

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SITIO Y DEL EFECTO DE LA DENSIDAD EN BOSQUES DE *Pinus cooperi* DEL ESTADO DE DURANGO

A. Quiñones-Chávez, H. Ramírez-Maldonado

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

RESUMEN

La evaluación de la calidad de sitio y la determinación de los niveles apropiados de densidad son temas de la mayor importancia para manejar los rodales forestales. Por tal motivo, en este trabajo, se calificaron las calidades de sitio a través del modelo Schumacher, en su versión anamórfica, y se determinaron los diferentes niveles de densidad usando el índice de densidad de Rodales de Reineke (IDRR) y el Factor de Competencia de Copas (FCC) en el Sitio Permanente de Experimentación Forestal (SPEF) "Cielito Azul", municipio de San Miguel de las Cruces, Durango. Los resultados más relevantes indicaron que el 61.12% de la superficie total del SPEF está representada, en porcentajes iguales, por las calidades de sitio de 23 y 26 m; le sigue la calidad de sitio de 29 m con 16.67% y, en seguida, la calidad de 19.68 m. Las calidades de sitio mayores (32, 35 y 41 m) están representadas en sólo 8.34% del área. En cuanto a la calificación de la densidad, se encontró que a la norma de densidad establecida (máxima extrema) corresponde un IDRR de 2685 árboles a 25.4 cm de diámetro cuadrático de referencia. En cambio con el Factor de Competencia de Copas, el número de árboles necesario para cubrir completamente una hectárea varía de 6 916 árboles (a un diámetro normal de 10 cm) hasta 1 282 (a un diámetro normal de 30 cm).

PALABRAS CLAVE: *Pinus cooperi*, índice reineke, factor de competición de copa, crecimiento, producción modelo

EVALUATION OF SITE QUALITY AND THE EFFECT OF DENSITY IN FORESTS OF *Pinus cooperi* IN THE STATE OF DURANGO

SUMMARY

The evaluation of site quality and the determination of appropriate densities are very important topics in the management of forest stands. In this study, site quality was classified using the Schumacher model in its anamorphic version, and densities were determined using the Reineke Stand Density Index (IDRR) and Crown Competition Factor (CCF) at the Sitio Permanente de Experimentación Forestal "Cielito Azul" located in San Miguel de Cruces, Durango, Mexico. The most important results showed that 61.12% of the total area is represented, in equal percentages, with site qualities for 23 and 26 m, followed by the site quality for 29 m with 16.67%, and finally the site quality for 19.68m. The best site qualities (32, 35 and 41 m) were found in only 8.34% of the area. IDRR was 2685 trees with a 25.4 quadratic diameter reference. CCF varied from 6916 trees (10 cm d.b.h.) to 1282 trees (30 cm d.b.h.).

KEY WORDS. *Pinus cooperi*, reineke Index, crown competition factor, growth, yield, model.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad de sitio y la determinación de los niveles apropiados de densidad son tareas de la mayor importancia para manejar los recursos forestales. Conjuntamente, la calidad de sitio y la densidad determinan en la mayor proporción el rendimiento que el bosque tendrá a cierta edad, considerando que la especie y su calidad genética sean constantes.

El silvicultor difícilmente podría manipular la calidad del sitio; sin embargo, su cuantificación es importante para analizar el crecimiento de los árboles que componen un bosque. En cambio, las modificaciones de la densidad son factibles (Daniel *et al.*, 1982).

Los objetivos planteados en este trabajo son: a) calificar la calidad de sitio y, b) evaluar el efecto de diferentes niveles de densidad para *Pinus cooperi* Blanco, en el Sitio Permanente de Experimentación Forestal (SPEF) "Cielito Azul" en el estado de Durango. La especie es una de las más importantes en esa región.

ANTECEDENTES

Calidad de Sitio

Los prerrequisitos de cualquier tipo de manejo forestal lo constituyen, sin duda, la evaluación, la clasificación y el mapeo de las áreas forestales. Son importantes, sobre todo, para los programas de manejo intensivo y constitu-

yen los primeros pasos en el desarrollo de los múltiples planes para uso del suelo (Pritchett, 1986).

En general, la calidad del sitio se puede medir en términos de la máxima cantidad de madera producida en un cierto período y para una especie determinada (Bojorges, 1990). Los principales métodos de estimación se clasifican en directos e indirectos. Los primeros realizan la estimación a partir de registros permanentes de producción, y los segundos, a partir de la relación que hay entre especies, características de la vegetación, y factores topográficos, climáticos y edáficos (Clutter *et al.*, 1983).

De todas las medidas indirectas que se han generado, la relación edad/altura (índice de sitio), es la más práctica, consistente y útil como indicador de la calidad de sitio (Davis y Johnson, 1987; citados por Acosta, 1991; Walters y Burkhart, 1987).

Densidad

La densidad considera el grado de poblamiento de árboles que tiene un rodal. Se puede medir por el número de árboles, el área basal o el volumen por unidad de superficie. La densidad determina el nivel de competencia, como efecto de la densidad, e influye en el crecimiento de un rodal (Oliver y Larson, 1990).

Becerra (1986), indica que para la consecución de un crecimiento óptimo del rodal y para obtener un producto aceptable, es necesario mantener la densidad correcta, la que se manipula mediante la aplicación de aclareos, que representan el medio fundamental por el que se puede aumentar la productividad de las masas, más allá de lo que se lograría bajo condiciones puramente naturales, en el mejor de los casos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El SPEF “Cielito Azul” se encuentra ubicado en el paraje conocido como “El Cielito Azul”, del predio particular denominado “Lote No. 4 del Fraccionamiento Las Vere-

das”, a 12.5 km del poblado de San Miguel de Cruces, Durango, por el camino principal San Miguel de Cruces-Puentecillas.

El centro del Sitio se localiza en los 24° 22' 30" de latitud norte y 105° 53' 30" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. La altura promedio sobre el nivel del mar es de 2 325 m.

METODOLOGÍA

Calidad de sitio

Base de datos. Se utilizó la base de datos correspondiente a la remediación del SPEF del año 1993. En una primera selección de los árboles apropiados para la determinación de la calidad de sitio, se utilizaron las variables siguientes: la especie de interés (*Pinus cooperi* Blanco), la vitalidad (normal o exhuberante), la sanidad, y la forma (rectos, verticales y con un solo fuste), características recomendadas por varios autores (Clutter *et al.*). Posteriormente, las variables: altura total (m) y edad (años a 1.30 m), permitieron realizar una última selección de árboles, ordenando la información ascendentemente de acuerdo con la edad y, dentro de ésta, de acuerdo con la altura total. Así mismo, tomando en consideración cada categoría de edad, se seleccionó el árbol con la mayor altura (árbol dominante). De esta forma se integró la base de datos definitiva para establecer la relación edad/altura. Esta base estuvo conformada por la información de 976 árboles.

Modelos matemáticos para la construcción de las curvas de índice de sitio. Los modelos matemáticos seleccionados para generar las curvas anamórficas de crecimiento en altura para la construcción de las curvas de índice de sitio y la calificación de los sitios por su calidad, fueron el de Schumacher, el de Chapman-Richards y el modificado de Weibull. Estos fueron ajustados mediante el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS, con el método DUD. En el Cuadro 1 se indican esos tres modelos expresados en diferentes formas.

CUADRO 1. Modelos utilizados para la construcción de curvas de índice de sitio y para la calificación de los sitios por su calidad.

Modelo	Modelo Original	Si A=A ₀	H=f(S, A ₀ ,A)	S=f(H, A ₀ ,A)
Schumacher	$H = \beta_0 e^{\left[-\beta_1 \left(\frac{1}{A}\right)\right]}$	$S = \beta_0 e^{\left[-\beta_1 \left(\frac{1}{A_0}\right)\right]}$	$H = S e^{\left\{\beta_1 \left(\frac{1}{A_0} - \frac{1}{A}\right)\right\}}$	$S = H e^{-\left\{\beta_1 \left(\frac{1}{A_0} - \frac{1}{A}\right)\right\}}$
Chapman-Richards	$H = \beta_0 \left[1 - e^{(-\beta_1 A)}\right]^{\beta_2}$	$S = \beta_0 \left[1 - e^{(-\beta_1 A_0)}\right]^{\beta_1}$	$H = S \left[\frac{1 - e^{(-\beta_1 A)}}{1 - e^{(-\beta_1 A_0)}}\right]^{\beta_2}$	$S = H \left[\frac{1 - e^{(-\beta_1 A_0)}}{1 - e^{(-\beta_1 A)}}\right]^{\beta_2}$
Weibull	$H = \beta_0 \left[1 - e^{(-\beta_1 A^{\beta_2})}\right]$	$S = \beta_0 \left[1 - e^{(-\beta_1 A_0^{\beta_2})}\right]$	$H = S \left[\frac{1 - e^{(-\beta_1 A^{\beta_2})}}{1 - e^{(-\beta_1 A_0^{\beta_2})}}\right]$	$S = H \left[\frac{1 - e^{(-\beta_1 A_0^{\beta_2})}}{1 - e^{(-\beta_1 A^{\beta_2})}}\right]$

A = edad; A₀ = edad base. H = altura. S = índice de sitio. e = base de los logaritmos naturales. β_i= parámetros.

Construcción de las curvas de índice de sitio. Para la construcción de las curvas de índice de sitio, se utilizó la metodología propuesta por Curtis en 1964, ajustando los modelos indicados.

Densidad

Modelos matemáticos para la calificación de la densidad. Los modelos matemáticos seleccionados para caracterizar los rodales o sitios permanentes de investigación silvícola (SPIS) dentro del SPEF Cielito Azul por su densidad, fueron el Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR) y el Factor de Competencia de Copas (FCC).

Los datos del IDRR fueron ajustados por el procedimiento NLIN, y los del FCC, por el GLM, del paquete estadístico SAS.

Base de datos. Para el IDRR se seleccionaron 17 sitios de muestreo, distribuidos dentro del SPEF, que representaban la densidad máxima y, de éstos, se seleccionaron cuatro que representaban la densidad máxima extrema (considerada como la norma de densidad). Las variables medidas en los árboles de cada Sitio fueron: el diámetro normal (cm) y la altura total (m); se determinó el diámetro cuadrático promedio (cm) y se estimó el número de árboles por hectáreas; además, se midió la superficie (m²).

Para el FCC, se seleccionaron 47 árboles que se encuentran creciendo libres de competencia, midiéndoles la altura total (m), el diámetro normal (cm), la amplitud de copa (dm), y la edad (años) a 1.30 m.

Construcción de curvas de índices de densidad. Para la construcción del sistema de curvas de IDRR se usó el método de la curva guía, definiendo nueve curvas con una diferencia de 300 árboles entre ellas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad de sitio

Selección del modelo y curvas de índice de sitio (IS). Con la finalidad de establecer cual de los tres modelos probados tiene el mejor ajuste a los datos, en el Cuadro 2 se presentan los estadísticos más relevantes obtenidos del correspondiente análisis de varianza.

El modelo de Chapman-Richards y de Weibull tienen sensiblemente los mismos valores de los estadísticos (Cuadro 2) y son mayores a los obtenidos por el de Schumacher, a excepción del valor de F. La suma de cuadrados del error es menor en los dos primeros modelos, lo que indica que se tiene un mejor ajuste y se refleja en el valor de la pseudo-R²; esto se debe a que esos modelos tienen un parámetro más. Sin embargo, el valor de F, que indica la trascendencia o significancia, es mayor en el modelo de Schumacher. Así, considerando el valor de F y la ventaja de tener menor número de parámetros, se concluye que el de Schumacher es el modelo aceptable. Esto se corroboró con un análisis gráfico del ajuste de los modelos, que no se

muestra en este artículo, en donde se apreció que el modelo de Schumacher presenta una tendencia adecuada la dispersión de los datos.

CUADRO 2. Estadísticos considerados para comparar el nivel de ajuste de los modelos de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull para *P. cooperi* en el SPEF "Cielito Azul".

Modelo	Regresión	Sumas de cuadrados Error	Total	CME	Ps.R 2	F
Schuma	236923.3 5	15006.92	251930.27	15.40	94	7689
Chap.Ri	239903.2 3	12027.04	251930.27	12.36	95	6469
Weibull	239885.1 1	12045.15	251930.27	12.38	95	6459

CME = Cuadrado Medio del Error.

Ps.R2 = Pseudo R Cuadrada.

F = Valores del distribución de F.

En virtud de lo anterior, se utilizó el modelo de Schumacher para construir el sistema de curvas anamórficas de índice de sitio (IS); éstas se construyeron estableciendo un rango de 3 m entre ellas, iniciando con un IS de 11 hasta un IS de 35 m, y considerando 60 años como la edad base. Este resultado se muestra en la Figura 1. La ecuación usada es: $altura = IS e^{23.7635(1/60-1/edad)}$.

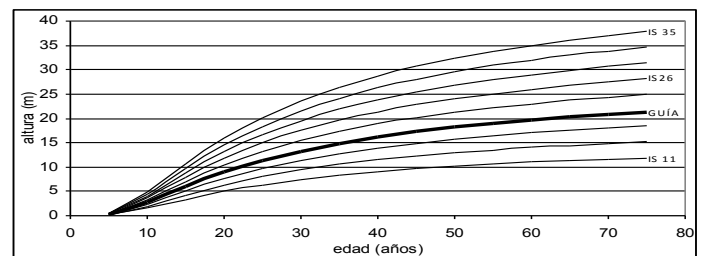


Figura 1. Familia de curvas de índice de sitio para *Pinus cooperi* Blanco en San Miguel de Cruces, estado de Durango.

Calificación del SPEF por calidad de sitio. Los sitios de mayor calidad de sitio (29 m), tienen crecimientos máximos en altura que superan en 18 m a los alcanzados por los de menor calidad (11 m) a la edad base.

A la edad de 12 años es cuando se alcanza el máximo crecimiento en altura en todos los sitios (característica fundamental de las curvas anamórficas). El incremento corriente en los sitios de mayor calidad (29 m) es de 0.98 m/año y en los más pobres (11m) de sólo 0.37 m/año.

En el SPEF "Cielito Azul, el 61.12% de la superficie total está representada, en porcentajes iguales, por las calidades de sitio de 23 y 26 m; le siguen la calidad de sitio de 29 m con 16.67% y, la calidad de 19.68 m. Las calidades de sitio mayores (32,35 y 41 m) están representadas en sólo el 8.34% del área, distribuidas en igual proporción. La superficie del SPEF es de 53 ha.

Densidad.**Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR) y construcción del sistema de curvas de densidad.**

En el Cuadro 3 se presentan los valores obtenidos del análisis de varianza para el ajuste del modelo del IDRR. Se aprecia que el valor de la Pseudo R² es bastante alto con un 99%. Las pruebas de hipótesis sobre los parámetros resultaron altamente significativas y los coeficientes de variación bastante bajos.

Cuadro 3. Estadísticos obtenidos del análisis de varianza para la relación Dq – número de árboles con el IDRR para *P. cooperi* en el SPEF “Cielito Azul”, San Miguel de Cruces, estado de Durango.

Estimador	Estimada	Intervalo de confianza (95 %)		Sumas de cuadrados =		
		Inferior	Superior	Regresión	Error	Total
β_0	875235.360	-258252.693	2008723.412	337938857	342280	338281137
β_1	-1.789	-2.314	-1.264	Cuadrado medio del error= 171140		

Pseudo R²=0.99 F=987

La norma de densidad considerada correspondió a un IDRR de 2685 árboles a un diámetro cuadrático de referencia de 25.4 cm. El IDRR más bajo (300 árboles) considerado, representa tan sólo el 11.17% en relación a la norma de densidad. Este porcentaje relativo es igual para todas las demás curvas de IDRR.

Factor de Competencia de Copas (FCC). Los resultados del análisis de varianza al ajustar la ecuación que define el FCC se presenta en el Cuadro 4. A pesar de que el modelo es altamente significativo, el Coeficiente de Determinación (R²) sólo explicó el 84% de la variación del diámetro de copa atribuible al diámetro normal.

Cuadro 4. Principales estadísticos del ajuste del modelo para la generación del FCC para *P. cooperi* en el SPEF “Cielito Azul”.

Estimador	Estimada	Error estándar	Sumas de cuadrados		Cuadrado medio del error= 0.684
β_0	0.9196	0.3527	Modelo	Error	R ² =0.82
β_1	0.1794	0.0124	141.915	30.763	F= 207.59

En conclusión, el número mínimo de árboles que son necesarios para cubrir completamente una hectárea, ocupando el espacio de crecimiento máximo, varía desde 6 916 (con un diámetro normal de 10 cm) hasta 1 282 árboles (con diámetro normal de 30 cm).

El número estimado de árboles mediante esta ecuación, se considera que crecerían libremente (sin competencia) en la superficie considerada, en este caso una hectárea, y teóricamente, producirían una cobertura de copas completa (Krajicek *et al.*, 1961).

Finalmente, la ecuación que permite estimar el FCC es la siguiente:

$$FCC = 0.00722(N) + 0.00259 \sum D_i N_i + 0.000253 \sum D_i^2 N_i$$

En la que N es el número total de árboles, y N_i es el número de árboles del diámetro D_i.

CONCLUSIONES.

1. El modelo de Schumacher es el más adecuado para construir curvas anamórficas de índice de sitio en *P. cooperi* en la región de estudio.

2. El 61.12% de la superficie total del SPEF está representada, en porcentajes iguales, por las calidades de sitio de 23 y 26 m a una edad base de 60 años. Le sigue la calidad de sitio de 29 m, con 16.67%.
3. El IDRR de la densidad máxima extrema se ubicó en 2685 árboles. Para el FCC el número de árboles necesario para cubrir completamente una hectárea varía de 6916 árboles (a un diámetro normal de 10 cm) hasta 1282 (a un diámetro normal de 30 cm).

LITERATURA CITADA

- ACOSTA, M.M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en el Centro Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, México. 71 p.
- BECERRA, L. F. 1986. Determinación de una guía de densidad para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la Región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Post-graduados, Chapingo, México. 82 p.
- BOJORGES, S. J.A. 1990. Índice de sitio para Oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.) en Zoquiapan, México. Tesis Ing. Agron. Esp. Bosques. Universidad Autónoma Chapingo, México. 57 p.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, H.G.; BAILEY, R.L. 1983. Timber management: a Quantitative approach. John Wiley and Sons, New York. 333 p.
- DANIEL, T. W; HELMS, J.A.; BAKER, F.S. 1982. Principios de silvicultura. Trad. por Ramón Elizondo Mata. McGrawhill, México. 191 p.
- KRAJICEK, J.E; BRINKMAN, K.A.; GINGRICH, S.F. 1961. Crown competition a measure of density. For. Sci. 7(1):35-42.
- OLIVER, C.D.; LARSON, B.C.. 1990. Forest stand dynamics. McGrawhill, New York. 467 p.
- PRITCHETT, W. L. 1986. Suelos forestales; propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa, México. pp. 307-334.
- WALTERS, D. K.; BURKHART, H.E. 1987. A method for localizing site index equations. IN IUFRO Forest Growth Modeling and Prediction Conference. Minneapolis. pp. 435-442.