

# Índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana*, en Siltepec, Chiapas, México

---

## Site Index for *Pinus Pseudostrobus* var. *Oaxacana*, in Siltepec, Chiapas, Mexico

Dorian de Jesús Pimienta-de la Torre, Hugo López Ramírez, Pablo Marroquín-Morales,\* Jorge Reyes-Reyes y Juan Alberto Rodríguez-Morales

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Pueblo de Huehuetán, Chiapas, México.  
Correspondencia: marroquin\_34@hotmail.com\*

### Resumen

El índice del sitio es la estimación principal para evaluar la productividad de un bosque, ya que facilita clasificar los rodales conforme a su potencial productivo. El objetivo del presente trabajo fue determinar la productividad de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* a través del método de la curva guía, mediante el ajuste de diferentes modelos de crecimiento forestal. El modelo de Michailoff, estadísticamente presentó el mejor ajuste; sin embargo, el modelo Prodan representa mejor el patrón de crecimiento de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*, aunque estadísticamente los modelos son similares, muestra alta significancia en la relación de crecimiento en altura y edad.

### Palabras clave

Coníferas, curva guía, modelos de crecimiento, productividad.

### Abstract

The site index is the main estimate for evaluating the productivity of a forest, as it makes it easy to classify stands according to their productive potential. The objective of the present work was to determine the productivity of *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* through the guide curve method, by adjusting different forest growth models. The Michailoff model statistically presented the best fit. However, the Prodan model better represents the growth pattern of *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana*, although statistically the models are similar, showing high significance in the relationship between growth in height and age.

### Keywords

Conifer, guide curve, models growth, productivity.

## Introducción

*Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* es una especie de amplia distribución natural en México, Guatemala, Honduras y El Salvador (CONAFOR, 2007). En México se distribuye principalmente en la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre de Chiapas y parte de la Sierra Madre Occidental, la importancia de esta especie radica en la buena calidad de su madera para aserrío, triplay y chapa, pulpa para celulosa, además de ser

buen productor de resina (Martínez, 1992). México tiene aproximadamente 50% de especies del mundo y cerca de 33% de encino, todas de importancia económica, debido a su aprovechamiento maderable, aunque la especie de mayor impacto maderable es la de *Pinus*, con un 80% de producción nacional (CONAFOR, 2015).

A pesar de lo anterior, la evaluación de la productividad es casi nula en los bosques bajo aprovechamiento forestal maderable en el estado de Chiapas. Siendo la calidad de estación uno de los parámetros que permite clasificar los bosques. Además, el índice de sitio (IS) es un indicador poblacional de análisis objetivo, con fines variados tales como la estimación de la altura dominante, volumen total, manejo forestal y análisis financiero, entre otros (Álvarez-Montalván *et al.*, 2015), y su evaluación es necesaria para la elaboración de planes de manejo que aseguren el aprovechamiento racional y continuo. Modelar el crecimiento forestal facilita la estimación de la productividad de los ecosistemas forestales y el aprovechamiento de una especie en función de la calidad de sitio (Díaz *et al.*, 2018). Por lo tanto, estos modelos representan una herramienta silvícola muy importante para clasificar la productividad de los bosques (Castillo-López *et al.*, 2018) y es una representación gráfica de la capacidad productiva de un área forestal, que describe la relación entre la altura dominante y la edad de un rodal (Martínez-Zurimendi *et al.*, 2015).

A pesar de que *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* es una especie de importancia en el aprovechamiento de madera en el estado de Chiapas, estudios sobre productividad de sus bosques son escasos; siendo esta información fundamental para diseñar los planes de manejo forestal. Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la productividad de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* a través del método de la curva guía, mediante el ajuste de modelos de crecimiento forestal.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ejido El Rodeo, ubicado aproximadamente a 20 km al sureste de la cabecera municipal de Siltepec, Chiapas, México. Geográficamente se encuentra ubicado en la Sierra Madre de Chiapas y se localiza entre 15° 28' 26.20" y 15° 27' 54.31" de latitud norte 92°16' 01.22" y 92°16' 06.03" de longitud oeste. Orográficamente pertenece a la provincia fisiográfica de la cordillera centroamericana. El clima que predomina en el área de estudio es C(m)(w) correspondiente al templado húmedo con abundantes lluvias en verano, con un rango de precipitación de 2 000 a 2 500 mm anuales. La altitud va de 2 500 a los 3 050 m, con suelos dominantes como el acrisol húmico y andosol húmico. El tipo de vegetación corresponde a bosque de coníferas, donde las principales especies son *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana*, *P. ayacahuite* Ehren, *P. chiapensis* Andresen y *Abies guatemalensis* Rehder (BIOFOR, 2015).

La base de datos está integrada por 89 árboles, obtenidos de 80 unidades de muestreo de forma circular (1 000 m<sup>2</sup>) de manera sistemática y en una superficie de 130 ha. A cada árbol se le midió el diámetro normal (cm) con una forcípula marca Mantax blue®, la altura total (m) con un clinómetro marca Suunto® y la edad (años), esta última con base en los anillos de crecimiento de la muestra de madera obtenida con taladro de Pressler marca Haglöf® a 1.30 m del suelo, agregando cuatro años más (que es el tiempo estimado para

que los árboles alcancen tal altura), esto en comunicación personal con el técnico forestal. Se seleccionaron árboles de diferentes categorías diamétricas para obtener las muestras, tomando en cuenta que estos fueran dominantes o codominantes, libres de plagas y enfermedades, fuste recto y copa completa (Rodríguez-Acosta y Arteaga-Martínez, 2005).

Se aplicó el método de la curva guía, que consiste en ajustar en forma analítica un modelo matemático para obtener una curva promedio o curva guía en todo el intervalo de observaciones de altura-edad (Hernández-Ramos *et al.*, 2015). Una vez generada, se consideró una equidistancia entre curvas de 3 m definiendo de esta manera tres calidades o clases de sitios, alta (I), media (II) y baja (III). Se determinó el coeficiente de proporcionalidad (CP) para cada IS, a partir de la relación entre la altura que corresponde a la curva guía a la edad base, en este caso 50 años.

Se ajustaron modelos de crecimiento forestal mediante regresión no lineal con el fin de corroborar su eficiencia para predecir el índice de sitio de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. Los datos se analizaron en el paquete estadístico Statistica 7® y la selección entre los modelos se basó con base a los criterios estadísticos, observándose la respuesta y su grado de exactitud, para ello se utilizaron los siguientes criterios: el valor más bajo del error estándar ( $S_x$ ), el valor más alto del coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{adj}$ ) y la interpretación lógica del modelo.

## Resultados y discusiones

De los modelos propuestos para evaluar la predicción del índice de sitio en *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*, estadísticamente el modelo Michailoff fue el que presentó el mejor ajuste, al obtener el valor más bajo en el error estándar (cuadro 1); sin embargo, al observar la eficiencia del modelo subestima la altura en los primeros años de crecimiento, que puede deberse al menor número de datos, especialmente a edades menores y a que la forma de la curva no está bien soportada con datos a estas edades. Por lo anterior, se prefirió el modelo de Prodan, el cual representó más la biología de crecimiento de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*, los criterios de bondad de ajuste son similares al modelo de Schumacher y Van Laar, por ello en la selección del modelo debe corroborarse el ajuste gráfico de la ecuación, debido a que puede tener limitada la capacidad de predicción y por ende no represente la tendencia adecuada de los datos.

El modelo de Prodan representa el patrón de crecimiento, aunque estadísticamente los tres modelos son similares, los resultados de ajuste indican alta significancia en la relación existente del crecimiento en altura y la variable edad.

Cuadro 1  
Parámetros de los mejores modelos ajustados para *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* en Chiapas, México

Modelo	a	b	c	R <sup>2</sup> adj	S <sub>x</sub>
Van Laar	3.52	-15.85	-60.84	0.82	1.50
Schumacher	7.27	-18.57	4.78	0.82	1.50
Prodan	11.46	0.31	0.03	0.82	1.50
Michailoff	36.59	-17.06		0.82	1.49

Donde: a,b,c,d = parámetros de regresión. R<sup>2</sup> adj = coeficiente de determinación ajustado. S<sub>x</sub> = Error estándar.

La ecuación de Prodan para predecir la altura es la siguiente:

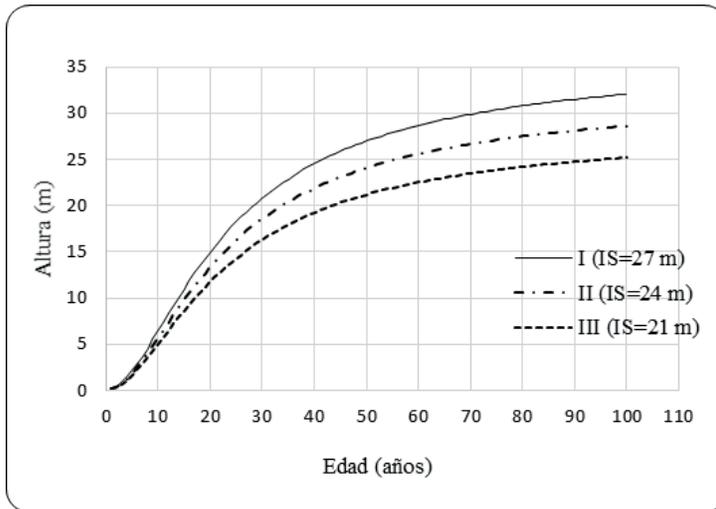
$$h = 1.30 + \frac{50^2}{11.46 + 0.31 * 50 + 0.03 * 50^2}$$

Donde: h = altura. 1.30 = constante del modelo. t = edad 50 años. a = 11.46, b = 0.31 c = 0.03 parámetros de regresión del modelo.

En la figura 1 se ilustra la familia de curvas de índice de sitio de tipo anamórfica, las cuales permiten clasificar el bosque de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* de acuerdo a su potencial productivo. Las tendencias de las curvas representan el valor dentro de un intervalo de 3 m a la edad base de 50 años. En ella, el límite superior de esta familia de curvas representa a los rodales de mayor productividad con alturas de 27 m, mientras que el límite inferior representa a los de menor productividad con alturas de 21 m. Por otro lado, el conjunto de los factores ecológicos abióticos que inciden en un lugar define la capacidad productiva para una determinada especie forestal, en este trabajo se encontró que la máxima producción a la edad base de 50 años es de 27 m, correspondiente al índice I; sin embargo, Vargas-Larreta *et al.* (2013) desarrollaron un modelo dinámico de crecimiento de altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el noreste de México, donde encontraron un índice de sitio de 23 m.

El modelo de Prodan demostró su eficiencia para ajustar datos de crecimiento en el área forestal, por lo cual es empleado por varios autores. Stajić *et al.* (2016) evaluó siete modelos para elaborar curvas anamórficas de índice de sitio para la haya Moesiana (*Fagus taurica* People.) en la región de Žagubica, de Serbia Oriental, donde el mejor ajuste lo obtuvo el modelo de Prodan con un R<sup>2</sup> de 0.82, igual al de este trabajo. Por otra parte, Mora *et al.* (2014) ajustaron modelos para seleccionar una ecuación que mejor interprete las curvas polimórficas de índice de sitio en *Cupressus lusitánica* en la región central de Costa Rica, el mejor modelo ajustado obtuvo un R<sup>2</sup> de 0.91, siendo superior a esta investigación. Sin embargo, Minoche *et al.* (2017) en la determinación del índice de sitio en plantaciones de *Tectona grandis* L. en Tabasco, México, el modelo de Prodan no presentó un buen ajuste y obtuvo un R<sup>2</sup> de 0.47, inferior al de este estudio.

Figura 1  
Curvas de índice de sitio (IS) para *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* en Chiapas, México.



Al conocer el IS se puede saber a qué edad los árboles alcanzarán un diámetro determinado y que producciones se pueden esperar en función de la edad de corta (Martínez-Zurimendi *et al.*, 2015). Por lo cual, es uno de los parámetros necesarios en los planes de manejo forestal para planificar y ejecutar adecuadamente las prácticas silvícolas, de acuerdo al potencial productivo del área a intervenir.

## Conclusión

El modelo de Prodan representa el mejor el patrón de crecimiento de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*, aunque estadísticamente los modelos son similares, muestra alta significancia en la relación del crecimiento en altura y la variable edad. Bajo este contexto, la simulación con modelos matemáticos es una herramienta útil para la toma de decisiones en el manejo forestal sustentable.

## Literatura citada

- Álvarez-Montalván, C.E.; Castañeda-Tinco, M.I. y Rosales-Solórzano, E.R. (2015). Índice Sitio según edad y altura de *Pinus radiata* D. Don en las plantaciones de Acolla, Junín - Perú. *El Cepsosimad*, 3(2): 36-43.
- BIOFOR (Biodiversidad Forestal S. C.). (2015). Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido El Rodeo, municipio de Siltepec, Chiapas. México. 68 p.
- Castillo-López, A.; Santiago-García, W.; Vargas-Larrea, B.; Quiñonez-Barraza, G.; Solís-Moreno, R. y Corral, R. J. J. 2018. Modelos dinámicos de índice de sitio para cuatro especies de pino en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (49): 1-24.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2007). SIRE-Paquetes Tecnológicos. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/980Pinus%20pseudostrobus%20var%20oaxacana.pdf> (Consultado 8 febrero 2020).

