



Este folleto es un producto del proyecto;
Generación de la Guía de Densidad para *Pinus montezumae* en su
Área de Distribución Natural en el Estado de Hidalgo.

Se agradece a la Fundación Hidalgo Produce, A. C. el
financiamiento de esta publicación

PARA MAYOR INFORMACIÓN
COMUNÍQUESE A:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL

Dom. Conocido Rancho Universitario Exhacienda de Aquetzlpa.
Tulancingo, Hgo. C.P. 43600
Tel. 771 71 72 000 ext. 4640 directo 775 75 3 34 95
email: rlaguna@uaeh. edu.mx

FUNDACIÓN HIDALGO PRODUCE A.C.
Carretera Pachuca - Ciudad. Sahugun, km. 3.6 No. 200
Centro Comercial El Saucillo. Torre Sur
Segundo Piso, Despacho 207 y 208
Mineral de la Reforma, Hidalgo
C.P. 42180, Tel. 01 (771) 718-*6960
email: fundación_hidalgo@yahoo.com.mx



ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL

GUÍA DE DENSIDAD PARA *Pinus montezumae* EN SU ÁREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL EN EL ESTADO DE HIDALGO



Rodrigo Rodríguez Laguna

Ramón Razo Zárate

David Díaz Hernández

Joel Meza Rangel

Marzo 2009

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Lic. Alberto Cárdenas Jiménez
Secretario de Agricultura, Ganadería,
Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Ing. Francisco López Tostado
Subsecretario de Agricultura

Ing. Antonio Ruiz Gracia
Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Jeffrey Max Jones
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

Ing. José Luís Díaz Barriga
Encargado de la Oficialía Mayor

Lic. Wolfgang Rodolfo González Muños
Coordinador General Jurídico

Lic. David Cuevas García
Coordinador General de Delegaciones

Ing. Fernando Garza Martínez
Coordinador General de Enlace y Operación

Dr. Everardo González Padilla
Coordinador General de Ganadería

C. Edgar Esteban Richaud Lara
Delegado Estatal de la SAGARPA en HIDALGO

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO
RURAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE HIDALGO**

Lic. Miguel Ángel Osorio Chong
Gobernador Constitucional del Estado de Hidalgo

Lic. Manuel Sánchez Olvera
Secretario de Agricultura

Ing. Jorge Fernando Islas Sánchez
Subsecretario de Desarrollo Agropecuario

Ing. Ángel Cruz García
Subsecretario de Comercialización e Información

Lic. Erick Alonso Cruz Becerra
Subsecretario de Desarrollo Rural, Forestal y Pesca

Lic. Maribel Zaragoza Tenorio
Director General de Administración y Finanzas

Mvz. Manuel Guadalupe Camarillo Castillo
Director General de Ganadería

Biol. Hugo Herminio Ramírez Rivera
Director General de Desarrollo Forestal y Pesca

Lic. Sabás Arturo Salinas González
Director General de Seguimiento y Enlace Institucional

**FUNDACIÓN HIDALGO PRODUCE CONSEJO DIRECTIVO
DE LA FUNDACIÓN HIDALGO PRODUCE A.C.**

Lic. Miguel Ángel Osorio Chong
Presidente Honorario
Mvz. Víctor Manuel Rubén López Reyes
Presidente Ejecutivo
Mvz. José Luís Osorio Piña
Secretario
C. Rogelio Ramírez Contla
Tesorero
Dr. Cruz Alfredo Tapia Naranjo
Secretario Técnico

Ing. Jesús Manuel Soto Villa
Vocal SAGARPA
C. Miguel Ángel López Alonso
Vocal Pecuario
Ing. Ángel Cruz García
Vocal Social
Ing. Eduardo del Villar Kretchmar
Vocal Empresarial
Dr. Arturo Gómez Canales
Vocal Forestal
C. Agustín Simón García
Vocal Apícola
C. Pedro Rodríguez Jiménez
Vocal Agrícola

Lic. Manuel Sánchez Olvera
Vocal SAyDER
Dr. Leonel Lozano Domínguez
Vocal SEMARNAT
Dra. Rocío Ruiz de la Barrera
Vocal de Educación IHEMSYS
Dr. José Roberto Villagómez Ibarra
Vocal de Educación UAEH
Lic. Roberto Reyes Monzalvo
Vocal COEDE
Ing. José Calderón Hernández
Vocal COCYTEH
Ing. Enrique de la Torre Alvarado
Vocal FIRCO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

C. D. Luís Gil Borja
Rector

M. en A. H. Humberto Augusto Veras Godoy
Secretario General

Dr. Carlos Cesar Maycotte Morales
Director

Quím. Isaías López Reyes
Secretario

Dr. Rodolfo Goche Télles
Jefe del Área Académica de Ingeniería Forestal

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna
Coordinador del Programa Educativo de IMRF



CONTENIDO

Introducción

Conceptos básicos

Marco de referencia

Materiales y métodos

Metodología de investigación

Construcción de la guía de densidad

Resultados y discusión

Índice de la densidad del rodal de Reineke

Factor de competencia de copas

Elaboración de la guía de densidad

Ejemplo práctico para utilizar la guía de densidad en *P. montezumae*

Conclusiones

Literatura citada

GUÍA DE DENSIDAD PARA *Pinus montezumae* EN SU ÁREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL EN EL ESTADO DE HIDALGO

RODRIGO RODRIGUEZ LAGUNA
RAMÓN RAZO ZÁRATE
DAVID DÍAZ HERNÁNDEZ
JOEL MEZA RANGEL

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL
RANCHO UNIVERSITARIO, EXHACIENDA DE
AQUETZALPA. 43600.
TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO

TEL. 01 771 71 72000. EXT. 4640

MARZO DE 2009

GUÍA DE DENSIDAD PARA *Pinus montezumae* EN SU ÁREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL EN EL ESTADO DE HIDALGO

Rodrigo Rodríguez Laguna*
Ramón Razo Zárate*
David Díaz Hernández**
Joel Meza Rangel*

INTRODUCCIÓN

En México como en el mundo entero, la sociedad demanda de los bosques la producción de diversos bienes como madera, leña, carbón, trementina, entre otros, así como servicios de recreación, protección a la fauna silvestre y al suelo, captación de agua de lluvia, secuestro de carbono, entre otros. El Ingeniero responsable del manejo del bosque debe considerar los múltiples bienes y servicios que este produce, para implementar los programas de manejo forestal de acuerdo a los objetivos propuestos de mejorar la calidad de los productos sin afectar las demandas de los poseedores. Todo esto se puede lograr al adoptarse métodos de manejo que consideren todos los factores que se interrelacionan dentro del sitio, dentro del rodal y dentro del bosque para obtener alternativas viables y mejorar la administración forestal (Vega, 1995).

En el aprovechamiento de los recursos forestales, generalmente la producción maderable es la de mayor importancia y depende de la calidad del sitio, es decir, la productividad de un área dada; pero la calidad de los productos y la utilización plena del potencial del sitio dependen del manejo adecuado de la densidad del rodal a través del turno; donde el manejo oportuno de la nuevas masas es de vital importancia para lograr los objetivos fijados. Desafortunadamente en México no se cuenta para la mayoría de las especies, con herramientas que nos ayuden a determinar las intensidades de corta adecuadas a aplicar en las cortas de aclareo, por lo que cada técnico forestal aplica sus propios criterios, los que no siempre son correctos.

Por esta razón se tiene la necesidad de contar con instrumentos que permitan calificar la densidad y posibiliten el modelaje de su manejo a través del tiempo. Los diagramas y guías de densidad son una herramienta importante para aprovechar plenamente la capacidad productiva del sitio y mejorar la calidad de los productos. Entre las especies del género *Pinus* de mayor valor económico por su aprovechamiento con fines maderables en estado de Hidalgo se encuentran el *Pinus montezumae* Lamb.

*Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, AAF
**Prestador de Servicios Técnicos Forestales de la Corporación Agroforestal y Ambiental S.P.R. de R.I.

(SARH, 1994); que se distribuye en los municipios de Acatlán, Jacala de Ledezma, Pacula, Santiago Tulantepec, Singuilucan, Tulancingo y Zempoala (Perry, 1991; Martínez, 1992), por lo que constituye una fuente importante de ingreso económico para los habitantes de las comunidades forestales de estos municipios, además de que con el manejo sustentable de los recursos, se garantiza su permanencia a través del tiempo; situación que justifica y se plantea como objetivo para el presente estudio el elaborar una guía de densidad para *Pinus montezumae* en el estado de Hidalgo que contribuya al manejo adecuado de esta especie con el propósito de mejorar las masas arboladas bajo manejo y los productos a obtener en cada intervención y en la cosecha final del bosque.

CONCEPTOS BÁSICOS

Densidad: Se define como el grado de ocupación de un sitio o también por la intensidad de competencia entre los árboles (Davis y Johnson, 1987). Becerra (1986), menciona que el concepto de densidad no es más que una medición que se refiere a la presencia de árboles sobre un área determinada por ejemplo número de árboles, área basal o volumen de los árboles por unidad de superficie.

Guía de densidad: Es un diagrama en el que se representa la densidad y el grado de densidad, de rodales de determinado diámetro cuadrático, para un rango amplio de densidades de población.

Todo ello en términos de la relación existente entre dichas variables dasométricas (Zepeda y Villareal, 1987). Entonces, la guía para el manejo de la densidad de los rodales forestales, constituyen una herramienta valiosa para la planeación de tratamientos silvícolas, que garantizan una óptima ocupación del sitio de acuerdo con los objetivos de producción propuestos en los planes de manejo.

Densidad comparativa o relativa, grado de la densidad o población: Estos términos describen la elección de una densidad promedio que se define como la densidad estándar, en base a ésta se compara la densidad real de un rodal, para determinar un porcentaje o grado de densidad (Avery y Burkhart, 1983).

Diámetro cuadrático de referencia: Diámetro cuadrático de referencia es utilizado para definir valores de índice de densidad del rodal de Reineke (IDRR). Permite realizar comparaciones entre diferentes rodales.

Espacio de crecimiento: Superficie ocupada por cada árbol dentro de un rodal determinado que puede ser expresada en función de la distancia entre los individuos (Daniel et al., 1982), del área horizontal de la copa o de la extensión de raíces (Spurr, 1952).

Población normal: En teoría, es donde se desarrolla el máximo incremento en volumen que se puede obtener en un sitio. La copa de los árboles cubre todo, no deja pasar la luz y cada copa se complementa con un sistema radicular que utiliza completamente el suelo (Bickford et al., 1957).

Índice de densidad: Es una medida de la densidad generalmente basada en los componentes: número de árboles por unidad de área y diámetro medio (Avery y Burkhart, 1983).

Métodos utilizados para determinar la densidad Autores como Husch et al., 1972; Daniel et al., 1982; Clutter et al., 1983; Becerra, 1986; Aguirre, 1991, entre otros, están de acuerdo en que los métodos más comunes para determinar la densidad son:

Número de árboles por unidad de superficie: Esta medida de densidad se utiliza normalmente para rodales coetáneos sin intervención e incoetáneos y se expresa a través del número de árboles por hectárea, generalmente resulta ser una estimación práctica de la densidad.

Área basal por unidad de superficie: Este método se expresa por la acumulación de la sección transversal del tallo por hectárea de los árboles normalmente a la altura de 1.3 m. Es una medida ampliamente empleada para estimar la densidad del rodal y es considerada como un indicador de la competencia cuando se desconoce la historia del rodal.

Índice de densidad del rodal: Existen varios procedimientos basados en la relación número de árboles por hectárea y el diámetro del árbol medio. El más común de estos índices es el desarrollado por Reineke (1933). Esta medida de densidad se puede utilizar para bosques puros, coetáneos y regulares tanto para coníferas como latifoliadas.

Índice de densidad del rodal de Reineke (IDRR). Tiene como supuesto: Para una especie dada, el número máximo de árboles que puede sostener un rodal coetáneo, plenamente poblado, está correlacionado negativamente con su diámetro cuadrático medio y la curva que representa esta relación asume la forma de línea recta cuando se traza sobre papel logarítmico (Reineke, 1933; Spurr, 1952; Husch et al., 1972; Daniel et al., 1982; Clutter et al., 1983; Aguirre, 1991).

Relación árbol/área (RAA): Para determinar esta relación se requiere hacer un censo detallado para los rodales densos y es necesario conocer las dimensiones de cada árbol en cada parcela muestreada. Por esta razón ha sido poco utilizada dado que no representa ventaja alguna sobre las medidas simples de densidad del rodal. Fue desarrollado por Chisman y Schumacher (1940).

Factor de competencia de copas (FCC): Esta medida de la densidad fue desarrollada por Krajicek y colaboradores (1961) y puede ser utilizada para rodales coetáneos e incoetáneos. El principio se basa en la proyección horizontal del área de copa de los árboles individuales para un diámetro determinado. Este método es sencillo y práctico, se emplea para determinar el espacio máximo posible de crecimiento que el árbol puede utilizar y el número mínimo de árboles individuales creciendo en un área determinada sin competencia.

Índice de espaciamiento o espaciamiento relativo: Esta medida fue propuesta por Hart (1928) y se basa en la distancia media entre los árboles y la altura media del dosel dominante. Este procedimiento se ha utilizado para el control intensivo de la densidad en el manejo de las plantaciones.

Densidad puntual: Esta metodología fue sugerida por Spurr (1952) y es una de las medidas específicas para describir el grado de competición en un árbol dado dentro del rodal. Los métodos para medir la densidad se basan en las dimensiones del árbol objeto de interés y el tamaño y distancia a sus competidores. Se sugiere que los métodos para evaluar la densidad de los rodales deben ser sencillos en su aplicación en el campo y determinar resultados coherentes y precisos en una amplia variedad de situaciones. Además, tales métodos deberán ser comprensibles, visualizados y servir como auxiliares en las interpretaciones de la densidad de los rodales (Daniel et al., 1982).

MARCO DE REFERENCIA

Regeneración natural de los bosques

En el momento del establecimiento de la regeneración natural de los bosques de coníferas de clima templado, las nuevas masas tienen una densidad que puede variar entre 1000 y 10000 árboles/ha. Mediante los aclareos se disminuye gradualmente esta densidad. Por consiguiente, en el momento de la corta final la densidad podría ser disminuida hasta 150 ó 350 árboles/ha, lo cual constituye un verdadero reto para los responsables técnicos de los aprovechamientos para decidir el número adecuado de

árboles a extraer en cada intervención, de tal manera que se aproveche el potencial del sitio en el desarrollo de árboles vigorosos y de calidad que llegarán al final del turno (Fotografía 1).

Durante las etapas de desarrollo de las nuevas masas forestales, resulta de vital importancia la aplicación oportuna y correcta de los preaclareos y aclareos, ya que de éstos dependerá el que la producción volumétrica máxima se alcance en el menor tiempo posible (Producción forestal, 1990).



Fotografía 1. Densidad de *P. montezumae* en sitios del ejido Santo Tomas

Aclareos

El reducido espaciamiento durante la fase juvenil del bosque, tiene como fin el promover la formación de árboles rectos y cilíndricos, de facilitar la selección de los mejores fustes y de suprimir la vegetación competitiva. El método más utilizado en las cortas intermedias de la región central del país es el de aclareo ascendente, en el que se cortan los árboles suprimidos y los dominados, dejando los árboles codominantes y dominantes. En aclareos intensivos se puede cortar también parte o la totalidad de los árboles codominantes. Durante la operación se eliminan primeramente todos los árboles de una clase, por ejemplo los suprimidos, antes de iniciar la corta de la siguiente clase. En algunos rodales ocupados por fustales jóvenes que cuentan con renuevo natural establecido con la ayuda de los incendios forestales, es común diferenciar tres o más estratos, el superior ocupado por los árboles jóvenes productores de semilla, los brinzales que muestran mejor crecimiento en diámetro y altura y los que están creciendo con fuertes competencias debido a las altas densidades; en estos casos

comúnmente se aplica un aclareo selectivo, en el que se cortan los árboles de la clase dominante, para estimular el crecimiento de los árboles codominantes, dominados y suprimidos vigorosos (Producción forestal, 1990)

Los aclareos de bosques coetáneos pueden basarse en varios índices. Uno de estos índices es el área basal del rodal. Para cada etapa del desarrollo del rodal, se establece un área basal mínima que debe ser mantenida en el rodal. Esta área basal mínima se estableció con base en el rendimiento óptimo del rodal. Durante el desarrollo del rodal, esta área basal mínima es sobrepasada, pero cada periodo de aclareo se talan tantos árboles como sea necesario para alcanzar nuevamente el área basal mínima del rodal. El lapso entre los aclareos será menor durante la fase juvenil de los árboles. En esta fase crecen más rápido que cuando están más desarrollados. La continua competencia entre árboles produce un mayor crecimiento en altura, pero no en diámetro, esto da como resultado mayor volumen total, pero de una calidad menor; lo cual es aceptable desde un punto de vista ecológico por que esta condición da lugar a que se manifieste la selección natural donde los individuos más capaces y mejor adaptados tendrán un periodo de vida más largo y a que se reincorpore biomasa al suelo producto de los árboles que vayan muriendo, además de que estos sitios son favorables para el refugio y reproducción de la fauna silvestre.

Técnicas utilizadas para la aplicación práctica de cortas de aclareo
Cuando no se dispone de guías de densidad para el manejo de los bosques, las técnicas que comúnmente utilizan los responsables técnicos para la aplicación de las cortas de aclareo son las siguientes:

A). Se delimita uno o más sitios de forma circular o cuadrada de dimensiones fijas que sea representativo del área y dentro de éste se efectúa una remoción visual señalando con pintura los árboles que a criterio del técnico forestal se deben eliminar del

sitio, de acuerdo con sus características fenotípicas y su posición en la estructura del bosque. De los árboles residuales se selecciona un árbol medio al que se le toman datos de altura y diámetro. También se puede utilizar la fórmula de interés compuesto que contempla el formulario de cálculo del Método de Desarrollo Silvícola (MDS) para determinar la intensidad de corta en aclareos. Para esto se requiere que al árbol medio seleccionado con anterioridad se le determine además la edad y tiempo de paso.

B). Se busca un sitio dentro del rodal donde se aplicarán las cortas de aclareo (que no se haya intervenido con anterioridad), donde se esté manifestando la selección natural y se realizan varias mediciones de la distancia que existe entre los árboles mas vigorosos (los de mayor diámetro) y se obtiene una distancia promedio, la cual servirá de referencia para aplicar el espaciamiento entre los árboles residuales en el resto del rodal.

C). En el área a intervenir con los aclareos se efectúa la remoción directa de árboles, eliminando los individuos con características fenotípicas no deseables y los afectados por plagas enfermedades y fenómenos meteorológicos, procurando que las copas de los árboles residuales no se toquen entre ellas (fotografía 2). Las desventajas más comunes de la aplicación de estas técnicas son que el responsable técnico no siempre cuenta con la experiencia para la selección de los sitios tipo y de los árboles a remover; las intensidades de corta calculada con la fórmula de interés compuesto se aplican de manera indistinta en las áreas sobrepobladas donde la remoción es inferior al 40% por lo que después de aplicado el aclareo, las masas siguen manteniendo una alta densidad.



Fotografía 2. Copas de árboles maduros de *P. montezumae*

Principios de los índices de densidad utilizados en la elaboración de guías de densidad

Las guías de densidad están basadas en el siguiente supuesto: En un sitio dado, el espacio de crecimiento es el factor dominante que controla la productividad de los árboles individuales y la competencia inicia cuando todo el espacio de crecimiento disponible en un rodal es igual al espacio que requieren todos los árboles para crecer adecuadamente, el comparar éste, con aquellos árboles que crecieron aislados toda su vida (Gringrich, 1967; Powell y Barnard, 1979). De esta manera, las guías de densidad están basadas en los requerimientos de espacio de crecimiento (Leak, 1981; Zepeda y Villareal, 1987).

En la construcción de las guías de densidad se puede seleccionar cualquier método descrito con anterioridad para evaluar este parámetro. Esto dependerá de la finalidad de las guías de densidad y el grado de precisión que se pretenda en los resultados.

Una guía de densidad es una herramienta que permite monitorear la evolución de la densidad de los rodales forestales considerando relaciones densidad-tamaño. Estas guías tienen aplicación en el manejo del rodal para tomar decisiones en el corto plazo sobre necesidades de aclareos; en el mediano plazo para mantener los niveles de densidad adecuados que permitan utilizar eficientemente el espacio de crecimiento y en el largo plazo, para obtener los productos finales con las dimensiones programadas de acuerdo con los objetivos y metas originalmente planteados (Acosta et al., 2007).

Cuando la finalidad primaria de un bosque es la producción de madera de alta calidad, la guía de densidad proporciona bases para diagnosticar necesidades de cortas intermedias y de regeneración, establece niveles de densidad residual para decidir en los rodales que tienen material de calidad suficiente para sujetar la masa a manejo intensivo para la estandarización de tratamientos silvícolas y en el desarrollo de modelos de predicción de rendimiento (figura 1) (Leak, 1981).

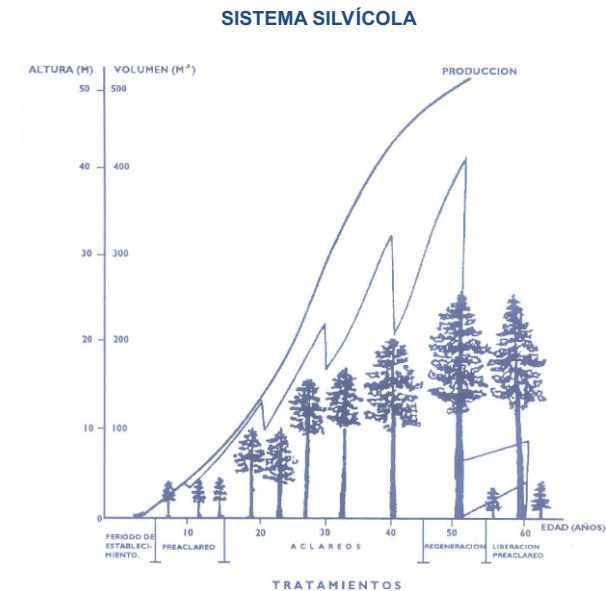


Figura 1. Importancia de la aplicación de cortas intermedias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pinus montezumae se distribuye en el país entre los paralelos 16° 50' a 25° 21' de Latitud Norte, y entre los meridianos 92° 15' a 105° 10' de Longitud Oeste; su rango altitudinal es de 1150 a 3150 msnm, teniendo sus mejores desarrollos alrededor de los 2500 msnm. Se localiza principalmente en las montañas de la Cordillera Neovolcánica, y se extiende hacia el norte a lo largo de la Sierra Madre Occidental hasta el estado de Durango, en la Sierra Madre Oriental se extiende hasta el estado de Coahuila (Perry, 1991). El estudio se realizó en áreas naturales de *P. montezumae* donde crece formando masas puras en el estado de Hidalgo, principalmente se tomaron datos en los bosques de los municipios de Singuilucan, Zempoala, Tepeapulco y Cuauhtepic de Hinojosa (Figura 2).

Ecología

El amplio intervalo latitudinal y altitudinal de *P. montezumae*, le permite habitar en climas templados, fríos y semi-secos (Vázquez, 1962), donde las temperaturas extremas mínimas y máximas son de -4 °C y 40 °C respectivamente. Regularmente la especie habita en suelos profundos de origen volcánico montañoso, con buen drenaje, ricos en nitrógeno, calcio, potasio y materia orgánica, y bajos en fósforo, con pH de 5.4 a 6.9 (Eguiluz, 1978).

Se asocia indiscriminadamente con *Pinus hartwegii* Lindl., *P. rudis* Endl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. leiophylla* Schl. et Cham., *P. lawsonii* Roetzl., *P. michoacana* Mtz., *P. douglasiana* Mtz., *P. ayacahuite* Ehrenb. y *P. teocote* Schl. et Cham.; además, con *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham., *Cupressus lindleyi* Klotzch., *Alnus firmifolia* Fern. y *Quercus* sp. (Santillán, 1991).



Figura 2. Distribución natural de *Pinus montezumae* Lamb. en México (Perry, 1991).

Metodología de investigación

En el presente trabajo se midieron 119 sitios de muestreo a fin de determinar el índice de densidad del rodal de Reineke. Para tal efecto se seleccionaron aquellas áreas donde el *P. montezumae* se presenta conformando manchones puros, homogéneos y en alta densidad. Para determinar el factor de competencia de copas se midieron 122 árboles aislados de todas las categorías diamétricas y libres de competencia.

Sitios de muestreo

Con la finalidad de evaluar las condiciones de alta densidad que presenta la especie en estudio, se determinaron dos tamaños de sitios circulares de muestreo en función del diámetro normal medio del arbolado a evaluar. El tamaño del sitio fue de 25 m² para rodales con diámetro normal

medio entre 10 a 25 cm y de 100 m² para rodales con un diámetro normal medio mayor de 25 cm (Vega, 1995). En cada sitio se midió el diámetro normal de la totalidad de los árboles. En base al área del sitio se derivó el número de árboles por hectárea, lo que corresponde al concepto básico de densidad (Becerra, 1986).

Árboles aislados

En los árboles individuales se midió la proyección de la copa al suelo en dos direcciones: Norte a Sur y Este a Oeste (fotografía 3), de estas mediciones se derivó el diámetro de copa promedio por individuo; también se midió el diámetro normal de cada individuo aislado.



Fotografía 3. Conformación de copa de un árbol aislado de *P. montezumae*

Construcción del diagrama de densidad de Reineke
Se determinó el diámetro cuadrático medio para cada sitio de muestreo.

Este parámetro esta dado por:

$$D_{qm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n D_n^2}$$

Donde:

D_{qm}= Diámetro cuadrático medio

D_{ni}= Diámetro normal i-ésimo

N= Número de árboles

Una vez determinado el diámetro cuadrático medio, se eligió uno que es tomado como diámetro cuadrático de referencia (D_{qr}). Reineke (1933) en su trabajo define el D_{qr} en 10 pulgadas; Vega (1995) eligió el D_{qr} de 25 cm, para el presente trabajo también se tomó el valor de 25 cm como D_{qr}. La relación funcional que expresa el número de árboles por unidad de área y el diámetro cuadrático medio de cada rodal está dada por:

$$N = \frac{1}{D_{qm}^2}$$

Esta función se determina mediante la transformación logarítmica:

$$\ln(N) = \ln \left(\frac{1}{D_{qm}^2} \right)$$

Donde:

N = número de árboles por unidad de área

= intercepto al origen

= pendiente de la línea

ln = logaritmo natural

D_{qm}= Diámetro cuadrático medio

A partir de la ecuación anterior se obtuvo la línea base o referencia que determina el grado de 100% en el diagrama o en las guías. Por lo tanto, el número de árboles para un diámetro cuadrático medio es considerado como el IDRR y está definido por:

$$IDRR = \frac{1}{D_q^2}$$

De esta forma, con los valores de la densidad máxima promedio del índice de densidad del rodal de Reineke, se determinaron proporcionalmente los valores de las líneas para los diversos grados de densidad considerados en la guía de densidad de Reineke.

Construcción de la guía de densidad

En el presente estudio se utilizaron dos medidas de densidad para la elaboración de la guía: el índice de la densidad del rodal Reineke (IDRR), para definir el número máximo promedio de árboles que puede soportar un rodal y el factor de competencia de copas (FCC), que determina la cantidad mínima de árboles con un cierto diámetro que pueden cubrir totalmente el rodal.

Estimación de la línea A que corresponde al número máximo promedio de árboles que puede soportar un rodal, este límite es determinado por el IDRR a un nivel de 100 %, de acuerdo a como se describió en el párrafo anterior. Los datos obtenidos con este procedimiento se utilizaron en la elaboración de la guía de densidad principalmente en los parámetros número de árboles y diámetro cuadrático. Para la obtención del área basal por hectárea (G/ha), a partir del IDRR, se empleó la ecuación:

$$G/ha = (Dq) \frac{(\frac{1}{4} * Dq^2)}{10000}$$

El área basal promedio por hectárea que se obtuvo a partir de la línea de referencia, define el grado de densidad de 100 %, correspondiente a la línea A de la guía. A partir de ésta se determinaron intervalos de 10 % para los grados de densidad hasta el nivel del factor de competencias de copas.

Estimación de la línea B fue determinada a partir de los valores promedio del Factor de Competencia de Copas.

La relación funcional entre el diámetro de copa (Dc) y el diámetro normal (Dn) de los árboles que han crecido sin interferencia se definió en base a la siguiente ecuación lineal:

$$Dc = Dn$$

Si el diámetro de copa se expresa en metros, por consecuencia el área de copa (Ac) esta dada en m2 por:

$$Ac = \frac{1}{4} (Dc)^2$$

$$Ac = \frac{1}{4} (Dn)^2$$

Por lo tanto el área máxima de la copa (AMc) de los árboles de un diámetro Dn, expresado como porcentaje de la unidad de superficie se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Amc = \frac{(Dc)^2}{4} \frac{100}{10000}$$

$$Amc = (\frac{1}{4})(Dc)^2 \frac{1}{100}$$

$$Amc = \frac{1}{4} \left(\frac{Dn}{100} \right)^2$$

Una vez determinados los valores de AMc se estimó el número de árboles que crecerán libremente en una hectárea y que teóricamente, producirán una cobertura completa de copas. El FCC se obtuvo sumando todas las AMc de los árboles que se encuentran en la hectárea promedio tal como lo proponen Krajicek et al., 1961 y Husch et al., 1972. Obteniendo el FCC se procedió a determinar el número de árboles mínimo que podrán ocupar plenamente una hectárea, los valores definen la tendencia de la línea B en la guía.

Elaboración de la guía de densidad

Con los valores obtenidos del IDRR y el FCC respectivamente en un sistema de coordenadas se colocó sobre el eje de las abscisas el número de árboles por hectárea y en el eje de las ordenadas el área basal por hectárea. Las líneas que representan el diámetro cuadrático se trazan dirigidas hacia el origen. En sentido transversal a éstas se trazaron las correspondientes al grado de densidad (IDRR%). Para mejor visualización y comprensión de la guía, ésta se preparó en dos gráficas, la primera para los diámetros cuadráticos de 10 a 40 cm. y la segunda de 40 a 80 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de la densidad del rodal de Reineke

Los análisis de los datos de los sitios de muestreo emitieron resultados para conocer el número máximo de árboles que puede sostener un rodal coetáneo en condiciones específicas del presente estudio para representar la línea de referencia de máximos obteniendo la ecuación siguiente:

$$N=43645.9 * Dn^{-1.0151}$$
$$R^2 = 0.967$$

De esta manera se estimó el número de árboles por hectárea para diversas categorías diamétricas considerados como la densidad máxima promedio para *Pinus montezumae* en las áreas naturales del estado de Hidalgo (Cuadro 1). Los valores se muestran a partir de la categoría de 10 cm, ya que los aclareos después de esta categoría diamétrica los productos pueden ser aprovechados para el autoconsumo o venta. El coeficiente de determinación (R^2) obtenido es aceptable (0.967), Vega (1995) obtuvo un $R^2=0.97$ al elaborar una guía de densidad para *Pinus pseudostrobus* en el estado de Nuevo León; éste valor significa la confiabilidad con la que un modelo de regresión puede generar resultados adecuados.

El área basal (G) es considerada como un indicador de la competencia entre árboles cuando no se lleva un historial del rodal, sin embargo, el área basal por hectárea de un diámetro cuadrático cualquiera se puede determinar, para este estudio con la ecuación siguiente:

$$G/ha= 43645.9 * Dn^{-1.0151} ((0.7854*Dn^2)/10000)$$

$$G/ha=(43645.9 * Dn^{-1.0151})(0.00007854*Dn^2)$$

De esta manera se obtuvo el área basal por hectárea para diversos diámetros cuadráticos que se utilizan para la construcción de la guía de densidad del *P. montezumae* en las áreas naturales del estado de Hidalgo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de árboles máximo y área basal por hectárea por categoría diamétrica obtenidos de la función del IDRR para *P. montezumae* en Hidalgo.

Categoría diamétrica	Árboles/ha	Área basal /ha	Categoría diamétrica	Árboles/ha	Área basal /ha
10.0	4215.4	33.11	45.0	915.7	145.64
15.0	2793.1	49.36	50.0	822.8	161.57
20.0	2085.8	65.53	55.0	747.0	177.47
25.0	1663.0	81.63	60.0	683.8	193.35
30.0	1382.0	97.69	65.0	630.5	209.21
35.0	1181.8	113.71	70.0	584.8	225.05
40.0	1032.0	129.69	75.0	545.2	240.87
			80.0	510.6	256.68

Factor de competencia de copas (FCC)

Esta medida de densidad se basa en el supuesto de que existe una gran correlación entre el diámetro normal con la dimensión de la copa del árbol que creció libremente sin interferencias. La relación funcional entre el diámetro de copa (D_c) y el diámetro normal (D_n) se muestra en la ecuación siguiente:

$$D_c=0.872825 + 0.195428 (D_n)$$
$$R^2 = 0.984$$

Para calcular el área de copa (Ac) expresada en metros cuadrados se expresa de la manera siguiente:

$$Ac = (0.7854) * (Dc)^2$$

$$Ac = (0.7854) * (0.872825 + 0.195428 (Dn))^2$$

Por lo tanto, para determinar el área máxima de copa (AMc) en el terreno que puede ser ocupada por un árbol aislado de diámetro Dn, expresada como porcentaje de una hectárea (%/100) la ecuación queda de la manera siguiente:

$$AMc = (0.007854) * (Dc)^2$$

$$AMc = (0.007854) * (0.872825 + 0.195428 (Dn))^2$$

$$AMc = (0.007854) * (0.761824 + (0.341149 * Dn) + (0.038192 * Dn^2))$$

$$AMc = (0.0059834) + (0.0026794 * Dn) + (0.0002999 * Dn^2)$$

Para determinar el número de árboles mínimo promedio por hectárea (NFCC) para diferentes diámetros cuadráticos (Cuadro 2), que pueden crecer en una hectárea, ocupando cada uno de ellos el espacio de crecimiento máximo promedio que biológicamente es posible, la expresión quedo de la manera siguiente:

$$NFCC = 100/AMc$$

El área basal del número de árboles (ABFCC) para diferentes diámetros cuadráticos (Cuadro 2) fue estimada ocupando el resultado de la ecuación anterior, quedó de la manera siguiente:

$$ABFCC = (NFCC) * (Dn/100)^2 * (0.7854).$$

Cuadro 2. Número de árboles y área basal por hectárea para diversos diámetros cuadráticos obtenidos de la función del FCC para *P. montezumae* en Hidalgo.

Diámetro cuadrático	Árboles/ha	Área basal/ha	Diámetro cuadrático	Árboles/ha	Área basal/ha
10.0	1593.0	12.51	45.0	136.2	21.67
12.5	1158.2	14.21	47.5	123.5	21.88
15.0	879.8	15.55	50.0	112.4	22.07
17.5	690.9	16.62	52.5	102.7	22.24
20.0	556.9	17.50	55.0	94.3	22.40
22.5	458.5	18.23	57.5	86.8	22.55
25.0	384.0	18.85	60.0	80.2	22.68
27.5	326.3	19.38	62.5	74.3	22.81
30.0	280.6	19.84	65.0	69.1	22.93
32.5	244.0	20.24	67.5	64.4	23.03
35.0	214.0	20.59	70.0	60.1	23.14
37.5	189.3	20.91	72.5	56.3	23.23
40.0	168.6	21.19	75.0	52.8	23.32
42.5	151.1	21.44	77.5	49.6	23.41
			80.0	46.7	23.49

Elaboración de la guía de densidad

Para elaborar la guía de densidad se utilizaron datos de los cuadros 1 y 2 que se presentan en la figura 3. Con la guía el Ingeniero Forestal puede estimar de forma rápida la cantidad de árboles que debe dejar por hectárea con las cortas de aclareo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los árboles residuales y la mejora de los productos a obtener en intervenciones subsecuentes en la misma área.

En la guía se muestra el rango de variación natural en número de árboles y área basal por hectárea establecido para *Pinus montezumae* en áreas naturales en el estado de Hidalgo en base al IDRR (línea A) y el FCC (línea B), considerando como rango de suficiente entre 100 y 30% aproximadamente, dependiendo del grado de densidad en que se establezca. La aseveración anterior es válida al considerar el área máxima de copa promedio que pueden desarrollar los árboles para ocupar plenamente el terreno. Tomando en cuenta que en cualquier rodal puro, coetáneo, bien poblado y que la especie de *Pinus montezumae* tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de área con su diámetro cuadrático promedio respectivo y es semejante a otro rodal de iguales características, independientemente de la calidad del sitio (Krajicek et al., 1961; Daniel et al., 1982).

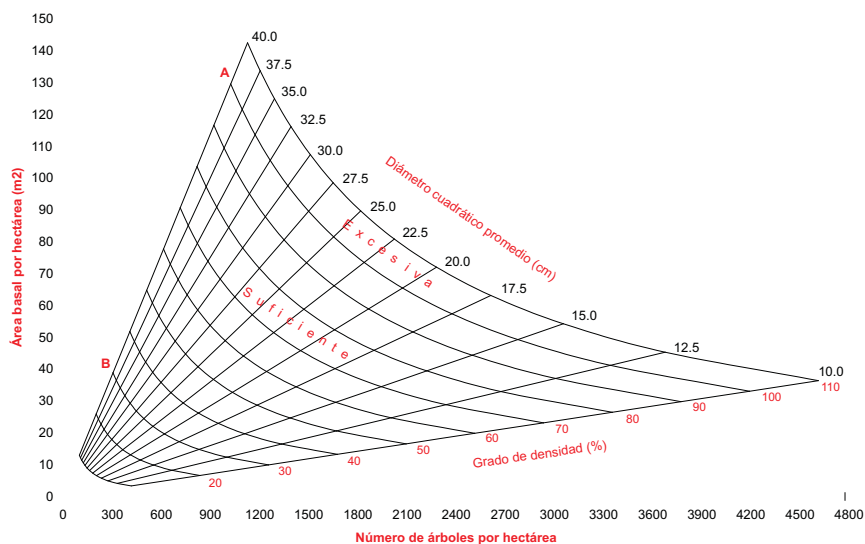
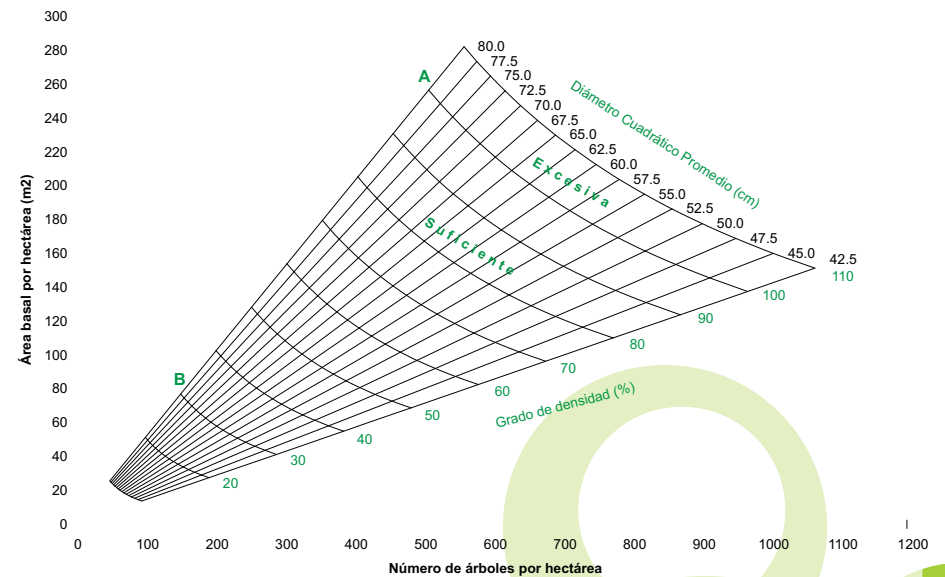


Figura 3. Guía de densidad para *P. montezumae* en áreas naturales de Hidalgo.

La línea de referencia promedio (línea A) se obtuvo de los datos de los sitios de muestreo, por lo que se pueden encontrar en la región, rodales con un grado de densidad mayor al considerado como 100% en la guía; tales rodales tendrían un grado

de densidad excesiva. Así mismo, los rodales con menos árboles de los indicados en la línea B deben considerarse como rodales con grado de densidad deficiente. Autores como Becerra (1986) obtuvo para *Pinus patula* en Zacatlan, Puebla, las líneas A y B en grados de densidad de 100% y aproximadamente 23% respectivamente. Zepeda y Villareal (1987) fijaron tales rangos de las líneas A y B entre 100 y 57% respectivamente para *Pinus hartwegii* en Zoquiapan, Estado de México. Cuando un bosque se interviene aplicando aclareos sin ayuda de una guía de densidad generalmente se obtienen diámetros menores de 40 cm y productos de aserrío como tablas, vigas, pilotes entre otros. Sin embargo, con la interpretación adecuada de la guía de densidad para *P. montezumae* (figura 4) se puede dejar durante cada aclareo el número adecuado de árboles por hectárea para que el árbol tenga crecimientos más rápidos en las últimas etapas de su desarrollo.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA UTILIZAR LA GUÍA DE DENSIDAD EN

P. montezumae

En un área de regeneración del ejido Santo Tomás se levantaron 3 sitios de 10*10 m cada uno (100 m²), en cada uno de ellos se contabilizó el número de árboles y sus diámetros respectivos, obteniendo los promedios siguientes: densidad= 3200 árboles/hectárea, diámetro=12 cm (diámetro cuadrático), con estos valores se obtuvo un área basal= 36 m²/ha. Los datos anteriores se ubicaron en la guía de densidad, el punto de intersección se representa en la figura 5.

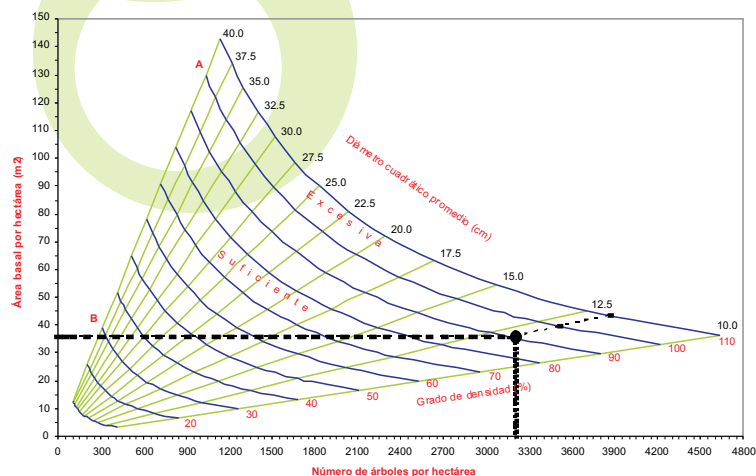


Figura 5. Ejemplo de ubicación del punto de intersección de parámetros de un rodal de *P. montezumae* en el estado de Hidalgo.

El punto de intersección de estas variables indican que el bosque presenta un grado de densidad suficiente del 90%, la masa está en los límites de pasar a un grado de densidad excesiva; por lo que el prestador de servicios técnicos deberá programar a corto plazo la aplicación de un aclareo llevando la masa forestal a un grado de densidad inferior acorde con la calendarización de las cortas intermedias en el programa de manejo forestal autorizado. De tal manera que el desarrollo que la masa pueda tener en el periodo que transcurra entre una intervención y otra siempre se mantenga en el rango comprendido entre las líneas A y B (densidad suficiente) de la guía de densidad.

CONCLUSIONES

El análisis estadístico realizado demostró que los límites de guía de densidad de árboles de *Pinus montezumae* que crecen de forma natural en el estado de Hidalgo, permiten desarrollarse de forma óptima. Por lo que los prestadores de servicios técnicos forestales pueden hacer uso de esta herramienta para mejorar el rendimiento de los bosques, aunque hay que resaltar que mucha responsabilidad tiene el técnico forestal responsable y el trabajador para eliminar el árbol que se encuentra en competencia de acuerdo a sus conocimientos y experiencias obtenidas en campo.

LITERATURA CITADA

Acosta M. M., Carrillo A. F. y Magaña T. O. S. 2007. Aplicación práctica de una guía de densidad en rodales naturales y plantaciones forestales del estado de Hidalgo. INIFAP, Pachuca. Folleto Técnico No. 7. 22 p.

Aguirre C., O. A. 1991. Productividad forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 27 p.

Avery T. E. y Burkhart H. E. 1983. Forest measurements. Third Ed. McGraw-Hill, New York. 332 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 en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 82 p.

Bickford C. A., Baker F. S. y Wilson F. G. 1957. Stocking, normality and measurement of stand density. *Journal Forestry* 55: 99-104.

Chisman H. H. y Schumacher F. X. 1940. On the tree-area ratio and certain of its applications. *Journal Forestry* 38: 311-317.

Clutter J. L., Fortson J. C., Pineaar L. V., Brister G. H. y Bailey R. I. 1983. Timber Management: A quantitative approach. John Wiley, New York. 333 p.

Daniel T. W., Helms J. A. y Baker F. S. 1982. Principios de silvicultura. Primera edición en español. Ed. McGraw-Hill. México. 490 p.

Davis L. S. y Johnson K. N. 1987. Forest Management. Third ed. McGraw Hill, New York. 790 p.

Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género Pinus en México. Tesis Profesional, DICIFO. Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México. 621 p.

Gringrich, S. F. 1967. Growth and yield. In uneven-aged silviculture and Management in the United State. Washington, D. C. U.S.D.A. Forest Service. pp. 115-124.

Husch B., Miller Ch. I. y Beers T. W. 1972. Forest mensuration. Second Edition. John Wiley, New York. 410 p.

Krajicek J. E., Brinkman K. A. y Gringrich S. F. 1961. Crown competition a measure of density. Forest Science 7(1):35-42.

Leak, W. B. 1981. Do smoking guides in the Eastern United States related to stand growth? J. For. 79: 661-664.

Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Tercera edición. Botas. 368 p.

Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.

Powell D. S. and J. E. Barnard 1979. Identifying regional timber management opportunities by computer. In Frayer W. E. ed. Forest resource inventories Vol. 1

Proceedings of a workshop sponsored by Society of American Foresters, IUFRO and Colorado State University pp. 486-498.

Producción forestal / basado en el trabajo de Pieter Grijpma 1990. Manuales para educación agropecuaria. Producción forestal No. 54. SEP. Reimpresión 1997. ed. Trillas. 134 p.

Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. Journal of Agriculture Research. 46(7): 627-638

Santillán P., J. 1991. Silvicultura de las coníferas de la región central. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. 300 p.

Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Reglamento de la Ley Forestal. México.

Spurr, S. H. 1952. Forest inventory. New York. Wiley pp. 275-292.

Vázquez S., J. 1962. Seminario y viaje de estudios de coníferas latinoamericanas. INIF. Pub. Esp. 1. México. 35 p.

Vega G., M. G. 1995. Elaboración de una guía de densidad para Pinus pseudostrobus Lindl. en el estado de Nuevo León. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 45 p.

Zepeda B. E. M. y Villareal D. M. E. 1987. Guía de densidad para Pinus hartwegii Lindl. Zoquiapan, estado de México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 52 p.