

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE *Pinus patula* Sch. et Cham. EN PLANTACIONES EN HUAYACOCOTLA, VERACRUZ

Y. E. Romero-Gutiérrez; H. Ramírez-Maldonado

División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. C.P. 56230.

RESUMEN

En este estudio se analizan trece plantaciones de *Pinus patula* de dos a once años de edad, y calidades de sitio similares, en la región forestal de Huayacocotla, Veracruz, México. Se estudiaron las variables, volumen, altura y diámetro normal de árboles individuales, en función de la edad y de algunos indicadores de competencia relacionados con la distancia promedio entre individuos, las dimensiones de las copas, entre otras variables. De los análisis se obtuvieron ecuaciones de crecimiento que incluyeron la superficie lateral de la copa como indicador de competencia.

GROWTH ANALYSIS IN *Pinus patula* Schl. et Cham. PLANTATIONS IN HUAYACOCOTLA, VERACRUZ

SUMMARY

Thirteen 2 to 11 year-old *Pinus patula* plantations growing on sites of similar quality in the Huayacocotla region, Veracruz, Mexico, were studied. Volume, height and diameter at breast height of individual trees were analyzed as a function of age and other competence indicators related to average distance between trees and canopy variables. Growth equations with lateral canopy surface area as well as with competence indicators were obtained.

KEY WORDS: growth equations, canopy, competence indicators.

INTRODUCCION

Pinus patula es una especie endémica de México con gran potencial económico por su rápido crecimiento. La especie ha sido introducida a otros países para obtener material celulósico. El rendimiento de *Pinus patula* en el extranjero ha sido mayor que en México, lo cual estimula su estudio en el área de distribución natural.

La competencia intraespecífica es un factor determinante en el crecimiento de los árboles de cualquier especie, por lo que el presente estudio analiza el diámetro normal (DN), la altura total (ALT) y el volumen total (VOL) como una función de la edad y de la competencia.

Se estudiaron plantaciones de la especie en Huayacocotla, Veracruz, con edades de dos a once años. La zona está incluida en el área de distribución natural de *Pinus patula*.

ANTECEDENTES

La competencia entre dos o más organismos se presenta cuando la disponibilidad de recursos es inferior a los requerimientos para el crecimiento óptimo de una

población (Biging y Dobbertin, 1992). Se ha definido, sin que sea necesariamente cierto siempre, que la competencia aérea inicia en el momento en que las copas de dos árboles se tocan. El cierre de copas está relacionado con el tamaño de la copa viva y con la distancia de las copas vecinas, naturalmente, esto está condicionado por el espaciamiento entre los árboles (Oliver y Larson, 1990).

La competencia reduce el ritmo de crecimiento y cambia la distribución de fotosíntatos, modificando así el crecimiento de las distintas partes del árbol (Oliver y Larson, 1990). Los índices de competencia (IC) son conceptos que tratan de cuantificar el efecto de la competencia sobre un árbol o un rodal. Los IC generalmente intentan sintetizar la respuesta de la lucha por recursos escasos como luz, agua, nutrientes y espacio de crecimiento. Aparentemente los IC son más eficientes en especies intolerantes, donde la luz es el principal factor por el cual se compete (Biging y Dobbertin, 1992).

Se han desarrollado dos tipos de IC, los dependientes y los independientes de la distancia. Los IC dependien-

tes de la distancia requieren la ubicación de los árboles para su estimación, siendo por ello sensitivos a diferencias en el arreglo espacial; para su definición generalmente es necesario identificar a los competidores de un árbol objetivo, mediante la definición de un área de influencia que puede ser determinada por un radio alrededor del árbol de interés. En los independientes la distancia de los competidores no se considera.

El follaje de un árbol refleja su eficiencia en el uso del espacio de crecimiento, el tamaño del follaje puede indicar la capacidad para producir fotosintatos e indirectamente determinar el tamaño del árbol mismo. El tamaño del follaje puede ser estimado por la superficie de la copa y entonces utilizar ese estimador para explicar el tamaño del árbol en DN, ALT y VOL (Rodríguez, 1987).

METODOLOGIA

Se seleccionaron 13 plantaciones en la región de Huayacocotla, Veracruz, entre las coordenadas 20° 23' y 20° 32' latitud Norte y entre los 98° 23' y 98° 34' longitud Oeste; éstas se encuentran en el área de distribución natural de *Pinus patula*, no presentan evidencias de daños por plagas, enfermedades o acciones mecánicas, tienen un espaciamiento regular de 2 x 2 m, la regeneración natural es casi ausente, y cubren edades de 2 a 11 años.

En cada plantación se trazaron tres parcelas rectangulares de 300 m² cada una y se enumeraron consecutivamente los árboles incluidos en ellas. De la escasa regeneración natural, sólo se incluyeron árboles con altura igual o mayor que la altura promedio de la plantación. La información registrada incluyó la altura total (ALT), el diámetro normal (DN), la longitud de copa expuesta (LC EX), la longitud de copa viva (LC M) la distancia al siguiente árbol (DI), el rumbo al siguiente árbol, el diámetro máximo de copa y el diámetro perpendicular a éste.

Un primer análisis indicó que en las plantaciones con edad menor que cinco años todavía no manifestaban competencia, por lo que solamente se emplearon las de edad mayor que cinco años.

Para los análisis individuales se usaron tres árboles de cada posición silvícola (dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos) dentro de cada una de las siete plantaciones mayores a los cinco años de edad, de este modo se identificaron 84 individuos para este análisis. Los árboles fueron derribados desde su base y de cada uno se registró la altura total y se procedió a extraer rodajas de 5 cm de grosor, la primera se extrajo de la base, la segunda a 0.3 m de altura y las restantes con un metro

de distancia entre ellas. Para los análisis troncales se consideraron dos ejes perpendiculares entre sí sobre cada rodaja.

Cálculo de volumen

El volumen de árboles individuales se calculó empleando la fórmula de Smalian para trozas y la del volumen del cono para la punta del árbol. Para el volumen de la "punta oculta de árboles interiores" se estimó su altura empleando relaciones geométricas. esa altura es la distancia que existe entre la última rodaja en la que se encuentra el anillo de crecimiento de interés y la altura a la cual una línea de ángulo constante desde su inicio, intersectada con un eje central (eje del árbol). La ecuación de volumen que proporcionó mayor ajuste fue:

$$V = 2061.78 + 34.51 (DN^2A) \quad R^2 = 0.991$$

donde: DN = diámetro normal en centímetros

A = Altura total metros

V = Volumen en centímetros cúbicos

Análisis de competencia

Para el análisis de los árboles individualmente sólo se consideraron aquellas plantaciones en las que la suma de las áreas de proyección de sus copas fuese mayor o igual a la superficie de la parcela. Para identificar a los árboles competidores de cada uno de los individuos presentes en las parcelas, se consideraron los que estuvieran en una circunferencia de radio igual al diámetro máximo de copa registrado en cada plantación, tomando como centro un árbol de interés o árbol objetivo, además se eliminaron los árboles cuyas copas no se traslaparan o rozaran con la copa del árbol de interés.

RESULTADOS

Indicadores de competencia

Se emplearon los IC que se describen en el Cuadro 1 para explicar la variación del área foliar (AF) y ésta, a su vez, para explicar el tamaño del árbol (en diámetro normal DN, altura ALT y volumen VOL). El área foliar fue estimada por la superficie de un cono que tuviera como altura la LCM y como diámetro el promedio de los diámetros de copa tomados en campo.

Para identificar la mejor combinación de variables que explicara el mayor porcentaje de la variación del AF, se utilizó el procedimiento STEPWISE del paquete estadístico "SAS". Las variables incluidas en este procedimiento fueron las mencionadas anteriormente, a) en su forma original, b) combinadas entre sí en forma multiplicativa de dos variables y c) elevadas al cuadrado, en total se gene-

raron 58 variables. El criterio para la selección de la mejor combinación de variables fue el valor máximo del coeficiente de determinación (R²). Como resultado de este procedimiento se consideró que el mejor modelo para explicar la variación de AF es:

$$AF = P_0 + (DIP) + M \cdot CEXDI + M \cdot CEXVSC \quad (1)$$

donde: AF = Superficie Foliar; DIP = (distancia promedio entre el árbol objetivo y sus competidores) * Altura total del árbol objetivo / la altura promedio de la plantación; LCEXDI (LCEX) * (distancia promedio entre el árbol objetivo y sus competidores) LCEXVSC = (LCEX) * (radio promedio de la copa del árbol objetivo / radio de las copas de los árboles competidores); y como coeficiente de regresión: P₀ = 9.487684, P₁ = 16.915224, P₂ = 4.372946 y p₃ = 4.165332.

Cuadro 1. Índices de competencia utilizados para explicar el área foliar.

Nombre	Fórmula
a) De Heygii	$L(D_i/D_j)d_{ij}$ Donde: D _i = Diámetro normal del árbol objetivo. D _j = diámetro normal de : árbol vecino d _{ij} = distancia promedio entre los árboles i y j
b) Proporción Árboles-Area(PAA)	$(L A_c)/A$ donde: A _c = área de copa de cada árbol A = área de la parcela
c) Proporción entre radios promedio de copa (VSC)	$\bar{I} (RPC_i / RPC_j)$ donde: RPC _i = radio promedio de copa i (objetivo) RPC _j = radio promedio de copa del árbol i (competidor)
d) Area Basal por superficie	$0.7854DN^2/A$ donde: DN = diámetro normal
e) Distancia promedio	$(r.d_i)/h_i$ donde: d ⁿ = distancia entre el árbol i y el árbol j η = número de competidores
f) Proporción de presión	$PAA = (A_c/A)$ donde: A _c = área de copa del árbol i
g) De Heygii modificado	(igual que a) pero utilizando diámetros de copa)
h) Proporciones entre alturas	A_i / A_j donde: A _i = altura del árbol i = altura promedio de la plantación,
i) VSC modificado	VSC / d_{ij} donde: d _{ij} = distancia promedio entre el árbol objetivo y sus competidores.
j) Longitud de copa expuesta (LCEX)	

Este ajuste tuvo un R² de 0.83, que se puede entender como la proporción de la variabilidad del área foliar

que es explicada por el modelo. Incluyendo las 58 generadas se cubrió la variación del AF en un 95.17 %.

Se procedió a relacionar las dimensiones del árbol objetivo (DN, ALT y VOL) con su área foliar, empleando el modelo:

$$Y = P_0 + P_1 (AF) \quad (2)$$

Las ecuaciones obtenidas con la ecuación anterior fueron:

$$DN = 5.672015 + 0.171934 * AF \quad R^2 = 0.75$$

$$ALT = 6.950285 + 0.065236 * AF \quad R^2 = 0.44$$

$$VOL = -12539 + 2279.351896 * AF \quad R^2 = 0.82$$

El ajuste obtenido con la ecuación (2) sugirió la conveniencia de añadir el AF al modelo de crecimiento de Schumacher para las variables DN, ALT y VOL. El modelo modificado es de la siguiente forma:

$$\ln Y = P_0 + P_1 (1/EDAD) + P_2 (AF) \quad (3)$$

donde: lnY = logaritmo natural de DN, ALT o VOL.

Los ajustes del modelo de Schumacher (1939) y el de la ecuación (3) se realizaron sobre el archivo completo de observaciones capturadas sobre el campo (2717 árboles) y se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Ecuaciones obtenidas con el ajuste de los modelos

$$\ln Y = P_0 + P_1 (1/EDAD) + P_2 (AF) \text{ y } \ln Y = P_0 + P_1 (1/EDAD) \text{ (2717 observaciones).}$$

Modelo:	lnY = Q ₀ + P ₁ (1/EDAD)			lnY = Q ₀ + P ₁ (1/EDAD) + Q ₂ (AF)			
variable	P ₀	p ₁	R ²	P ₀	P ₁	P ₂	R
DN	3.18	-8.33	51	2.47	-5.74	0.01	72
ALT	2.82	-6.84	77	2.42	-5.42	0.007	85
VOL	12.01	-15.52	45	1 -10.36	-9.47	0.03	75

Las ecuaciones derivadas del ajuste del modelo 2, para las variables DN y VOL, presentan un R² muy superior a los obtenidos con el modelo 3 (Cuadro 2). Este hecho y la consideración del período de crecimiento juvenil y breve, hacen pensar que la relación pudiera ser más lineal que logarítmica, por lo que se optó por ajustar las siguientes expresiones:

$$Y = P_0 + P_1(1/EDAD) \quad (4)$$

$$Y = P_0 + P_1(1/EDAD) + P_2(AF) \quad (5)$$

Los arámetros obtenidos para cada variable así como el R correspondiente se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Ecuaciones obtenidas con el ajuste de los modelos
 $Y = + 1B)AO) + [Wif)y = + 1B)AO)(2717 \quad d:m\backslash a\text{irfs}$

variable	MODELO: $Y = Po + p_i(1/EDAD)$			$Y = Po + p_i(1/EDAD) + Pi(AF)$			
	R ₀	ii	R ²	R ₀	ii	I ₂	R ²
DN	17.14	-56.89	34	8.50	-25.32	0.16	81
ALT	10.68	-22.17	64	7.77	-15.57	0.07	80
VOL	10848	-480126	17	-12088	-39430	2282	82
	7						

DISCUSION

LCEXDI, DIP y LCEXVSC son las variables que mejor explican la variación del AF ya que aportan el 83.59% de la variación total. A excepción del VSC, el modelo seleccionando (1), incluyen variables que han sido reportadas en *ms montezumae* por Rodríguez (1987) como mejores indicadores de competencia, DI y P. Y juntas representan la proximidad de los competidores y la dominancia del individuo dentro de la población.

LCEX es la variable más notoria en el modelo (1), lo que se explica considerando a esta variable como un indicador de la posición silvícola del árbol y de la longitud de la copa que se encuentra libre de competencia. Se puede inferir que una mayor LCEX genera mayor actividad fotosintética, como consecuencia, un mayor vigor que tiene mayor capacidad para utilizar los recursos para el crecimiento. Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Biging y Dobbertin (1992), quienes encontraron que los estimadores de la superficie foliar son mejores como indicadores de competencia que los de volumen y diámetro de la copa.

En general, la parte baja de la copa hace un aporte mínimo de fotosíntesis por lo que estimar la capacidad fotosintética calculando la superficie foliar de toda la copa o eliminando la parte "inútil" proporcionaría en teoría el mismo valor. De esta forma, la importancia que la LCEX ocupó en el modelo para el AF puede explicarse si se considera que la superficie foliar es proporcional a la LCEX.

A partir de las relaciones de la LCEX con las otras variables presentes en el modelo (1) se puede decir que la variación del AF está influenciada directamente por la interacción entre el vigor del árbol, la proximidad de sus competidores y la presión de estos sobre el árbol objetivo.

Alemdag (citado por Rodríguez, 1987) señala que un IC debe considerar: a) el tamaño del árbol objetivo y de cada competidor, incluido en el modelo (1) como VSC; b) la distancia entre el árbol de interés y cada competidor, representado por DI; y c) el número total de competido-

res, el cual es considerado sólo de manera indirecta de DI y VSC.

Los ajustes de AF explicando las variables DN, VOL y ALT, a través del modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 AF$, son todos significativos y el mayor R² es para VOL. Sin embargo, sin interpretar el cambio de escala, se observó que las variables transformadas a logaritmos naturales disminuyen su R² (Cuadro 2). Ello puede explicarse considerando que se analiza una etapa temprana en el desarrollo de los árboles de la especie, y que corresponde a la de mayor actividad metabólica, así, el desarrollo de los diferentes atributos del arbolado corresponden a la parte casi recta de la curva sigmoideal general para el crecimiento. Esto se confirma con los resultados presentados en el Cuadro 3 donde, al omitirse las transformaciones logarítmicas se elevan los R² en comparación con los ajustes obtenidos por regresión lineal del modelo de Schumacher; esto ocurre principalmente para DN y VOL (20 y 37% respectivamente), mientras que AF aumenta el coeficiente de determinación del ajuste para ALT en sólo un 3%, lo que refleja la poca dependencia que existe entre el crecimiento en altura y la densidad circundante.

CONCLUSIONES

1. La superficie lateral de la copa (AF) puede considerarse un indicador de competencia debido a que el 83% de su variación se ve influenciada por variables relacionadas con la competencia.
2. El modelo $Y = \beta_0 + \beta_1(1/EDAD) + \beta_2(AF)$ proporciona los mejores ajustes para las variables DN, VOL y ALT, debido a que la información manejada abarca la etapa de mayor velocidad de crecimiento.
3. Los modelos citados en los puntos 1 y 2 pueden mejorarse porque aproximadamente el 20% de la fluctuación de las variables dependientes no es explicada.

LITERATURA CITADA

- Biging, G. S.; Dobbertin, M. 1992. A comparison of distance dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *For. Sci.* 38(3):695-720.
- Olivar, Ch.; B. C. Larson. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. Inc. New York. 467 p.
- Rodríguez Franco, C. 1987. Development of a competition index for *Pinus montezumae* Lamb., in a temperate forest of Mexico. Ph. D. Dissertation. Yale University. School of Forestry. New Haven. 200 p.
- Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. *Journal of Forestry* 37:819-820.