

Relación hipsométrica y factor de forma en una plantación raleada de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Veracruz, México

Jesús Prados Coronado^{1*}, Rosamaria Montiel Méndez², Miguel Barrera Sánchez³, Guadalupe Pérez Hernández⁴, Belkis Subarán Rangel⁵, Rodrigo Hakamada⁶

^{1*}: Ingeniero Forestal, Profesor, Instituto Tecnológico Nacional campus Las Choapas. chucho1506.jpc@gmail.com

²: Ingeniera Forestal, Instituto Tecnológico Nacional campus Las Choapas

³: Ingeniero Forestal, Instituto Tecnológico Nacional campus Las Choapas

⁴: Ingeniera Forestal, Uumbal Agroforestal

⁵: Doctora en Ciencias de Materiales, Profesora, Universidad de Guadalajara, Departamento de Estudios Del Agua y Energía

⁶: Doctor en Ciencias Forestales, Profesor, Universidad Federal Rural de Pernambuco, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais y Universidade de Guadalajara

Resumen

Este trabajo se desarrolló con la finalidad de escoger una ecuación hipsométrica y factor de forma que seas representativas de las plantaciones forestales comerciales de *Pinus caribaea* en la región sureste de Veracruz. Fueron seleccionados 65 árboles de diferentes clases diamétricas (diámetro a la Altura del Pecho - DAP) en una plantación de 5 años con una densidad de 1,111 árboles por hectárea con un espaciamiento de 3 x 3 m. Posteriormente los árboles se seccionaron en trozas y midieron con el fin de crear una base de datos para comparar diversos modelos matemáticos mediante el R^2 , el error (%), el valor p y el gráfico de residuos. El factor de forma promedio fue de 0,49 pero cambió de acuerdo con el DAP, variando de 0,43 hasta 0,65 y el modelo seleccionado tuvo un R^2 de 0,98 y error de 8,6%. Como no hay tantas informaciones sobre este tema por la región, el trabajo genera una ecuación bien ajustada para la especie, y también propone el uso de un factor de forma variable de acuerdo con el DAP.

Palabras-clave: manejo forestal, modelaje, ecuaciones.

Introducción

Según la CONAFOR “Comisión Nacional Forestal” (2021) en México la región del Sureste de Veracruz actualmente está considerado como una zona de potencial crecimiento en plantaciones forestales comerciales esto ha generado la necesidad de hacer estudios para conocer diversos indicadores de las masas forestales, ya que las plantaciones comerciales de *Pinus Caribaea* son relativamente nuevas iniciando en el 2011 aún no hay mucha información teniendo en cuenta lo anterior y el crecimiento de las plantaciones se decidió que una de principales necesidades es conocer el la altura y el factor de forma para realizar valorizaciones dendrométricas de las plantaciones.

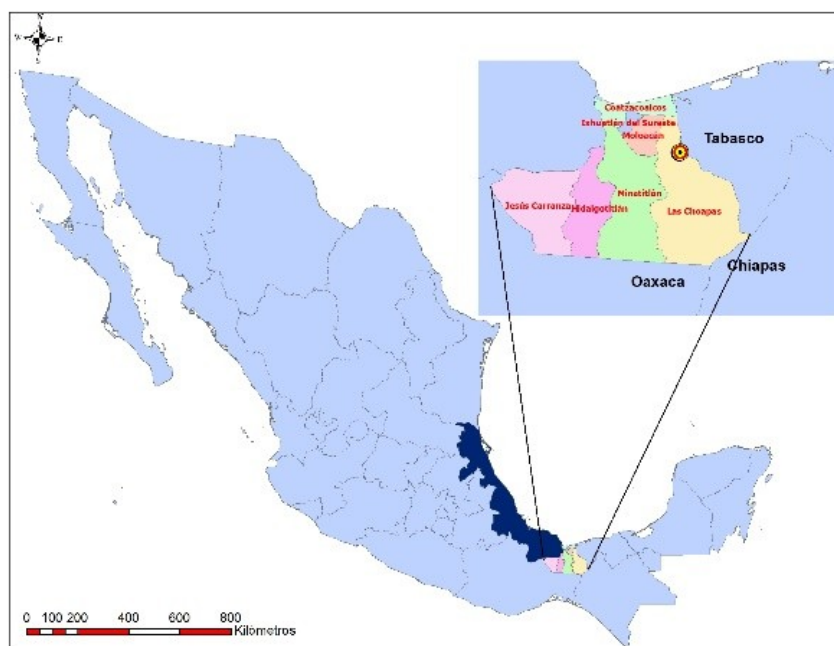
Para realizar estas valorizaciones son fundamentales los modelos matemáticos, que permitan a los propietarios generar información de manera fiable y económica para un acertado manejo forestal; estos modelos son evaluados a partir de datos colectados en campo con la finalidad de inferir la altura y el factor de forma de cada árbol tomando en cuenta variables forestales fácilmente medibles como son el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). Para un modelado altimétrico y de factor de forma con mayor apego a la realidad es necesario comparar diversos modelos matemáticos utilizando la regresión lineal y múltiple en donde las variables dependiente son la altura y el factor de forma estas a su vez están ligada al DN la cual es la variable independientes, para posteriormente comparar los diversos modelos obtenidos mediante análisis estadísticos que nos permitan observar la manera en que se ajustan con los datos colectados en campo. Después de comparar y escoger el modelo matemático con mejores resultados, este se ocupará para su aplicación en inventarios forestales, ya que se podrá extrapolar la altura media total de las plantaciones, así como el factor de forma teniendo en cuenta la superficie de las parcelas de muestreo.

Metodología

Los datos utilizados para desarrollar este trabajo fueron colectados en una Plantación forestal comercial de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, que pertenecen a la empresa Agroforestal Uumbal Veracruz. S.A.P.I. de C.V., situada en el municipio de Las Choapas al sur de Veracruz, México; que presenta como características agroecológicas temperatura media anual de 27° C. Precipitación media de 2,900 mm. Según la clasificación de KÖPPEN se tiene un clima de tipo Am tropical con lluvias de

monzón, los suelos característicos de la plantación evaluada son suelos Acrisol con horizontes arenos arcillosos.

Figura 1. Ubicación del estudio en la ciudad de Las Choapas, Veracruz, México.



Teniendo como lugar específico un rodal de 32.21 has. representativo de la plantación establecido en el 2011; esta colecta de datos se realizó en 2016 cuando la plantación tenía 5 años, los manejos silvícolas anuales eran control de maleza y 2 fertilizaciones en el año 1 de edad. Para la colecta de datos se decidió seleccionar 65 árboles de diferentes clases diamétricas siendo el DAP mínimo de 6.4 cm. y el DAP máximo de 25.1 cm. los cuales se seleccionaron dentro del rodal para posteriormente derribarlos medirlos.

Tabla 1.- Frecuencia de árboles cubicados para las plantaciones de *Pinus Caribaea* en diferentes clases diamétricas encontradas en una población de 5 años.

Clase	Intervalo de Clase	Centro de Clase	Arboles Cubicados
1	6.4 cm <= 8.7 cm	7.6 cm	3
2	8.7 cm <= 11.1 cm	9.9 cm	9
3	11.1 cm <= 13.4 cm	12.2 cm	5
4	13.4 cm <= 15.7 cm	14.6 cm	15
5	15.7 cm <= 18.1 cm	16.9 cm	10
6	18.1 cm <= 20.4 cm	19.2 cm	7
7	20.4 cm <= 22.7 cm	21.6 cm	11
8	22.7 cm <= 25.1 cm	23.9 cm	5
Total			65

Con estos datos fueron evaluados 3 modelos matemáticos para las variables de altura y de factor de forma los cuales fueron ajustados utilizando la regresión simple y múltiple mediante el análisis de datos del programa Excel.

Tabla 2.- Modelos matemáticos comparados.

Modelo	Nombre	Modelo Matemático
1	Regresión lineal	$Y = b_0 + b_1 \cdot DN$
2	Parabólico	$Y = b_0 + b_1 \cdot DN + b_2 \cdot (DN)^2$
3	Curtis	$Y = b_0 + b_1 / DN$

Siendo Y la variable de interés, DAP = diámetro a 1.30 m del suelo en centímetros.

Fueron ajustados estos 3 modelos matemáticos para su posterior comparación, y realizar así un análisis estadístico individual por cada uno de los modelos, para escoger al modelo que se ajusta más, con base en los siguientes criterios estadísticos de importancia: error estándar (%), coeficiente de determinación (R^2) y la distribución de los errores.

Resultados y discusión

Utilizando la relación entre el volumen real del árbol obtenido del proceso de cubicación y el volumen del cilindro el cual se calculó con la altura total del árbol y como base el DN diámetro a la altura de 1.3 m. del suelo, se obtuvo el Factor de forma, el cual se encarga de corregir la sobrestimación del volumen de cada árbol ya que cada árbol tiene una tendencia mucho más parecida a la figura geométrica del cono que un cilindro, a esto se le conoce como factor de forma:

Tabla 3.- Estimación de volumen real y volumen de cilindro para ajuste de factor de forma.

Promedio de volumen Real de árboles cubicados	Promedio de volumen de cilindro de árboles cubicados
0.108433	0.222134

$$ff = \frac{0.108433}{0.222134}$$

$$ff = 0.49$$

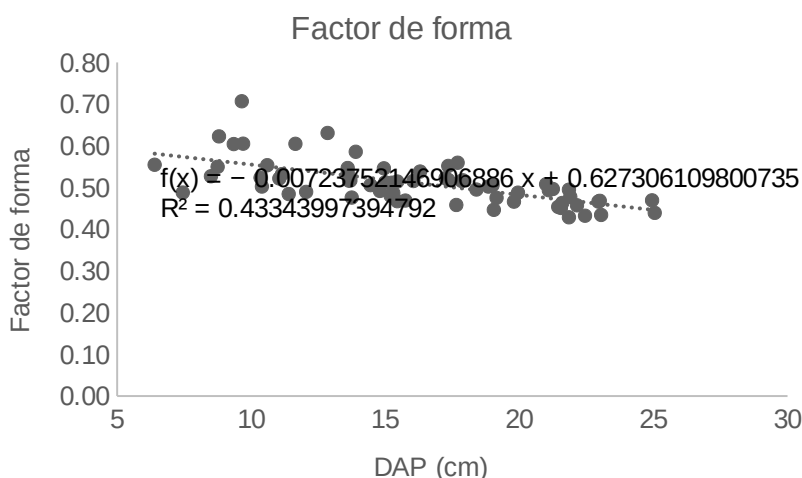
El factor de forma se convierte en una herramienta valiosa ya que mediante esta y la altura del árbol nos permite conocer el volumen maderable del mismo de manera rápida y precisa, cabe mencionar que el uso del factor de forma para el cálculo del volumen del árbol es de menor precisión en comparación con ecuaciones de volumen.

Tabla 4.- Análisis estadístico de modelos matemáticos ajustados a la variable de factor de forma.

Modelo N°	b0	b1	b2	R ² aj. %	Error	Análisis Gráfico de Residuos
1	0.6273	-0.0072		43.34%	7.77 %	Heterogéneo
2	0.6060	-0.0043	-0.0001	43.50%	7.82 %	Heterogéneo
3	0.4242	1.2561		34.92%	8.33 %	Heterogéneo

El modelo que más se ajustó a nuestros datos observados fue el modelo numero 1 el cual presenta una tendencia negativa en la línea de tendencia que a continuación se presenta:

Figura 2. Factor de forma de acuerdo con el diámetro en la altura del pecho.



Según lo observado en la gráfica entre en DN del árbol es mayor el factor de forma disminuye por lo cual es recomendable para hacer clases diamétricas para utilizar el factor de forma que más convenga a fin de conseguir una mayor proximidad en el cálculo de volumen de madera.

Tabla 5 - Análisis estadístico de modelos matemáticos ajustados a la variable de altura.

Modelo	b0	b1	b2	R² aj. %	Error	Análisis Gráfico de Residuos
Y= b0+b1*DN	0.0135	0.1097		95.77%	12.53 %	Con tendencia
Y= b0+b1*DN+b2*(DN)²	-0.0094	-0.0003	0.0004	98.02%	8.64%	Heterogéneo
Y= b0+b1/DN				97.97%	8.75%	Heterogéneo

Siendo Y = altura total del árbol (m), DN = diámetro a 1.30 m. Del suelo en (cm).

Conclusión

Encontramos un factor de forma promedio de 0,49, pero cambiando de acuerdo con el DAP. También logramos elaborar una relación hipsométrica significativa para el *Pinus caribaea* cultivado en esta región. Creemos que este estudio es importante pues genera informaciones básicas acerca del manejo forestal del pino, género muy cultivado en el sur del país para la producción de resina y de madera.

Referencias bibliográficas

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2021. Areas elegibles 2022. Componente II, Plantaciones Forestales. Acceso en <https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/adjuntos/4e2b8d9449963bfcacb2454c2420a625.jpg>