

CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO PARA *Prosopis alba* EN LA PROVINCIA DEL CHACO

SITE INDEX CURVES FOR *Prosopis alba* IN THE PROVINCE OF CHACO

Fecha de recepción: 30/08/2016 // Fecha de aceptación: 02/05/2017

RESUMEN

El algarrobo blanco es la especie central para la industria de muebles en la provincia del Chaco y actualmente existen cerca de 6000 has forestadas con esta especie. Dada su importancia económica y social en la provisión de mano de obra tanto en la industria como en la cadena de comercialización, es necesario conocer el potencial productivo de los suelos para su cultivo y la herramienta seleccionada para ello fue el índice de sitio. Los objetivos del trabajo fueron obtener un modelo de índice de sitio y definir clases de calidad de sitio para plantaciones de *Prosopis alba* en la provincia del Chaco.

Se utilizó una muestra de 117 pares de datos Hdom - edad, abarcando edades que van de los 4 a los 23 años, la cual fue analizada con Infostat.

Se ajustó el modelo de Gompertz, aplicando el método de la curva guía con una hipótesis de crecimiento anamórfica.

Se definieron 4 calidades de sitio con amplitudes de 2 metros de altura dominante, a la edad de referencia de 17 años.

Palabras clave: calidad de sitio, modelos, curvas anamórficas, forestaciones.

SUMMARY

Algarrobo blanco is the central species for the furniture industry in the province of Chaco and there are currently about 6000 forested ha with this species. Given its economic and social importance in the provision of labor in both the industry and the marketing chain, it is necessary to know the productive potential of the soils for its cultivation and the tool selected for this was the site index. The objectives of this work were to obtain a site index model and to establish site quality classes for *Prosopis alba* plantations in the province of Chaco.

We worked with a sample of 117 data pairs Hdom - age, covering ages ranging from 4 to 23 years, which were analyzed with Infostat.

Gompertz model was adjusted, using the method of the guide curve with a hypothesis of anamorphic growth.

Four site qualities were defined with amplitudes of 2 meters of dominant height, at the age of reference of 17 years.

Key words: site index, models, anamorphic curves, Forest plantations.

Sebastián Kees

Ingeniero Forestal. Campo Anexo Estación Forestal Plaza -EEA Sáenz Peña INTA. Lote IV Colonia Santa Elena; C. P. 3536. Presidencia de la Plaza, Chaco. Argentina. kees.sebastian@inta.gob.ar

Julio Michela

Ingeniero Forestal. EEA Santiago del Estero INTA. Jujuy N° 850. C. P. 4200. Santiago del Estero. Santiago del Estero. Argentina. michela.julio@inta.gob.ar

Juan Skoko

Ingeniero Forestal. Programa Cambio Rural. San Martín 790. C.P. 3700. Presidencia Roque Sáenz Peña. Chaco. Argentina. juanjo_1980@hotmail.com

Carlos Gomez

Ingeniero Forestal (MSc). EEA Ingeniero Juárez INTA. Ruta Nacional 81 Km 1618.7. C. P. 3636 Ing. Guillermo N. Juárez. Formosa. Argentina. gomez.c@inta.gob.ar

Ernesto Crechi

Ingeniero Forestal (MSc). EEA Montecarlo, INTA. Av. El Libertador n° 2472. C. P. 3384. Montecarlo, Misiones, Argentina. crechi.ernesto@inta.gob.ar

Federico Letourneau

Dr. Ingeniero Forestal. Campo Forestal Gral. San Martín-INTA, C.C. 26, CP. (8430) El Bolsón, Río Negro, Argentina. letourneau.federico@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La superficie forestada con algarrobo blanco en la provincia del Chaco alcanza las 6 mil hectáreas (DELVALLE, 2006), que además no superan los 30 años de edad y abarcan una gran variedad de suelos y condiciones climáticas. Si bien la especie presenta facilidad de adaptación, su productividad podría mejorarse, en gran medida, mediante una adecuada selección de sitio a plantar.

Esta especie, en la provincia del Chaco, constituye el eje de la fabricación del mueble; según CUADRA (2012), desde 1980 existen aserraderos y carpinterías abocadas y concentradas fundamentalmente en la producción de muebles y artesanías en Machagai, aberturas en Quitilipi y productos varios en Presidencia de la Plaza; que abastecen la demanda, no sólo regional, sino nacional.

Debido a la importancia económica y social del cultivo de esta especie, dado su rol central en la industria provincial del mueble, ya sea como proveedora de mano de obra en toda la cadena de fabricación y comercialización o como generadora de ingresos de divisas para la provincia y la región, es necesario conocer el potencial productivo de los diferentes sitios en los que actualmente se desarrollan y pueden desarrollarse las plantaciones con algarrobo.

Esta potencialidad, expresada en producción de madera, en un tiempo dado (ciclo productivo o turno) es lo que se conoce como Calidad de Sitio y por ha sido definida por CLUTTER *et al.*, (1983) como la producción potencial de madera de un sitio para una especie en particular o tipo forestal, PRODAN *et al.*, (1997) la define como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de los árboles, en este contexto, los índices de sitio se han convertido en el método más popular y práctico para evaluar la productividad forestal y la Calidad de Sitio (ÁLVAREZ *et al.*, 2004; CORNEJO *et al.*, 2005; MADRIGAL *et al.*, 2005; TORRES, 2001).

Según MORA *et al.*, (2003) la calidad de sitio es uno de los factores más importantes que determinan el crecimiento de los árboles y de las masas forestales, así como la producción de los terrenos. En los terrenos forestales al igual que en los agrícolas, la cantidad y la calidad de los rendimientos producidos depende estrechamente de la capacidad productiva del lugar. En consecuencia, uno de los primeros pasos necesarios para el manejo forestal intensivo es poder determinar la capacidad productiva de los terrenos, (esto es, la calidad de sitio), para las especies cultivadas. Así, la información del sitio y de los rendimientos permite estimar la cantidad y el tipo de productos a obtener en un tiempo dado, además de dar soporte para las intervenciones que requiere la masa y del momento más oportuno para efectuarlas.

El potencial productivo del sitio forestal (o su calidad) puede clasificarse en zonas equiproductivas

evaluadas a través de su altura dominante; a estas zonas se les asigna un valor en función de una altura dominante y una edad de referencia (edad base), y a este valor se le denomina índice de sitio (IS) (CIESZEWSKI Y BAILEY, 2000). Este método consiste en evaluar la altura que lograrían los árboles dominantes o codominantes y sanos a una edad predeterminada, frecuentemente referida como edad base o edad índice (PAYANDEH Y WANG, 1994).

ÁLVAREZ *et al.*, (2004) expresa que los métodos que estiman la productividad de las áreas de cultivo forestal utilizando la altura dominante, son los más adecuados para el cálculo del IS, debido a la baja afectación por la densidad o los tratamientos silvícolas aplicados. Las metodologías para el cálculo del IS han evolucionado en los últimos años; antes se utilizaban modelos de crecimiento lineales simples ahora se emplean modelos exponenciales complejos (RODRÍGUEZ-ACOSTA Y ARTEAGA-MARTÍNEZ, 2005), y las familias de curvas anamórficas y polimórficas que se utilizaban individualmente ahora se han integrado para mejorar la calidad de las estimaciones de crecimiento (TORRES, 2001).

Las plantaciones de algarrobo en la región y en la provincia del Chaco se han realizado en diferentes sitios, lo cual, sumado a la gran variabilidad intrínseca de la especie ha generado diferencias en el crecimiento. Entre otros factores, en la actualidad se desconocen las diferentes calidades de sitio para la especie, potencial de crecimiento y el turno de aprovechamiento requerido para obtener madera comercial.

Desde el año 2009, el INTA, está realizando relevamientos en plantaciones forestales con la finalidad de caracterizar las condiciones de sitio y crecimiento de la especie; como parte esencial de dicho estudio se desarrolla el presente trabajo cuyo objetivo es ajustar un modelo de índice de sitio que permita desarrollar curvas de calidad de sitio para plantaciones con *Prosopis alba* en la provincia del Chaco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarca diferentes departamentos de la Provincia del Chaco (figura 1), se relevaron 32 plantaciones ubicadas en 28 predios con edades entre 4 y 23 años, con diferentes distanciamientos (4x4, 5x4, 6x4, 5x5), con tratamientos silviculturales (podas y raleos) y sobre distintos tipos de suelo, en las que se instalaron 117 parcelas de muestreo rectangulares de 1000 m², de las que se obtuvieron los datos de altura dominante (Hdom) – edad.

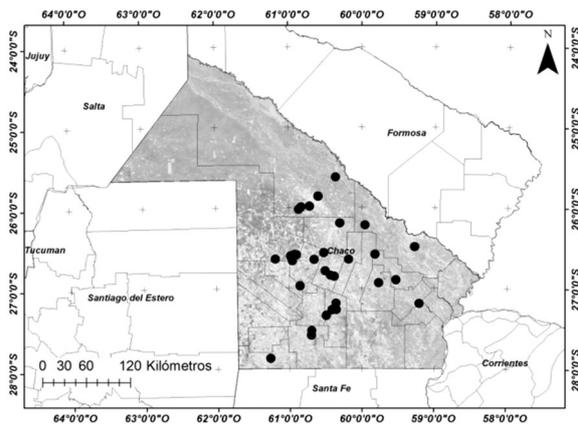


Figura 1. Ubicación de las parcelas en la Provincia del Chaco.

Figure 1. Location of the plots in the Chaco Province

En cada parcela de 1000 m² instalada se midió la altura en metros todos los árboles presentes con clinómetro de Suunto, a partir de los cuales se seleccionó una muestra de 10 árboles dominantes, el criterio de selección fue el propuesto por ASSMANN (1970), equivalente a la selección de los ejemplares más gruesos que deberían quedar para cosechar al fin de turno; que, además es utilizado ampliamente en la modelación forestal para la predicción de índices de sitio (PEREZ GONZÁLEZ *et al.*, 2012; CAÑADAS *et al.*, 1992; TAMARIT-URIAS *et al.*, 2014); Según THREN (1993), estos ejemplares representan el mayor valor del vuelo futuro, su desarrollo no es influenciado por raleos por lo bajo ni tampoco por el espaciamiento o densidad de plantación, ya que son los que sobreviven hasta el final del turno.

Los datos registrados fueron procesados con planilla de cálculo. Se consideró como variable dependiente altura dominante (Hdom) como promedio de la altura de los 10 árboles más gruesos de cada parcela o unidad de muestreo y la edad (e) de la misma como variable independiente.

A partir de los 117 pares de datos Hdom –edad obtenidos, empleando el método de la curva Guía (PRODANet *et al.*, 1997), se ajustó el modelo de Gompertz por técnicas de regresión no lineal empleando el software InfoStat (DI RIENZO *et al.*, 2015).

Diversos autores coinciden en que cualquier modelo de índice de sitio debe considerar de manera correcta los aspectos biológicos de crecimiento de las masas arbóreas (es decir, poseer origen en cero, punto de inflexión, punto de tangencia máximo y asíntota horizontal) y al mismo tiempo tener pocos parámetros (ALDER, 1980; CARMEAN, 1972; BURKHART Y GREGOIRE, 1994; ANDENMATTEN Y LETOURNEAU, 1998); por lo cual el modelo seleccionado se ajusta perfectamente a estas exigencias; conjuntamente se consideró una hipótesis de

crecimiento anamórfica, según esta hipótesis las tasas relativas de crecimiento en Hdom entre sitios es constante pero su potencialidad máxima varía (CLUTTER *et al.*, 1983).

La edad base o de referencia (ER) adoptada fue de 17 años considerando turnos que permitan la producción de madera gruesa para usos sólidos.

Una vez ajustado el modelo, para la formación de la familia de Curvas, se procedió según el método de Curva Guía el cual consiste en ajustar a los datos la función seleccionada, para posteriormente y para una edad de referencia determinada proceder a la armonización de esta Curva (ALDER, 1980; ZEPEDAY RIVERO, 1984; BURKHART Y GREGOIRE, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estadísticos de tendencia central y dispersión de la altura dominante según la edad se muestran en la Tabla 1.

Se puede observar que, si bien existen algunas edades con pocas observaciones, están precedidas o seguidas de clases que poseen número suficiente observaciones o datos para compensar el vacío de información. La variabilidad de la altura dominante en cada edad en general no es muy elevada, destacándose la edad de 17 años con valores levemente superiores al 20% de CV, por esta razón se la tomó como edad de referencia, dado que esta variabilidad permitirá definir dentro de su rango de dispersión de alturas un número de clases suficiente con una amplitud que facilite la delimitación de las mismas.

A continuación, se muestran las gráficas con el modelo ajustado y los observados en el Gráfico 1.

Los estadísticos de ajuste de la ecuación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la altura dominante según edad.
Table 1. Descriptive statistics of the dominant height according to age

Edad (años)	N	Media (m)	Desvío estándar	CV %	Mínimo (m)	Máximo (m)
4	5	4.28	0.18	4.18	4.1	4.5
5	9	4.8	0.81	16.86	3.8	6.5
7	1	6.2	0	0	6.2	6.2
8	8	6.34	0.25	3.95	6.1	6.9
9	1	6.8	0	0	6.8	6.8
10	3	7.4	0.8	10.81	6.6	8.2
11	1	6.3	0	0	6.3	6.3
12	10	7.58	0.82	10.88	6	8.8
13	14	7.89	1	12.72	5.6	9.2
14	19	7.99	1.07	13.35	5.8	9.9
15	8	8.29	1.41	17.06	6.5	10.9
16	8	7.53	1.36	18.11	6.2	10.3
17	7	8.29	1.78	21.5	5.6	10.9
19	12	9.13	0.65	7.12	8.4	10.3
23	11	8.89	0.9	10.18	7.6	10.4

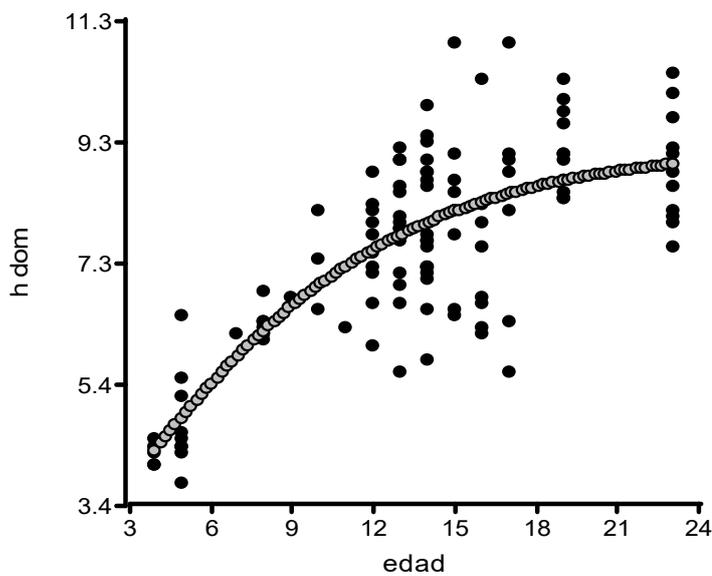


Gráfico 1. Representación modelo ajustado
Graphic 1. Adjusted model representation

Tabla 2. Resumen del modelo ajustado y los estadísticos de ajuste.
Table 2. Summary of the adjusted model and adjustment statistics.

Ecuación	R ²	EMC	AIC	BIC
$H_{dom} = 9.229 * \text{Exp}(-1.473 * \text{Exp}(-0.1667 * \text{edad}))$	0.6229	1.0100	338.61	349.66

H_{dom} = altura dominante (m); *EMC* = Error cuadrático medio; *AIC* = Criterio de información de Akaike, *BIC* = criterio de información bayesiano

En el Gráfico 1 se puede observar que el mayor rango de alturas para una misma edad se halla entre los 15 y 17 años. Otro aspecto a destacar es que la curva ajustada en base a los datos relevados refleja que el ritmo de crecimiento en altura dominante de la especie en forestaciones tiende a disminuir y estabilizarse en edades cercanas a los 25 años. Si bien el grado de ajuste del modelo no es muy elevado, el mismo explica satisfactoriamente más del 60% de la variabilidad de la tura en base a la edad, por otro lado dado que es uno de los primeros estudios de este tipo para la especie sumado a la variabilidad genética que presenta la misma, se considera satisfactorio para su uso preliminar en la determinación de clases de calidad de sitio en el área de estudio.

La ecuación armonizada de la función de índice de sitio por lo tanto es:

$$IS = \frac{H_{dom}}{\text{Exp}(-1.473 * \text{Exp}(-0.1667 * \text{edad})) \times \text{Exp}(-1.473 * \text{Exp}(-0.1667 * 17))}$$

IS = Índice de sitio; H_{dom} = altura dominante (m).

En base al rango de alturas encontradas a la edad de referencia se definieron las siguientes clases de calidad de sitio: Clase I: más de 11 metros; Clase II: de 9 a 11 metros; Clase III: de 7 a 9 metros y Clase IV: de 5 a 7 metros. En la Tabla 3 y Gráfico 2 se presentan los valores de índice de sitio para cada edad y las curvas según distinta calidad de sitio siendo la edad de referencia de 17 años.

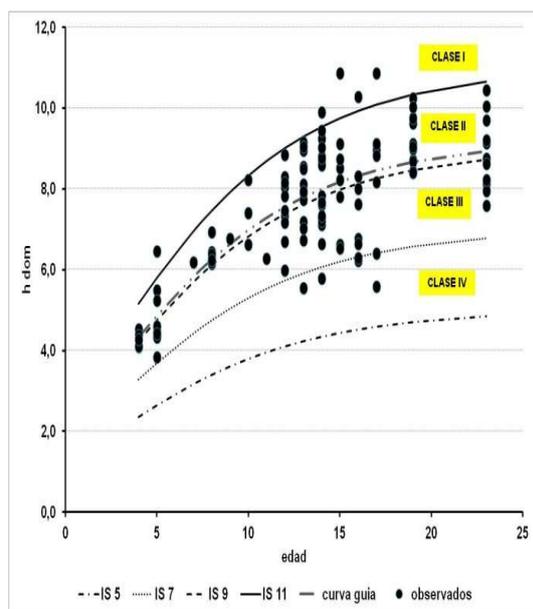


Gráfico 2. Curvas de índice de sitio.
Graphic 2. Site index curves

Tabla 3. Valores de altura dominante según edad e índice de sitio.

Table 3. Values of dominant height according to age and site index

Edad (años)	Altura dominante (m)			
	IS 5	IS 7	IS 9	IS 11
4	2.3	3.3	4.2	5.2
6	2.9	4.1	5.2	6.4
8	3.4	4.7	6.1	7.5
10	3.8	5.3	6.8	8.3
12	4.1	5.7	7.4	9.0
14	4.3	6.1	7.8	9.5
16	4.5	6.3	8.1	9.9
18	4.6	6.5	8.4	10.2
20	4.7	6.6	8.5	10.4
22	4.8	6.7	8.7	10.6
24	4.9	6.8	8.8	10.7

Se considera que un rango de 2 metros de altura dominante para cada calidad de sitio permite una mayor comodidad de trabajo a la hora de establecer calidades de sitio en el terreno. Se puede observar que las curvas favorecen la determinación de calidad a partir del 6º año, dado que antes los rangos de altura entre calidades son muy estrechos, por lo cual se aconseja especial cuidado en las mediciones a terreno.

CONCLUSIONES

Dado que constituye una primera aproximación, las curvas generadas permiten una estimación de la calidad de sitio para plantaciones con algarrobo blanco en la provincia del Chaco a modo preliminar, debiendo restringirse su uso preferentemente a los rangos de altura y edad abarcados en este trabajo.

Se puede observar que la evolución o crecimiento de altura dominante tiende a estabilizarse en edades cercanas a los 25 años, siendo la pendiente cada vez menor.

Se trata de una especie cuyos rangos de variación de altura no son muy grandes por lo cual es necesario hacer una correcta medición de altura para incrementar la precisión de la estimación de calidad de sitio.

Debido al carácter anamórfico del método es necesario incrementar la base de datos y probar con otros modelos e hipótesis de crecimiento a los efectos de conocer la necesidad de proporcionalidad o no de las curvas de índice de sitio.

Se recomienda establecer relaciones entre las diferentes calidades y variables edáficas a fin de generar indicadores robustos de calidad de sitio que

proporcionen una orientación más certera en la elección de sitios a forestar con algarrobo blanco.

BIBLIOGRAFÍA

ALDER, D. 1980. "Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos". Vol 2: predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes. Roma. 118 pp

ASSMANN, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Oxford, UK, Pergamon Press. 506 pp. 24, 26

Álvarez, G. J., Barrio, A. M., Diéguez, A. U., y Rojo, A. A. 2004. Metodología para la construcción de curvas de calidad de estación. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 18(1), 303–309. Obtenido de <http://www.secforestales.org/web/images/stories/c18.pdf>

ANDENMATTEN, E. y F. Letourneau. 1998. Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb.) Franco de aplicación en la Región Andino Patagónica de las provincias de Río Negro y Chubut, Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 103 (1):69-75

BURKHART H y T Gregoire. 1994. Forest Biometrics. Handbook of Statistics, Vol. 12, Fourth Edition MacGraw Hill.

CAÑADAS, M., Calama, R., Güemes, C., y Montero, G. 1992. Modelo de calidad de estación para *Pinus pinea* L. en las masas del sistema central (valles del Tiétar y Alberche), mediante aplicación de la metodología propuesta por Goelz y Burk. Actas IV Congreso Forestal Español. Disponible en: <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/view/7288/7211>.

CARMEAN, W. 1972. Site Index Curves for Upland Oaks in the Central States. Forest Science Volume 18 (2): 109-120.

CIESZEWSKI C J, R L Bailey. 2000. Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. For. Sci. 46:116-126.

CLUTTER J L.; Forston, J. C.; Pienaar, L. V.; Brister, G. H.; Bailey, R. L. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons, Inc. New York. 333 p.

CORNEJO, O. E. H., Pereyra, G. J. A., Mares, A. O., Valencia, M. S., y Celestino F. L. 2005. Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Revista Fitotecnia Mexicana, 28(3), 213–219. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028305>

CUADRA, D. 2012. La problemática forestal en la provincia del Chaco, Argentina. Un análisis desde la Geografía. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. ISSN 1668-5180 Facultad de Humanidades. UNNE. Año 9. N° 18. Resistencia, Chaco. 25 pp

DELVALLE, P. 2006. RALEOS SELECTIVOS EN FORESTACIÓN JOVEN de algarrobo blanco *Prosopis alba* Griseb. II Jornadas Forestales en Santiago del Estero: "El árbol. Forestación y aprovechamiento integral del algarrobo". Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. <http://fcf.unse.edu.ar/eventos/2-jornadas-forestales/pdfs/Raleos%20Selectivos%20en%20Forestacion%20Joven%20de%20Algarrobo%20Blanco.pdf> – visitado enero de 2016.

DI RIENZO J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

MADRIGAL, H. S., Moreno, C. J., y Vázquez, C. I. 2005. Comparación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. Región Hidalgo-Zinapécuaro, Michoacán. Revista Ciencia Nicolaita, 40(1), 157–172. Obtenido de http://www.cic.umich.mx/documento/ciencia_nicolaita/2005/40/Cn40-157.pdf

MORA, F., y Meza, V. 2003a. Curvas de índice de sitio para Teca (*Tectona grandis* Linn.) en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. In: Plantaciones de Teca (*Tectona grandis*): Posibilidades y perspectivas para su desarrollo. Seminario, 26, 27 y 28 de Noviembre. Ed. INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 16 p. www.una.ac.cr/inisefor.

PAYANDEH, B., y Wang, Y. 1994. Relative accuracy of a new baseage invariant site index model. For. Sci. 40:341-343.

PÉREZ-GONZÁLEZ G., M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi y J. D. Etchevers-Barra (2012) Caracterización dasométrica

e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques* 18:7-24

PRODAN, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. *Mensura forestal. Serie investigación y Educación en Desarrollo Sostenible Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 561p.*

RODRÍGUEZ-ACOSTA, M., y Arteaga-Martínez, B. 2005. Índice de sitio para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en los estados de Veracruz y Puebla, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(1), 39–44. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62911106>

TAMARIT-URIAS, J.C.; De los Santos-Posadas, H.M.; Aldrete, A.; Valdez-Lazalde, J.R.; Ramírez-Maldonado, H. y De la Cruz, V.G. 2014. Ecuaciones dinámicas de índice de sitio para *Tectona grandis* en Campeche, México. *Revista Agrociencia* 48: 225-238.

THREN, M. 1993. *Dasometría. Apuntes de Clase. Serie técnica Forestal. UNSE – GTZ. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 182 pp*

TORRES, R. J. M. 2001. Curvas de índice de sitio de forma y escala variable en investigaciones forestales. *Revista Agrociencia*, 35(1), 87–98. Obtenido de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2001/ene-feb/art-8.pdf>

ZEPEDA B, B Rivero (1984) Construcción de curvas anamórficas de Índice de Sitio: Ejemplificación del método de Curva Guía. *Rev. Ciencia Ftal. N°51. Vol 9.(Sep. Oct.), pp 1-38.*