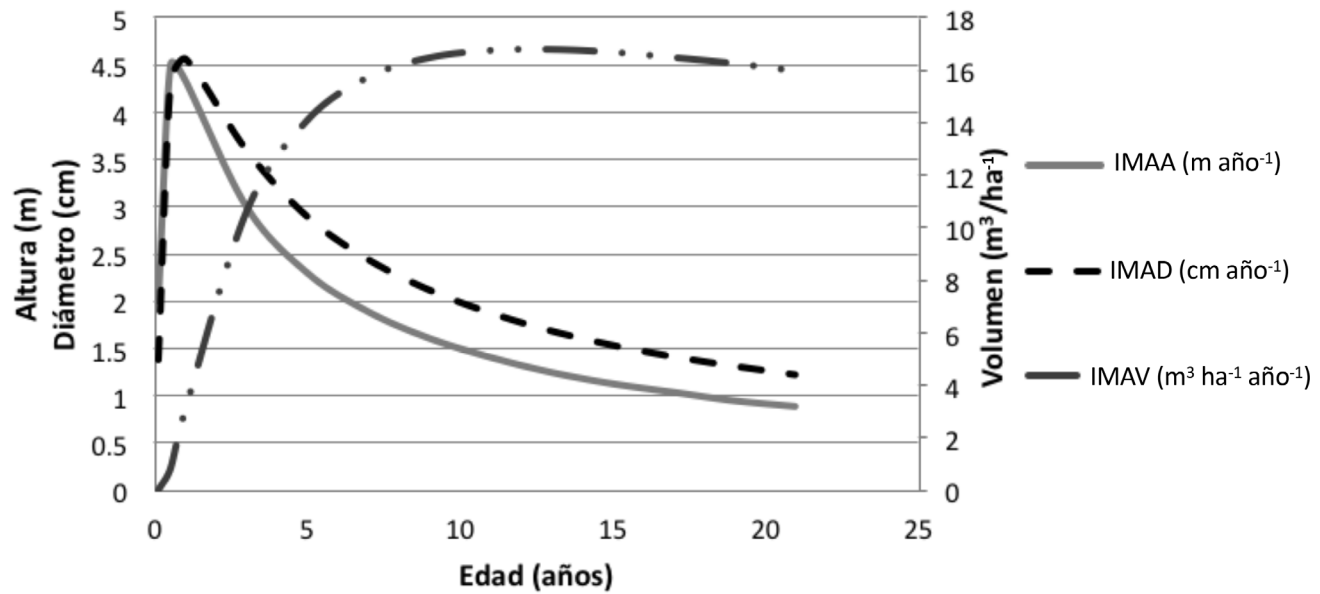


Figura 3. Incremento medio anual estimado de altura, diámetro y volumen ha^{-1} para índice de sitio 20 m de las plantaciones evaluadas en el estado de Campeche.

Figure 3. Estimated annual mean increase in height, diameter and volume ha^{-1} for the 20 m site index of evaluated plantations in the state of Campeche.

Cuadro 5. Producción de teca para índice de sitio 25 m, edad base de 23 años y 1 055 árboles ha^{-1} .

Table 5. Teak production for the 25 m site index, baseline age of 23 years, and 1 055 trees ha^{-1} .

Edad (años)	AD (m)	A (m)	DN (cm)	V (m^3)	V/ha ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	IMAA (m año^{-1})	IMAD (cm año^{-1})	IMAV/ha ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)
0.1	0.33	0.25	0.18	0.000	0.000	2.50	1.80	0.00
0.5	3.44	2.81	2.68	0.001	0.753	5.62	5.36	1.51
1	6.51	5.41	5.70	0.006	5.925	5.41	5.70	5.93
3	13.35	11.25	13.49	0.058	61.096	3.75	4.50	20.37
5	17.01	14.40	18.13	0.128	135.264	2.88	3.63	27.05
7	19.49	16.52	21.41	0.200	211.085	2.36	3.06	30.16
9	21.33	18.11	23.93	0.269	284.304	2.01	2.66	31.59
11	22.79	19.36	25.97	0.335	353.496	1.76	2.36	32.14
13	23.99	20.39	27.67	0.397	418.571	1.57	2.13	32.20
15	25.00	21.26	29.13	0.455	479.878	1.42	1.94	31.99
17	25.87	22	30.41	0.509	537.465	1.29	1.79	31.62
19	26.64	22.66	31.54	0.561	592.133	1.19	1.66	31.16
21	27.32	23.24	32.55	0.610	643.591	1.11	1.55	30.65

AD = Altura dominante (m); A = Altura promedio (m); DN = Diámetro normal promedio (cm); V = Volumen total del fuste con corteza (m^3); IMAA = Incremento Medio Anual en Altura (m año^{-1}); IMAD = Incremento Medio Anual en Diámetro (m año^{-1}); IMAV = Incremento Medio Anual en Volumen (m^3) $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$.

AD = Dominant height (m); A = Average height (m); DN = Average normal diameter (cm); V = Total volume of the stem with bark (m^3); IMAA = Annual Mean Increase in Height (m year^{-1}); IMAD = Annual Mean Increase in Diameter (m year^{-1}); IMAV = Annual Mean Increase in Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{year}^{-1}$).

Los programas de apoyo a las plantaciones forestales administrados por la Comisión Nacional Forestal han establecido una supervivencia de al menos 70% para entregar los subsidios; no obstante, los plantadores forestales opinan que se requiere una de 95% para considerar correctamente manejada una plantación exitosa. La literatura registra espaciamientos muy diversos, aun en regiones con una larga historia de cultivo de la teca. En México también se ha trabajado con espaciamientos diferentes, pero no existen datos documentales confiables para tal decisión; a partir de lo anterior, en este trabajo se manejó la densidad propuesta y una supervivencia de 95%, a fin de presentar las tablas de rendimiento con una densidad de 1 055 árboles ha⁻¹.

A pesar de que las plantaciones de teca se ralean a edades tempranas, las tablas se muestran hasta una edad de 21 años, y con ellas es posible clasificar los terrenos respecto a su productividad. Además, con base en lo expuesto, se pueden diseñar alternativas de cultivo en cuanto a intensidades y frecuencia de raleos. Así, se ha incluido el índice de sitio de 15 m, pese a que una plantación en un terreno con ese nivel de productividad tiene pocas probabilidades de ser una inversión rentable, a partir de la base de los volúmenes de madera indicados en la tabla de producción correspondiente.

Los modelos de crecimiento consignados tuvieron ajustes aceptables, por ende, su empleo es confiable; no obstante, como todas las herramientas de esta naturaleza, los resultados pueden alterarse por las prácticas de cultivo, la calidad genética del material que se plante.

Los resultados de la presente investigación se fundamentan en la generalidad del material genético utilizado actualmente en las plantaciones de *Tectona grandis* en la región de estudio. Se reitera que en las tablas de producción obtenidas no se contempla la realización de aclareos, por lo cual, precisamente, deben usarse para construir regímenes de raleo.

En la medida en la que los materiales genéticos se depuren y prevalezcan los más productivos; se tenga una selección y preparación más apropiada de los terrenos de plantación; se mejore la calidad de planta de vivero, y se conozca más sobre los efectos de los aclareos, se necesitará actualizar y perfeccionar los sistemas de calificación de la productividad y proyección de rendimiento de teca, de acuerdo con las condiciones vigentes.

A pesar de la relativa incertidumbre que acompaña a los instrumentos de predicción, las tablas presentadas se consideran un aporte útil para los plantadores de teca en México. ▀



Although teak plantations are thinned at an early age, the table show trees of up to 21 years of age; these tables make it possible to classify the plots according to their productivity, as well as to design cultivation alternatives regarding the intensity and frequency of the thinnings. Thus, the 15 m site index has been included—even though it is known that a plantation in a plot with this level of productivity is seldom a profitable investment—, based on the wood volumes indicated in the corresponding production table.

The adjustments made to the recorded growth models are acceptable, and therefore these are reliable; however, like with all the tools of this kind, the results may be modified by cultivation practices, the genetic quality of the material planted and other influences.

The results of this research are founded on the genetic material generally utilized today in *Tectona grandis* plantations in the study region. It is worth noting that the production tables obtained do not consider thinnings, and for this very reason must be utilized to build thinning regimes.

As genetic materials are purified and the most productive ones are made to prevail, plantation plots are more appropriately selected and prepared, the quality of nursery plants is improved, and knowledge of the effects of thinning increases, it will become necessary to update and perfect the systems for assessing the productivity and projecting the yield of teak according to the current conditions.

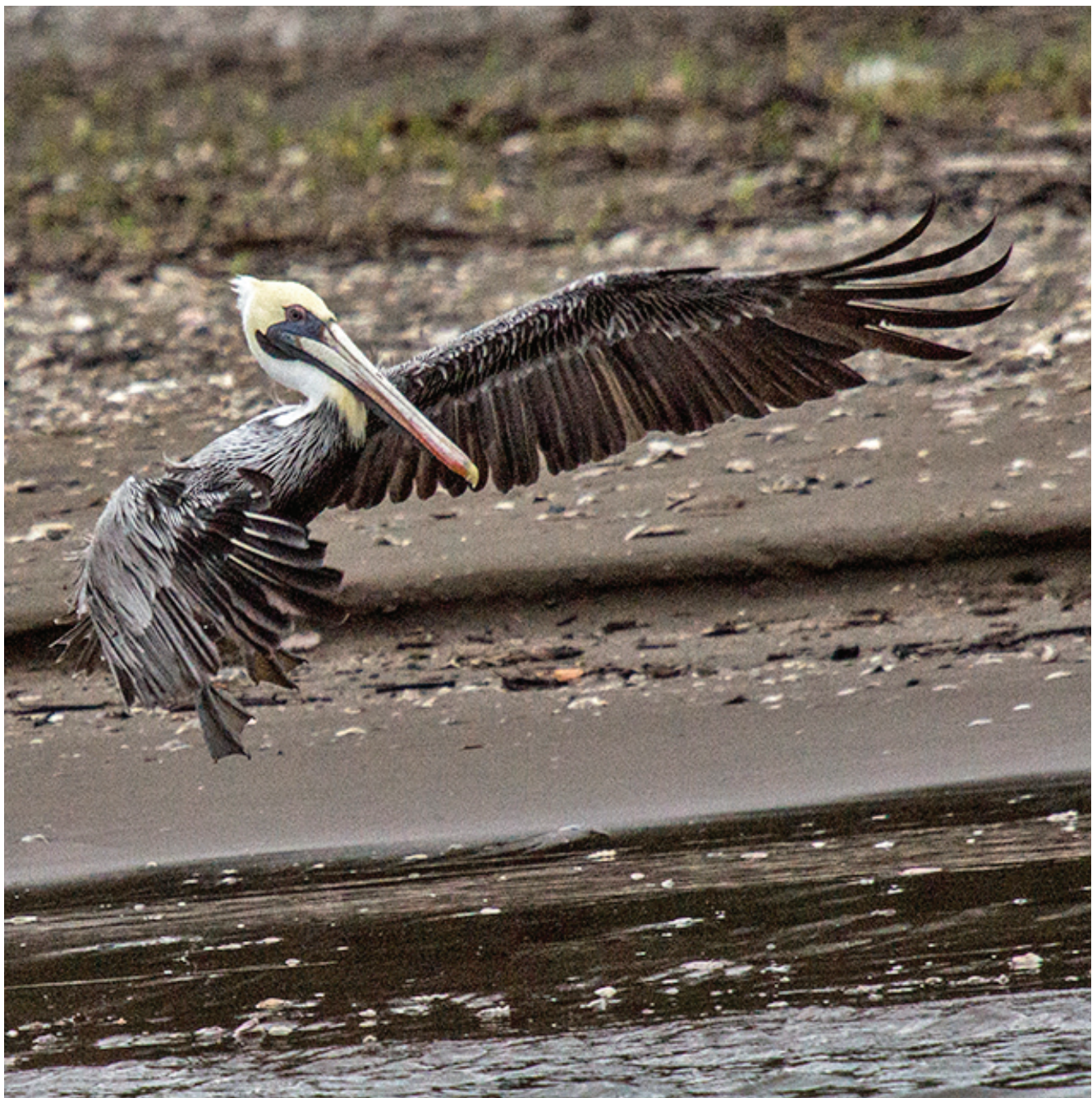
Despite the relative uncertainty that attends prediction instruments, the presented tables are considered to be a useful contribution for teak planters in Mexico. ▀

End of the English version



REFERENCIAS

- Fonseca G., W. 2004. Manual para Productores de Teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 121 p. (<http://www.fonafifo.go.cr/textfiles/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf>) (20 de enero de 2012).
- Mora C., F. y Q. M. Gómez. 2003. Ecuaciones y tablas de volumen para árboles individuales en plantaciones de Teca (*Tectona grandis*). en la Vertiente del Pacífico. Heredia, Costa Rica. 24 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Estudio FAO. Montes Núm. 163. Roma, Italia. 346 p.
- Pérez L., D. y M. Kanninen. 2003. Estimación del volumen comercial a diámetros y alturas variables para *Tectona grandis* L. f. en Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. 39: 56-59.
- Statistical Analysis System (SAS). 2003. SAS/STAT: Users Guide, Ver. 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 1596 p.
- Schumacher, X. F. 1939. A new growth curve and its applications to timber-yield studies. J. Forest. 37: 819-820.
- Velázquez M., A. 2009. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 472 p.



José Brenner, 2013