



ARTÍCULO / ARTICLE

# GUÍA DE DENSIDAD PARA MANEJO DE BOSQUES NATURALES DE *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. EN HIDALGO

## DENSITY MANAGEMENT GUIDE FOR NATURAL *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. FORESTS IN HIDALGO

Jonathan Hernández Ramos<sup>1</sup>, J. Jesús García Magaña<sup>2</sup>, H. Jesús Muñoz Flores<sup>3</sup>, Xavier GarcíaCuevas<sup>1</sup>, Trinidad Sáenz Reyes<sup>3</sup>, Celestino Flores López<sup>4</sup> y Adrián Hernández Ramos<sup>4</sup>

### RESUMEN

La densidad es un indicador confiable del grado de ocupación del arbolado de un lugar y tiempo específicos, además es una de las pocas variables que representan, de manera sencilla y objetiva la estructura de áreas forestales. En 12 municipios del oriente del estado de Hidalgo se elaboró una guía de densidad para bosques de *Pinus teocote*. Con la finalidad de desarrollar la metodología de Índice de Densidad de Rodales de Reineke se levantaron 282 sitios de muestreo con dimensiones entre 100 y 1 000 m<sup>2</sup> en rodales de densidad completa; asimismo, para definir el Factor de Competencia de Copas se midieron 131 árboles individuales aislados. En la construcción de la guía de densidad se determinó la línea de máxima densidad o nivel "A" con el modelo propuesto por Reineke: se obtuvo un índice de 755 árboles a un diámetro cuadrático de 25 cm. Con los árboles aislados se estableció la línea "B" o densidad mínima; bajo la metodología del Factor de Competencia de Copas: el índice registrado fue de 421 árboles para el mismo diámetro cuadrático. A partir de la guía generada se relacionaron índices cuantitativos que permiten comparar el grado de densidad y algunas variables dasométricas en rodales de *Pinus teocote*, de manera independiente de la edad, la calidad de sitio y dimensiones de los árboles dentro de intervalos de densidad específicos.

**Palabras clave:** Estado de Hidalgo, Factor de Competencia de Copas, guía de densidad, Índice de Densidad de Rodales de Reineke, manejo forestal, *Pinus teocote* Schlecht. et Cham.

### ABSTRACT

Density is a reliable indicator of the degree of occupation of a specific time and place by trees; besides, it is one of the few variables that represent the structure of forests in a simple, objective manner. A density management guide for *Pinus teocote* was created for 12 municipalities of eastern Hidalgo. In order to develop the methodology of Reineke's Stand Density Index, 282 sampling sites with a surface between 100 and 1 000 m<sup>2</sup> in full density stands were evaluated; also, in order to define the Crown Competition Factor, 131 isolated individual trees were measured. During the making of the density management guide, the maximum density line or level "A" was determined according to the model proposed by Reineke: an index of 755 trees to a 25 cm square diameter. Line "B", or minimum density, was established based on the isolated trees, according to the Crown Competition Factor: the recorded index was 421 trees to the same square diameter. Based on the guide thus generated, a relationship was established between quantitative indices allowing comparison between the density degree and certain dasometric variables in *Pinus teocote* stands, regardless of their age, the quality of the site and the dimensions of the trees within specific density intervals.

**Key words:** Hidalgo state, Crown Competition Factor, density guide, Reineke's Stand Density Index, forest management, *Pinus teocote* Schlecht. et Cham.

Fecha de recepción/date of receipt: 9 de febrero de 2012; Fecha de aceptación/date of acceptance: 20 de abril de 2013.

<sup>1</sup> Campo Experimental Chetumal, CIR-Sureste. INIFAP. Correo-e: hernandezjonathan@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

<sup>3</sup> Campo Experimental Uruapan, CIR-Pacífico Centro. INIFAP.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques y las selvas mexicanos han sufrido de fuertes disturbios debido al impacto del cambio de uso del suelo, la tala ilegal, los incendios forestales, las plagas y enfermedades, los fenómenos meteorológicos y el crecimiento demográfico, lo cual, aunado a la deficiente aplicación de prácticas silvícolas, ocasiona la reducción de la cubierta vegetal de los diversos ecosistemas.

En el periodo de 2005-2010, FAO (2010) refiere una tasa de deforestación de 155 mil hectáreas por año y una degradación entre 250 y 300 mil hectáreas por año, en promedio. La pérdida de la cubierta forestal es más acentuada en los bosques irregulares, dado que existe un menor conocimiento de las herramientas de manejo que le permitan al técnico seleccionar una medida silvícola, en función de sus características estructurales (Velásquez *et al.*, 2002).

La estructura de los bosques está determinada por la amplitud de las clases de edad, por el diámetro normal o la posición social de sus copas, características con las cuales se clasifica a la masa como regular o irregular, de acuerdo a la capacidad de subsistir en condiciones de escasa luminosidad y elevada competencia sobre las cuales la interacción entre el hábitat, las condiciones ambientales y el manejo ejercen su influencia (Husch *et al.*, 1982; Cano, 1988).

La ordenación forestal se realiza con base en las condiciones de reproducción, densidad, crecimiento altura-diámetro, auto-poda, raleo natural y capacidad de liberación, según la tolerancia de cada especie (Daniel *et al.*, 1982). La competencia también influye en el arreglo de la vegetación (densidad), pues responde a la demanda de los árboles por el espacio de crecimiento, cuyo resultado es la muerte eventual de otros individuos (Toumey y Korstian, 1947).

En la caracterización de los rodales, la densidad es un indicador confiable del grado de ocupación del arbolado de un lugar específico en un tiempo dado (Zeide, 2004); además, es una de las pocas variables que representan de manera sencilla y objetiva la estructura de las áreas forestales. En la actualidad existen varios procedimientos para describirla, pero es evidente que los de uso más frecuente son el Índice de Densidad de Rodales de Reineke (Reineke, 1933), la Relación Área/Árbol propuesta por Chismas y Schumacher (1940), el Factor de Competencia de Copas (Krajicek *et al.*, 1961) y el Índice de Densidad Relativa (Curtis, 1970).

Las guías de densidad son un instrumento eficaz y práctico en la planeación de los tratamientos silvícolas para ser aplicados y define el número de árboles por unidad de superficie en un rodal, debido a que proporcionan información sobre las densidades mínimas y máximas, así como el porcentaje de árboles que se deben eliminar en cada etapa de desarrollo del arbolado; esto permite obtener la mayor productividad de los bosques. Asimismo,

## INTRODUCTION

The Mexican forests and tropical forests have suffered strong disturbances due to the impact of the change of land use, illegal tree felling, forest fires, pests and diseases, meteorological phenomena, and demographic growth, which, along with a deficient application of forestry practices, have brought about the reduction of the vegetal cover of the various ecosystems.

For the 2005-2010 period, FAO (2010) quotes a deforestation rate of 155 thousand hectares per year and an average degradation of 250 to 3 000 thousand hectares per year. The loss of the forest cover is greater in irregular forests, since there is less knowledge of the management tools that enable technicians to select an appropriate strategy in terms of its structural characteristics (Velásquez *et al.*, 2002).

The structure of the forests is determined by the range of the age classes, by the normal diameter or the social status of its crowns, which allows classification of the mass as regular or irregular according to its ability to survive in conditions of scarce lighting and high competition, which is influenced by the interaction between habitat and environmental conditions and management (Husch *et al.*, 1982; Cano, 1988).

Forests are ordered by their reproduction conditions, density, height and diameter growth, self-pruning, natural thinning and release ability, according to the tolerance of each species (Daniel *et al.*, 1982). Competition also exerts an influence on the vegetation's arrangement (density), since it is the consequence of the demand of growth space by the trees, which eventually results in the death of other individuals (Toumey and Korstian, 1947).

In the characterization of the stands, density is a reliable indicator of the degree of occupation by the trees of a specific place in a particular time (Zeide, 2004). Besides, it is one of the few variables that represent in a simple, objective way the structure of forest areas. Today several procedures are utilized to describe the density of the stands, but it is evident that those most frequently used are Reineke's Stand Density Index (Reineke, 1933), the Tree Area Ratio proposed by Chisman and Schumacher (1940), the Crown Competition Factor (Krajicek *et al.*, 1961) and the Relative Density Index (Curtis, 1970).

The density management guides are a practical, effective tool for planning the silvicultural treatments to be applied, and they define the number of trees per surface unit in a stand because they provide information regarding the maximum and minimum densities, as well as the percentage of trees that must be removed in each step of the development of the woodland; this makes it possible to obtain the highest productivity levels from the forests. Furthermore, these guides are an important element for forest management, since they allow establishing forest management schemes (Reineke, 1933; Chauchard, 2001);

estas guías son un elemento importante para el manejo forestal, ya que con ellas se pueden establecer esquemas de manejo silvícola (Reineke, 1933; Chauchard, 2001; Torres y Magaña, 2001). Aguirre *et al.* (1994) desarrollaron una guía para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en Nuevo León.

En el estado de Hidalgo se han elaborado guías de densidad para *Pinus patula* Schlecht. *et Cham.* (Acosta *et al.*, 2007) y para *P. montezumae* Lamb. (Rodríguez *et al.*, 2009); sin embargo, no existen para *P. teocote* Schlecht. *et Cham.*, especie relevante por su distribución y abundancia en la entidad y en el país, y porque tiene una madera dura, fuerte y por lo tanto, muy apreciada en la industria. En el presente trabajo se planteó como objetivo generar una guía para el manejo de la densidad en rodales puros de *Pinus teocote* basada en el Índice de Densidad de Rodales de Reineke (DRR) y en el Factor de Competencia de Copas (FCC).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el oriente del estado de Hidalgo, que forma parte de la Cordillera del Eje Neovolcánico Transversal en un intervalo altitudinal de 2 000 a 3 100 m, entre las coordenadas 16°57' y 20°27' norte y 98°48' y 99°12' oeste.

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988), el clima corresponde al tipo C, templado con lluvias en verano.

La forma del terreno se clasifica en plana, ondulada y semi-montañosa con pendientes de 5 a 45%, con una exposición variada. La vegetación está representada, principalmente, por *Pinus rudis* Endl., *P. montezumae*, *P. patula* y algunas especies de *Quercus* y *Alnus*.

Los suelos son de tipo Feozem, Andosol, Cambisol y Regosol, característicos de la región que, junto a las condiciones antes mencionadas, favorecen un desarrollo ideal de *Pinus teocote* (INEGI, 1992).

Esta área pertenece a la Unidad de Manejo Forestal 1 303, donde la superficie forestal bajo manejo es de 24 858 ha, de las cuales, y debido a las condiciones dasonómicas de los predios forestales, 78.88% se aplica el Método de Desarrollo Silvícola (MDS); 17.47% en la combinación del MDS y del Método Mexicana de Ordenación de los Bosques Irregulares (MMOBI); 3.52%, está manejado solo con el MMOBI, y 0.12%, con otros métodos (Conafor, 2011).

Diseño de muestreo. La información se extrajo de una superficie de 3 100 ha, en la que se efectuaron dos muestreos selectivos:

Torres and Magaña, 2001). Aguirre *et al.* (1994) developed a management guide for *Pinus pseudostrabus* Lindl. in Nuevo León.

Density management guides have been created for *Pinus patula* Schlecht. *et Cham.* (Acosta *et al.*, 2007) and for *P. montezumae* Lamb. (Rodríguez *et al.*, 2009) in the state of Hidalgo; however, they do not exist for *P. teocote* Schlecht. *et Cham.*, an important species because of its distribution and abundance in the state and across the country, and because it offers a hard, strong wood that is highly appreciated in the industry. This work has as its objective the generation of a density management guide for *Pinus teocote* pure stands based on Reineke's Stand Density Index (RSDI) and on the Crown Competition Factor (CCF).

## MATERIALS AND METHODS

### The study area

The study was carried out in eastern Hidalgo, which is part of the Transversal Neo-Volcanic Mountain Range, at an altitude interval of 2 000 to 3 100 m, between the coordinates 16°57' to 20°27' north and 98°48' to 99°12' west.

According to Köppen's classification modified by García (1988), the climate corresponds to type C, which is temperate, with rains in the summer.

Land is classified as flat, undulating and semi-mountainous with 5 to 45% slopes, with a varied exposure. The vegetation is represented primarily by *Pinus rudis* Endl., *P. montezumae*, *P. patula* and certain species of *Quercus* and *Alnus*.

The soils are of Feozems, Andosoles, Cambisoles and Regosoles, which are typical of the region and which, along with the above conditions, favor an ideal development of *Pinus teocote* (INEGI, 1992).

This area belongs to Forest Management Unit 1 303, where the forest surface under management is 24 858 ha. Due to forestry conditions, 78.88% of this surface is managed under the Silvicultural Development Method (MDS, Spanish acronym); 17.47%, under a combination of the MDS and the Mexican Method of Managing Irregular Forests (MMOBI, Spanish acronym), and 0.12%, under other methods (Conafor, 2011).

Sampling design. The information was obtained from an area of 3 100 ha, where two selective samplings were performed: the first, with the support of digital orthophotographs and field tours where stands of different sizes and ages with full density were selected; circular sampling sites with fixed dimensions between 100 and 1 000 m<sup>2</sup> were evaluated according to the stage of development of the mass; the second, for individual trees that

el primero, con apoyo de ortofotos digitales y recorridos de campo se eligieron rodales de diferentes dimensiones y edades con densidad completa; se levantaron sitios circulares de muestreo con dimensiones fijas entre 100 y 1 000 m<sup>2</sup>, según el estado de desarrollo de la masa; el segundo, para árboles individuales que crecieron aislados, se distribuyeron bajo criterios de exposición y abarcaron todas las categorías diamétricas posibles.

Criterios para la selección de los sitios. Únicamente se tomaron en cuenta rodales de densidad completa, con el criterio de que el arbolado ubicado dentro del sitio tocara sus copas en tres a cuatro lados, y que estuviera libre de daños por plagas, enfermedades, incendios o algún otro factor de disturbio. Se evitó escoger sitios en las orillas de los rodales (a menos de 10 m); asimismo, se seleccionaron rodales sin aprovechamiento durante los últimos 15 a 20 años. Los datos registrados en cada uno fueron el diámetro normal y el número de árboles existentes.

Criterios para la selección de los árboles aislados. Se consideró el crecimiento sin competencia lateral, copa completa y sin daños por plagas o enfermedades, no bifurcados y que fueran producto de regeneración natural. Se tomó información de diámetro normal y del diámetro de copa en cada uno de los árboles.

Procesamiento de datos de campo. La base de datos se elaboró en Microsoft Excel 2007 y el análisis se realizó mediante el paquete estadístico SPSS Statistics 17.0 (Softonic, s/f), con una base de datos para rodales de densidad completa (sitios) y otra para árboles aislados; se obtuvieron diagramas de dispersión para detectar datos atípicos y ajustar la información.

Obtención del Diámetro cuadrático. Para estimar el  $D_{\bar{q}}$  se usó la expresión de Clutter *et al.* (1983):

$$D_{\bar{q}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Dn_i^2$$

Donde:

$D_{\bar{q}}$  = Diámetro cuadrático (cm)  
 $Dn$  = Diámetro normal (cm)  
 $n$  = Número de árboles medidos

Diámetro de referencia. Una vez determinado el diámetro cuadrático, se eligió el diámetro de referencia ( $D_{qr}$ ) en 25 cm, de acuerdo a lo propuesto por Reineke (1933) y Vega (1995), el cual permite hacer comparaciones entre rodales.

Ajuste del modelo del IDRR. Con el diámetro cuadrático de cada sitio y el número de árboles extrapolados a la hectárea se efectuó un ajuste de los datos a una regresión no lineal, a fin de predecir el número de árboles ha<sup>-1</sup> y por categoría

grew in isolation, were distributed under exposure criteria and encompassed all the possible diametric categories.

Site selection criteria. For site location, only full density stands were taken into account, in keeping with the criterion that the trees located within the site should touch their crowns on three to four sides and be free of pest-caused damage, diseases, fires or any other disturbance factor. Selection of sites at the edges of the stands (i.e. at less than 10 m) was avoided. Stands that had remained unexploited during the last 15 to 20 years were selected. The data recorded for each site were the normal diameter and the number of trees within the site.

Criteria for the selection of isolated trees. The criteria considered for measuring isolated specimens were growth without lateral competition, complete crown, absence of damage by pests or diseases, absence of forking, and being a product of natural regeneration. The normal and crown diameters were estimated for each tree.

Field data processing. The database was made in Microsoft Excel 2007, and the analysis was performed with the SPSS Statistics 17.0 software package (Softonic, n/d), with a database for full density stands (site) and another for isolated trees; dispersion diagrams were drawn in order to detect atypical data and adjust the information.

Estimation of the square diameter. The square diameter ( $D_{\bar{q}}$ ) was estimated according to the equation proposed by Clutter *et al.* (1983):

$$D_{\bar{q}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Dn_i^2$$

Where:

$D_{\bar{q}}$  = Square diameter (cm);  
 $Dn$  = Normal diameter (cm);  
 $n$  = Number of trees measured.

Reference diameter. Once the square diameter was determined, the reference diameter ( $D_{qr}$ ) was fixed at 25 cm, as proposed by Reineke (1933) and Vega (1995). The reference diameter allows comparisons between stands.

Adjustment to the RSDI model. With the square diameter for each site and the number of trees extrapolated to the hectare, a non-linear regression was performed to adjust the data in order to predict the number of trees ha<sup>-1</sup> by diameter category; the following equation (Montero *et al.*, 2007; Santiago-García *et al.*, 2013) was used for this purpose:

diamétrica; para ello se utilizó la siguiente expresión (Montero *et al.*, 2007; Santiago-García *et al.*, 2013):

$$N = b_0(D_q^-)^{b_1} \quad (1)$$

Este modelo general, en forma linealizada, se expresaría así (Clutter *et al.*, 1983):

$$\log(N) = \log(b_0) + b_1 \log(D_q^-) \quad (2)$$

Donde:

- N = Número de árboles ha<sup>-1</sup>
- b<sub>0</sub> = Coeficiente de regresión (Intercepto)
- b<sub>1</sub> = Coeficiente de regresión (pendiente)
- log = Logaritmo base 10.

Curva de referencia. Con el objeto de definir la curva de referencia se hizo variar el intercepto al origen y se conservó la pendiente para cualquier índice a partir del modelo general (Gingrich, 1967; Zepeda, 1984; Zepeda y Villarreal, 1997; Aguirre y Jiménez, 1992; Aguirre y Jiménez, 1994; Alonso, 1996) con la siguiente expresión:

$$\log(N) = b_0 + b_1 \log(D_q^-)$$

Al despejarse se tiene:

$$\begin{aligned} \log(N) &= (b_1 \log D_q^-) + b_0 \\ \log(N) &= K + b_0 \\ \log(N) - K &= b_0 \quad (3) \end{aligned}$$

Donde:

- N = Valor por donde requiere pasar la curva, denominado "índice de densidad";
- K = Constante.

Cálculo del área basal por hectárea. Se logra a través de la ecuación del número de árboles por hectárea para obtener el área basal en metros cuadrados de árboles individuales de un diámetro cuadrático dado; para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$abh^{-1} = (b_0 D_q^{-b_1}) \left( \frac{0.7854 D_q^2}{10\,000} \right)$$

Donde:

- abh<sup>-1</sup> = Área basal por hectárea (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

Ajuste del modelo del FCC. Bajo el supuesto de que existe una correlación alta entre el diámetro de copa del árbol que creció de forma libre, sin interferencias, y el diámetro normal (Krajicek *et al.*, 1961), con pares de los valores de área de copa (m)

$$N = b_0(D_q^-)^{b_1} \quad (1)$$

The linearized expression for this general model would be as follows (Clutter *et al.*, 1983):

$$\log(N) = \log(b_0) + b_1 \log(D_q^-) \quad (2)$$

Where:

- N = Number of trees ha<sup>-1</sup>;
- b<sub>0</sub> = Regression coefficient (Intercept);
- b<sub>1</sub> = Regression coefficient (slope);
- log = Base logarithm 10.

Reference curve. In order to define the reference curve, the baseline intercept was varied and the slope was preserved for any index, based on the general model (Gingrich, 1967; Zepeda, 1984; Zepeda and Villarreal, 1997; Aguirre and Jiménez, 1992; Aguirre and Jiménez, 1994; Alonso, 1996) using the following expression:

$$\log(N) = b_0 + b_1 \log(D_q^-)$$

Which when solved results in the following:

$$\begin{aligned} \log(N) &= (b_1 \log D_q^-) + b_0 \\ \log(N) &= K + b_0 \\ \log(N) - K &= b_0 \quad (3) \end{aligned}$$

Where:

- N = The value at which the curve must pass, known as "density index"
- K = Constant

Estimation of the basal area per hectare. The equation of the number of trees per hectare is utilized to obtain the basal area in m<sup>2</sup> for individual trees of a given square diameter; its expression is as follows:

$$abh^{-1} = (b_0 D_q^{-b_1}) \left( \frac{0.7854 D_q^2}{10\,000} \right)$$

Where:

- bah<sup>-1</sup> = Basal area per hectare (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

diámetro normal del fuste (cm) medido a 1.3 m de altura de árboles aislados, se generaron los coeficientes de regresión lineal del modelo:

$$dc = b_0 + b_1(d) \quad (4)$$

Donde:

- $dc$  = Diámetro de copa (m)
- $d$  = Diámetro normal promedio (cm)
- $b_0$  = Coeficiente de regresión (Intercepto)
- $b_1$  = Coeficiente de regresión (Pendiente)

Área de copa. Expresa en términos de porcentaje de una hectárea, el área máxima de terreno que puede ocupar la copa de un árbol de un diámetro normal dado.

Se determinó el área de copa de árboles individuales ( $ac$ ) en  $m^2$ , mediante la ecuación:

$$ac = 0.7854(dc)^2 \quad (5)$$

Al sustituir (4) en (5) se tiene:

$$ac = 0.7854(b_0 + b_1 d)^2 \quad (6)$$

Donde:

- $ac$  = Área de copa de un árbol individual ( $m^2$ ).

Cuando se redefine  $ac$  por área máxima de copa individual ( $amci$ ), se desarrolla el binomio al cuadrado, de acuerdo a Krajicek *et al.* (1961), Clutter *et al.* (1983), Zepeda (1984) y Husch *et al.* (1993).

Para el cálculo de espacios de crecimiento ( $ec$ ), número de árboles por hectárea ( $nah^{-1}$ ) y área basal por hectárea ( $abh$ ) se utilizan las siguientes expresiones:

Espacios de crecimiento

$$ec(\%) = \left( \frac{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2}{10\,000} \right) 100 \quad (7)$$

Donde:

- $ec(\%)$  = Espacio de crecimiento en porcentaje de superficie

Número de árboles por hectárea. El número de árboles por hectárea se estima con la siguiente expresión:

$$nah^{-1} = \frac{10\,000}{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2} = \frac{10\,000}{amci} \quad (8)$$

Adjustment of the CCF model. The linear regression coefficients of the model were estimated based on the assumption that there is a high correlation between the crown diameter of the trees that grew freely, without interferences, and the normal diameter (Krajicek *et al.*, 1961), with pairs of the crown area values (m) and the normal diameter of the stem (cm) of isolated trees, measured at a height of 1.3 m:

$$dc = b_0 + b_1(d) \quad (4)$$

Where:

- $cd$  = Crown diameter (m)
- $d$  = Average normal diameter (cm)
- $b_0$  = Regression coefficient (Intercept)
- $b_1$  = Regression coefficient (Slope)

Crown area. Expresses the maximum land area that the crown of a tree with a given normal diameter can occupy, in terms of percentage of a hectare:

The crown area of individual trees ( $ca$ ) was determined in  $m^2$  by means of the following equation:

$$ac = 0.7854(dc)^2 \quad (5)$$

Substitution of (4) for (5) results in:

$$ac = 0.7854(b_0 + b_1 d)^2 \quad (6)$$

Where:

- $ca$  = Crown area of an individual tree ( $m^2$ )

When  $ca$  is redefined by the maximum individual crown ( $mica$ ), the square binomial is expanded according to Krajicek *et al.* (1961), Clutter *et al.* (1983), Zepeda (1984) and Husch *et al.* (1993).

Growth spaces ( $gs$ ), the number of trees per hectare ( $nth^{-1}$ ), and the basal area per hectare ( $bah$ ) are estimated using the following expressions:

Growth spaces

$$ec(\%) = \left( \frac{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2}{10\,000} \right) 100 \quad (7)$$

Where:

- $gs(\%)$  = Growth space in terms of percentage of the surface.

Number of trees per hectare. The number of trees per hectare is estimated according to the following expression:

$$nah^{-1} = \frac{10\,000}{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2} = \frac{10\,000}{amci} \quad (8)$$

Donde:

$$nah^{-1} = \text{Número de árboles por hectárea.}$$

Área basal por hectárea. Por último, para calcular el área basal por hectárea se empleó la siguiente expresión:

$$abh^{-1} = 0.7854 \left( \frac{d}{100} \right)^2 \left( \frac{10\,000}{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2} \right) \quad (9)$$

Construcción de la guía de densidad. Estimación de valores en la línea "A" o densidad máxima. Se usaron los valores calculados del *IDRR* en la construcción de la línea, la cual pasa por el máximo número de árboles  $ha^{-1}$  a un diámetro cuadrático de referencia (*Dqr*) base de 25 cm.

Con los valores de número de árboles  $ha^{-1}$  por categoría diamétrica, se estima el área basal  $ha^{-1}$  para construir la guía de densidad; mediante la unión de los valores que representan el diámetro cuadrático, número de árboles y área basal, se define la posición; el grado de densidad es expresado en porcentaje de la línea "A", tanto en el número de árboles como en área basal  $ha^{-1}$ .

Estimación de valores en la línea "B" o densidad mínima. Para la generación de la línea se emplearon los valores del *FCC* de la relación del área de copa y el número de árboles. Se obtuvo el número de árboles por categoría diamétrica y los valores del área basal  $ha^{-1}$ , de esto resultó la posición de la línea "B" en la guía por la unión de valores.

Estimación de valores en la línea "C" o densidad mínima aceptable. La posición y tendencia de la línea es definida a partir de incrementos medios por categoría diamétrica, con base en la línea "B" proyectada hacia abajo de esta una línea vertical perpendicularmente al eje de las abscisas, nivel que se quiere alcanzar en los 10 años siguientes. Para ello, el incremento medio en diámetro que resulte en los últimos 10 años se utilizará para que posteriormente cada diámetro normal medio se multiplique por los incrementos calculados con la ecuación (Zepeda y Villarreal, 1987):

$$5 = (tp) * (id) \quad (10)$$

Al despejar, se obtiene:

$$id = 5 / tp \quad (11)$$

Donde:

- 5 = Amplitud de las clases diamétrica
- tp = Tiempo de paso (años número o número de anillos en los últimos 2.5 cm)
- id = Incremento corriente anual en diámetro ( $cm\ año^{-1}$ )

Where:

$$nah^{-1} = \text{Number of trees per hectare.}$$

Basal area per hectare. Finally, the following expression was used to calculate the basal area per hectare:

$$abh^{-1} = 0.7854 \left( \frac{d}{100} \right)^2 \left( \frac{10\,000}{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2} \right) \quad (9)$$

Construction of the density management guide. Value estimation in line "A" or maximum density. The *RSDI* estimated values were used for building the line, which passes the maximum number of trees  $ha^{-1}$  at a 25 cm base square reference diameter.

In order to build the density management guide, the basal area  $ha^{-1}$  is estimated based on the values for the number of trees  $ha^{-1}$  per diameter category; the position is defined by the union of the values representing the square diameter, number of trees and basal area; the degree of density is expressed in terms of percentage of line "A", both for the number of trees and for the basal area  $ha^{-1}$ .

Estimation of values in line "B" or minimum density. *CCF* values of the crown area/number of trees ratio were utilized to generate the line. The position of line "B" in the guide obtained through the union of values resulted from the estimation of number of trees per diameter category and the basal area  $ha^{-1}$ .

Estimation of the values in line "C" or minimum acceptable density. The position and tendency of the line are defined by mean increases by diameter category, based on line "B", down from which a vertical line is projected perpendicularly to the abscissas axis, showing the level intended to be attained in the next 10 years. For this purpose, the mean increase resulting in the last 10 years will be used as a basis to be multiplied, after each normal diameter, by the increases estimated according to the following equation (Zepeda and Villarreal, 1987):

$$5 = (tp) * (id) \quad (10)$$

Solved as follows:

$$id = 5 / tp \quad (11)$$

Where:

- 5 = Range of the diameter classes
- tp = Time passed (number of years or number of rings in the last 2.5 cm)
- id = Current annual increase in diameter ( $cm\ year^{-1}$ )

Esto permite generar el diámetro normal y el área basal individual para multiplicarlos por el valor de número de árboles  $ha^{-1}$  que representan al nivel "B" y así obtener el área basal  $ha^{-1}$  para, finalmente, unir las variables y definir el nivel "C".

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Índice de Densidad de Rodales de Reineke

Se determinó que los valores de los coeficientes de regresión fueron  $b_0 = 105.550.708$  y  $b_1 = -1.534711$  de la ecuación (1), la cual tuvo un  $R^2 = 0.886$  y un valor de  $\alpha < 0.0001$ . Al sustituir los valores en las ecuaciones:

$$NAH = 105\ 550\ 708 D_q^{-1.534711}$$

Donde:

$NAH$  = Número de árboles  $ha^{-1}$ .

*IDRR*. Con base en este parámetro se determinó el *IDRR* = 775 para rodales con un diámetro cuadrático de referencia de 25 cm. Se calculó el número máximo de árboles  $ha^{-1}$  según el índice, con la expresión resultante de la ecuación (1):

$$IDRR = 105\ 550\ 708 (25)^{-1.534711}$$

$$IDRR = 755.14$$

Lo anterior generó una serie de valores por categoría diamétrica.

Se observó que a mayor cercanía a la densidad máxima (100 %) o línea "A" y con diámetros más grandes, se cuenta con una menor cantidad de árboles  $ha^{-1}$ . Comportamiento que corresponde a la Ley de Auto-aclareo o curva de Liocourt (Yoda *et al.*, 1963; Gezar *et al.*, 2007; Santiago-García *et al.*, 2013), basada en la competencia entre individuos del rodal.

El valor de  $b_1$ , pendiente de la curva, es de -1.535, semejante al señalado por Reineke (1933) con -1.605; Yoda *et al.* (1963) con -1.5; Zepeda y Villarreal (1987) en *Pinus hartwegii* Lindl. con -1.669; Valencia (1988) con -1.55 en *Pinus douglasiana* Martínez; Vega (1995) para *Pinus pseudostrabus* con -1.54; Alonso (1996) para *Pinus rudis*, con -1.54; Fernández (1999) para *Pinus arizonica* Engelm., -1.56; Torres *et al.* (2000) en una mezcla de *Pinus-Pseudotsuga-Alnus* y *Quercus*, con -1.45, -1.80 y -1.51 respectivamente; Andermatt *et al.* (2000) con -1.60 en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, y Fassola *et al.* (2004) para *Grevillea robusta* A. Cunn, ex R. Br. con -1.60.

Las diferencias entre los valores de las pendientes en los estudios mencionados se atribuyen a efectos aleatorios de muestreo y a las características propias de las especies, ya que para cada  $x$  ( $Dq$ ) existe una serie de valores en número de

This allows estimation of the normal diameter and the individual basal area, which, multiplied by the value of the number of trees per hectare representing level "B", will establish the basal area  $ha^{-1}$ , so that the variables may be united and as a result level "C" may be determined.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Reineke's Stand Density Index

The values of the regression coefficients were determined as  $b_0 = 105.550.708$  and  $b_1 = -1.534711$  based on equation (1), which had an  $R^2 = 0.886$  and an  $\alpha$  value  $< 0.0001$ . When the values were substituted in the equations, the following expression resulted:

$$NAH = 105\ 550\ 708 D_q^{-1.534711}$$

Where:

$NAH$  = Number of trees  $ha^{-1}$ .

*RSDI*. Based on this parameter, the *RSDI* was found to be 775 for stands with a 25 cm reference square diameter. The maximum number of trees  $ha^{-1}$  was estimated based on the index, according to the resulting expression of equation (1):

$$IDRR = 105\ 550\ 708 (25)^{-1.534711}$$

$$IDRR = 755.14$$

This generated a series of values by diameter category.

It was found that, the closer to the maximum density (100 %) or to line "A", and the larger the diameter, the lesser the number of trees  $ha^{-1}$ . This behavior corresponds to the Self-thinning Law or Liocourt's curve (Yoda *et al.*, 1963; Gezar *et al.*, 2007; Santiago-García *et al.*, 2013), based on the competition between the individuals of the stand.

The value of  $b_1$ , which corresponds to the slope of the curve, is -1.535, similar to the -1.605 value indicated by Reineke (1933); -1.5, given by Yoda *et al.* (1963); -1.669, estimated by Zepeda and Villarreal (1987) for *Pinus hartwegii* Lindl.; -1.55, given by Valencia (1988) for *Pinus douglasiana* Martínez; -1.54, indicated by Vega (1995) for *Pinus pseudostrabus*; -1.54, pointed out by Alonso (1996) for *Pinus rudis*; -1.56, indicated by Fernández (1999) for *Pinus arizonica* Engelm.; -1.54, -1.80 and -1.51, provided by Torres *et al.* (2000), respectively, for a mixture of *Pinus-Pseudotsuga-Alnus* and *Quercus*; -1.60 given by Andermatt *et al.* (2000) for *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, and -1.60 estimated by Fassola *et al.* (2004) for *Grevillea robusta* A. Cunn ex R. Br.

The differences between the values of the slopes in the above mentioned studies are attributed to random sampling effects and to the particular characteristics of each species, since for each  $x$  ( $Dq$ ) value there are a series of values for the number



árboles por unidad de superficie bajo una distribución normal, y la muestra no siempre representa el centro de la campana de la distribución normal. Respecto a la variación de la pendiente de la línea, también se adjudica a las diferentes condiciones de desarrollo de los taxa y a la relación con la distribución dentro del rodal y la densidad existente.

El intercepto  $b_0$  para estimar el número de árboles dado por *IDRR* se refiere al sistema de curvas generadas a partir de la curva referencia, con lo que se definen nuevos interceptos al origen al mover la línea de regresión, pero con la misma pendiente, para cualquier índice de densidad. Al tomar y despejar el modelo para un ejemplo de *IDRR* de 700 y un diámetro cuadrático de 25 cm, se obtendrá el intercepto, para obtener el número de árboles  $ha^{-1}$ .

$$\log 700 = -1.534711 + b_1 \log(25) + b_0$$

$$\log 700 + (-1.534711 * \log 25) = b_0$$

$$2.84509 + 2.1454 = b_0$$

$$4.9905 = b_0$$

Cálculo del área basal por hectárea. Mediante la ecuación del número de árboles por hectárea y el área basal en metros cuadrados de árboles individuales de un diámetro cuadrático dado; para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$abh^{-1} = (105\ 550.708 D_q^{-1.534711}) \left( \frac{0.7854 D_q^2}{10\ 000} \right)$$

Factor de Competencia de Copas. En la construcción del FCC se emplearon los diámetros de fuste a la altura de 1.3 m y el diámetro promedio de copa de 131 árboles aislados.

Relación diámetro de copa/diámetro normal. Con una regresión lineal a fin de estimar el diámetro de copa ( $dc$ ) a partir del diámetro normal ( $d$ ), para cada categoría diamétrica se generó la siguiente expresión, cuyo ajuste fue satisfactorio ( $R^2 = 0.905$  y  $\alpha > 0.0001$ ):

$$dc = 1.437445688 + 0.1623921148d$$

Área de copa individual. Con los valores de los  $b$ 's se tiene la siguiente ecuación:

$$ac = \frac{\pi}{4} (1.437445688 + 0.1623921148d)^2$$

Si se redefine al  $ac$  por  $amci$ , al sustituir la ecuación para estimar el diámetro de copa por el diámetro de copa de árboles que crecen sin competencia y al desarrollar el binomio cuadrado, se genera la siguiente expresión (Krajicek *et al.*, 1961):

of trees per surface unit under a normal distribution, and the sample is not always representative of the center of the normal distribution bell curve. As for the variation in the line's slope, it is equally attributed to the different development conditions of each species and to the relationship to the distribution between the stand and the existing density.

The intercept to estimate the number of trees given by the *RSDI* refers to the system of curves generated from the reference curve; thus, new baseline intercepts are defined by moving the regression line while maintaining the slope for any density index. Resolution of the model for an example of a *RSDI* of 700 and a 25 cm square diameter will yield the intercept, by means of which the number of trees  $ha^{-1}$  will be estimated.

$$\log 700 = -1.534711 + b_1 \log(25) + b_0$$

$$\log 700 + (-1.534711 * \log 25) = b_0$$

$$2.84509 + 2.1454 = b_0$$

$$4.9905 = b_0$$

Estimation of the basal area per hectare. It is obtained from the equation of the number of trees per hectare and the basal area in square meters of individual trees of a given square diameter; the following expression is utilized to this end:

$$abh^{-1} = (105\ 550.708 D_q^{-1.534711}) \left( \frac{0.7854 D_q^2}{10\ 000} \right)$$

Crown Competition Factor. The stem diameter at the height of 1.3 m and the average crown diameter of 131 isolated trees were utilized for estimating the CCF.

Crown diameter/normal diameter ratio. A linear regression was performed in order to estimate the crown diameter ( $cd$ ) based on the normal diameter ( $d$ ); the following expression, with a satisfactory adjustment ( $R^2 = 0.905$  and  $\alpha > 0.0001$ ), was obtained for each diameter category:

$$dc = 1.437445688 + 0.1623921148d$$

Individual crown area. The following expression was obtained with the values of  $b$ 's:

$$ac = \frac{\pi}{4} (1.437445688 + 0.1623921148d)^2$$

If the  $ca$  is defined by the  $mca$ , the following expression results of the substitution of the equation to estimate the crown diameter for the crown diameter of trees growing without competition, as well as of the development of the square binomial (Krajicek *et al.*, 1961):

$$amci = 0.7854(1.437445688 + 0.1623921148d)^2$$

$$amci = 1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2$$

Donde:

$amci$  = Área máxima de copa individual (m<sup>2</sup>).

Espacios de crecimiento ( $ec\%$ ), número de árboles por hectárea ( $nah^{-1}$ ) y área basal por hectárea ( $abh^{-1}$ ). Una vez creada la ecuación del  $amci$  se estimaron los espacios de crecimiento que teóricamente ocuparían los árboles de categorías diamétricas dadas, cuyo crecimiento estaría libre de competencia, así como el número de árboles y área basal por hectárea.

$$ec\% = \left( \frac{1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2}{100} \right)$$

El número de árboles por hectárea se estima de acuerdo a la siguiente expresión:

$$nah^{-1} = \frac{10\,000}{\left( \frac{1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2}{100} \right)}$$

Por último, para calcular el área basal por hectárea, se usó la siguiente expresión:

$$abh^{-1} = \left( \frac{\pi}{4} \left( \frac{d}{100} \right)^2 \right) \left( \frac{10\,000}{\frac{1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2}{100}} \right)$$

Donde:

$ec\%$  = Espacios de crecimiento (%)  
 $nah$  = Número de árboles  $ha^{-1}$   
 $abh$  = Área basal  $m^2 ha^{-1}$

Cálculo del factor de competencia de copas ( $FCC$ ).

$$FCC = \sum_{i=1}^n ec\%$$

Para  $i = 1, 2, 3, \dots$  hasta el número de árboles en una hectárea tipo.

Dicha expresión es equivalente a la siguiente:

$$FCC = \frac{1}{A} \left( 0.00162283283 \sum_{i=1}^n ma_i + 0.003666716 \sum_{i=1}^n d_{i,n,a} + 0.0002071194 \sum_{i=1}^n d_i^2 na_i \right)$$

Donde:

$A$  = Área ocupada por el rodal tipo (1 hectárea)  
 $d_i$  = Diámetro normal medio de la  $i$ -ésima categoría diamétrica  
 $na_i$  = Número total de árboles en la parcela considerada

$$amci = 0.7854(1.437445688 + 0.1623921148d)^2$$

$$amci = 1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2$$

Where:

$amci$  = Maximum individual crown area (m<sup>2</sup>).

Growth spaces ( $gs\%$ ), number of trees per hectare ( $nth^{-1}$ ) and basal area per hectare ( $bah^{-1}$ ). Once the *mica* equation had been created, estimations were made for the growth spaces that would theoretically be occupied by trees of given diameter category whose growth would be free of competition, as well as for the number of trees and basal area per hectare.

$$ec\% = \left( \frac{1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2}{100} \right)$$

The number of trees per hectare was estimated according to the following expression:

$$nah^{-1} = \frac{10\,000}{\left( \frac{1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2}{100} \right)}$$

Finally, the following expression was utilized to estimate the basal area per hectare:

$$abh^{-1} = \left( \frac{\pi}{4} \left( \frac{d}{100} \right)^2 \right) \left( \frac{10\,000}{\frac{1.62283283 + 0.3666716d + 0.02071194d^2}{100}} \right)$$

Where:

$ec\%$  = Growth spaces (%)  
 $nah$  = Number of trees  $ha^{-1}$   
 $abh$  = Basal area  $m^2 ha^{-1}$

Estimation of the crown competition factor (CCF). This is done using the following expression:

$$FCC = \sum_{i=1}^n ec\%$$

For  $i = 1, 2, 3, \dots$  up to the number of trees in a typical hectare.

This expression is equivalent to the following equation:

$$FCC = \frac{1}{A} \left( 0.00162283283 \sum_{i=1}^n ma_i + 0.003666716 \sum_{i=1}^n d_{i,n,a} + 0.0002071194 \sum_{i=1}^n d_i^2 na_i \right)$$

Where:

$A$  = Area occupied by the typical stand (1 hectare)  
 $d_i$  = Mean normal diameter of the  $i$ <sup>th</sup> diameter category  
 $na_i$  = Total number of trees in the evaluated plot

Incrementos para la densidad mínima aceptable. La posición y tendencia de la línea "C" que representa la densidad mínima aceptable se definió a partir de incremento corriente anual (ICA) diamétrico extrapolados en 10 años y el tiempo de paso (TP) por categoría diamétrica (Cd), según la expresión:

$$ICA \text{ en diámetro} = 10 * \left( \frac{Cd}{TP \text{ (años)}} \right)$$

Para establecer el diámetro normal de la línea "C" se restó el incremento corriente anual en 10 años a la categoría diamétrica correspondiente a la línea "B"; por tratarse de la densidad deseada en un periodo de 10 años y con esos valores se precisó el diámetro normal para así calcular el área basal ha<sup>-1</sup> y los árboles ha<sup>-1</sup>, y mediante la unión de valores se ubicó la posición y tendencia de la línea.

Construcción de la guía de densidad definitiva. Se utilizaron las ecuaciones creadas para el Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR), las cuales definen la línea de máxima densidad de 100% ("Línea A") que separa el intervalo de densidad relativa, considerada como plenamente poblada del intervalo sobre-poblado. Se estiman los diversos grados de densidad con base en los resultados consignados para IDRR, de acuerdo a la metodología propuesta por Gingrich (1967).

Para la línea de densidad mínima ("B"), dibujada a un porcentaje del IDRR (42.1%) de la densidad máxima (basado en el diámetro cuadrático de referencia de 25 cm) que especifica cuándo un rodal tiene una densidad suficiente o deficiente, se logra según los valores generados con las ecuaciones derivadas del Factor de Competencia de Copas (FCC) para el número de árboles y área basal. Los resultados para el caso del IDRR y el FCC se muestran en el Cuadro 1.

La línea "C" que representa la densidad mínima aceptable, se obtuvo con base en los incrementos diamétricos promedios por categoría, al dar valores entre 38 y 25% respecto a la densidad máxima aceptable, lo cual expresa los valores del área basal, el diámetro cuadrático promedio y el número de árboles por hectárea, así como de densidad, para el óptimo desarrollo del rodal; se creó la guía de densidad propuesta (Figura 1).



Increases in the minimum acceptable density. The position and tendency of line "C", which represents the minimum acceptable density, was defined based on the current annual increase in diameter (CAI) extrapolated from 10 years and the time passed (TP) by diameter category (Dc), according to the following expression:

$$ICA \text{ en diámetro} = 10 * \left( \frac{Cd}{TP \text{ (años)}} \right)$$

In order to establish the normal diameter of line "C", the current annual increase for 10 years was subtracted from the diameter category corresponding to line "B"; because what was being estimated was the desired density, the normal diameter was estimated for a period of 10 years based on the obtained values, in order to calculate the basal area ha<sup>-1</sup> and the number of trees ha<sup>-1</sup>. Also, the position and tendency of the line were given by the union of values.

Construction of the final density management guide. The equations created for Reineke's Stand Density Index (RSDI) were used; these determine the maximum density line (Line "A") at 100%, dividing the relative density range, considered as fully populated, from the overpopulated range. The various degrees of density are estimated based on the results recorded for RSDI, according to the methodology proposed by Gingrich (1967).

The minimal density ("B"), drawn at a percentage of RSDI (42.1% of the maximum density, based on the 25 cm reference square diameter) specifying when the density of a stand is sufficient or deficient, is obtained according to the values generated with the equations derived from the Crown Competition Factor (CCF) for the number of trees and basal area. The results for RSDI and CCF are shown in Table 1.

Line "C", representing the minimum acceptable density, was based on the average increases in diameter by category, with values of 38 and 25% with respect to the maximum acceptable density, expressing the basal area, mean square diameter and number of trees per hectare, as well as the density for the optimal development of the stand; the proposed density management guide was created (Figure 1)

#### Density guide management

Figure 1 shows overpopulation above line "A"; this reflects the need to apply a silvicultural treatment in order to reduce the density and to open spaces.

Between lines "A" and "B", where all growth space is utilized, all the stands will have a full or thick density.

Cuadro 1. Diámetro de copa ( $dc$ ), área máxima de copa individual ( $amci$ ), número de árboles por hectárea ( $nah^{-1}$ ) y área basal por hectárea ( $abh^{-1}$ ) para *Pinus teocote* Schlecht. *et* Cham. estimados a partir del IDRR y FCC en la parte oriente de Hidalgo.  
 Table 1. Crown diameter ( $cd$ ), maximum individual crown area ( $mica$ ), number of trees per hectare ( $nth^{-1}$ ) and basal area per hectare ( $bah^{-1}$ ) for *Pinus teocote* Schlecht. *et* Cham. estimated from RSDI and CCF in eastern Hidalgo.

$Dq$	IDRR			FCC			
	$nah^{-1}$	$abh^{-1}$	$d$	$dc$	$amci$	$nah^{-1}$	$Abh^{-1}$
5	8 928	17.53	5	3.97	0.04	2 516	4.94
10	3 081	24.20	10	7.36	0.07	1 359	10.67
15	1 654	29.23	15	11.78	0.12	849	15.00
20	1 064	33.41	20	17.24	0.17	580	18.22
25	755	37.07	25	23.73	0.24	421	20.68
30	571	40.35	30	31.26	0.31	320	22.61
35	451	43.35	35	39.83	0.40	251	24.16
40	367	46.13	40	49.43	0.49	202	25.42
45	306	48.73	45	60.06	0.60	166	26.48
50	261	51.18	50	71.74	0.72	139	27.37
55	225	53.50	55	84.44	0.84	118	28.14
60	197	55.71	60	98.19	0.98	102	28.80
65	174	57.82	65	112.96	1.13	89	29.37
70	156	59.85	70	128.78	1.29	78	29.88
75	140	61.80	75	145.63	1.46	69	30.34
80	127	63.69	80	163.51	1.64	61	30.74
85	115	65.51	85	182.43	1.82	55	31.10
90	106	67.27	90	202.39	2.02	49	31.43
95	97	68.99	95	223.38	2.23	45	31.73
100	90	70.65	100	245.41	2.45	41	32.00

## Manejo de las guías de densidad

La Figura 1 indica que arriba de la línea "A" existe una sobrepoblación, esto refleja la necesidad de aplicar un tratamiento silvícola para disminuirla y lograr la apertura de espacios.

Entre el área de la línea "A" y la línea "B", donde se utiliza todo el espacio de crecimiento, todos los rodales serán de densidad completa o cerrada.

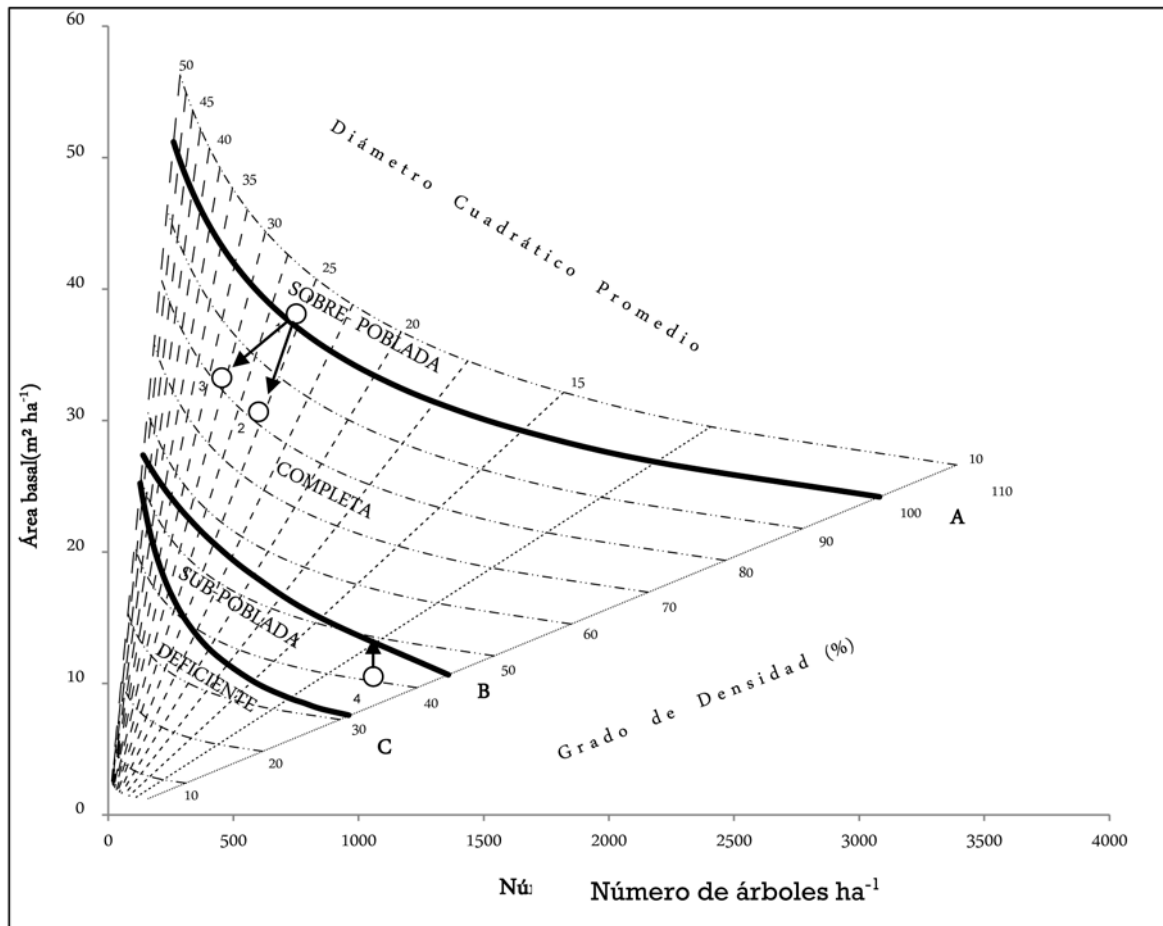
En relación con la parte baja de la línea "B" se tiene un rodal subpoblado, en el cual se espera que en el transcurso de 10 años alcance la densidad completa mínima o la línea "B". Para el caso de la línea "C", por debajo de ella, el rodal presenta una deficiencia de densidad; en consecuencia, se necesitarían tratamientos para aumentarla.

La guía de densidad se emplea para prescribir tratamientos silvícolas. En la Figura 1 del ejemplo (1), si se tiene un área basal de 37.07 m<sup>2</sup> y 755 árboles por hectárea, con un diámetro promedio de 25 cm (valor de la máxima densidad aceptada) se puede seguir la línea de 25 cm hacia abajo a un nivel de densidad de 80% y establecer un área basal de 33.36 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> para mantener completa la densidad a ese diámetro promedio; por lo tanto, la aplicación de tratamientos silvícolas

Beneath line "B" is an underpopulated stand, which is expected to attain in 10 years the minimum full density, or line "B". And beneath line "C", the stand has a deficient density; treatments will be required to increase it.

The density management guide is used for prescribing silvicultural treatments. In Figure 1 of example (1), if the basal area is 37.07 m<sup>2</sup>, with 755 trees per hectare in a 25 cm average diameter (i.e. the maximum accepted density), the 25 cm line can be followed downward to an 80% density level, and a basal area of 33.36 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> can be established to maintain a full density at that average diameter. Therefore, the application of silvicultural treatments allows removing 3.71 m<sup>2</sup> of the basal area, or else, leaving 680 trees per ha<sup>-1</sup> with the same average diameter, and thus, changing the basal area (2) or eliminate 298 trees with different diameters in order to attain a 30 cm average diameter with a basal area of 32.28 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> at the same density level (3), so as to direct the latter toward the development and growth of the mass through a full utilization of the site, or to produce wood efficiently according to the silvicultural objectives.

On the other hand, with a basal area and a density below the minimum, or level "B", the forest mass must be left for a longer time untouched, without silvicultural intervention, until it reaches the desired density and surmounts level "B"; also, the



Diámetro Cuadrático Promedio = Mean Square Diameter; Grado de Densidad (%) = Degree of Density (%); Sobre-Poblada = overpopulated; Completa = Full; Sub-Poblada = Underpopulated; Deficiente = Deficient

Figura 1. Guía para manejo de densidad de rodales puros de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en la parte oriente del estado de Hidalgo.

Figure 1. Density management guide for *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. pure stands in eastern Hidalgo.

permiten remover 3.71 m<sup>2</sup> de área basal o dejar 680 árboles por ha<sup>-1</sup> del mismo diámetro promedio y con ello cambiar el área basal (2) o eliminar 298 árboles de diferentes diámetros para lograr un diámetro promedio de 30 cm con área basal de 32.28 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> en el mismo nivel de densidad (3), a fin de orientar este último al desarrollo y crecimiento de la masa mediante el uso completo del sitio, o producir madera de forma eficiente según los objetivos silvícolas.

Por otra parte, cuando se tiene un área basal y una densidad inferior a la línea de mínima densidad o nivel "B", deberá dejarse más tiempo la masa forestal sin intervención silvícola hasta que alcance la densidad deseada y sobreponga este nivel "B", así como orientar el rodal a ocupar de manera efectiva la superficie en el lugar (4).

## CONCLUSIONES

La guía de densidad obtenida relaciona índices cuantitativos que permiten comparar el grado de densidad y las variables

stand must be oriented toward a more effective occupation of the surface in the area (4).

## CONCLUSIONS

The density management guide thus obtained interrelates quantitative indices that allow comparisons between the degree of density and the mensuration variables in pure *Pinus teocote* stands within the determined density ranges. It is thereby possible to prescribe silvicultural treatments and support the decisions of forestry experts without losing sight of their limitations and their nature as support tools.



dasométricas en rodales puros de *Pinus teocote* dentro de los intervalos de densidad determinados, lo cual hace posible prescribir tratamientos silvícolas y apoyar las decisiones de los silvicultores, sin perder de vista sus limitaciones y su carácter de herramienta de apoyo.

La guías de densidad construidas representan un soporte para planificar diferentes opciones de manejo de la densidad de rodales puros de *Pinus teocote* en la región oriente del estado de Hidalgo.

La metodología aplicada es confiable para definir los límites de variación natural de la densidad en la especie para la región; los modelos utilizados muestran la capacidad tanto explicativa como predictiva como base para el manejo forestal. 🍃

## REFERENCIAS

- Acosta M., M. F. A. Carrillo y O. T. Magaña. 2007. Aplicación práctica de una guía de densidad en rodales naturales y plantaciones forestales del estado de Hidalgo. Folleto Técnico No. 7. INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro. Pachuca, Hgo. México. 23 p.
- Aguirre C., O. y J. P. Jiménez. 1992. Índice de densidad del rodal de Reineke para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en Nuevo León. In: II Simposio Regional de Biología. Cd. Victoria, Tamaulipas. México. p. 13.
- Aguirre C., O. y J. P. Jiménez. 1994. Índice de densidad del rodal de Reineke para *Pinus teocote* Sch. et Cham. en Nuevo León. In: II Simposio Regional de Biología y Ecología, Tampico, Tamps. México. 7 p.
- Aguirre C., O., M. G. Vega y L. P. Jiménez. 1994. Guía de densidad para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en Nuevo León. In: Memorias del Simposio y II Reunión Nacional de Silvicultura y Manejo de los Recursos Forestales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. México. pp. 43.
- Alonso G., L. 1996. Guía de densidad para *Pinus rudis* Endl. en Arteaga, Coah. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Coah. México. 76 p.
- Andenmatten, E., M. Rey y F. Letourneau. 2000. Índice de Densidad de Rodales de Reineke para Pino oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) en la región Andino Patagonia. Informe Técnico 11. Área de Investigación en Recursos Forestales. Centro Regional Patagonia Norte. Bariloche, Río Negro Argentina. pp. 229-233.
- Cano C., J. 1988. El sistema de manejo regular de los bosques en México. Fundamentos de Silvicultura y su aplicación práctica. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México. 222 p.
- Chauchard, L. M. 2001. Crecimiento y producción de repoblaciones de *Pinus radiata* D. Don en el territorio histórico de Guipúzcoa (País Vasco). Tesis doctorales N° 40 Departamento de Agricultura y Pesca. Gobierno del País Vasco. País Vasco, España. 173 p.
- Chisman, H. H. and F. Schumacher. 1940. On the tree-area ratio and certain of its applications. J. Forest. Vol. 38 (4): 311-317.
- Comisión Nacional Forestal. (Conafor). 2011. Estudio regional forestal. Unidad de Manejo Forestal 1303. Asociación de Productores Forestales de la Región Pachuca-Tulancingo A. C. Tulancingo, Hgo., México. pp. 94-105.
- Clutter, J. L., C. J. Fortson, V. L. Pineaar, H. G. Brister and L. R. Bailey. 1983. Timber management, a quantitative approach. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. USA. 333 p.
- Curtis, R. O. 1970. Stand density measures and interpretation. Forest Sci. 16 (4):403-414.
- Daniel, T. W., A. J. Helms y S. F. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Editorial McGraw-Hill. México, D.F. México. 482 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010. Informe principal. Roma Italia. 346 p.
- Fassola, H. E., A. F. Moscovich, P. Ferrere, M. C. Domecq, H. Hampel, C. Maletti y D. Alegranza. 2004. Regulación de la densidad en rodales de *Grevillea robusta* A. Cunn. para la producción de madera de calidad y forraje en el sur de la Provincia de Misiones. Revista de Investigaciones Agropecuarias 33 (1):15-37.
- García, E. 1988. Modificación del sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 217 p.
- Gezan, S. A., A. Ortega y E. Aendermatten. 2007. Diagramas de manejo de densidad para renovales de roble, raulí y coigüe en Chile. Bosque. 28:97-105.
- Gingrich, S. F. 1967. Growth and yield in uneven aged silviculture and management in the United States. USDA Forest Service. Washington, DC. USA. pp. 115-124.
- Husch, B., C. Miller and T. Beers. 1982. Forest mensuration. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. USA. 402 p.
- Husch, B., C. Miller and T. Beers. 1993. Forest mensuration. Krieger Publishing Co. Malabar, FL USA. 410 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 1992. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F. México. 134 p.
- Krajicek, E. J., A. K. Brinkman and S. F. Gingrich. 1961. Crown competition, a measure of density. Forest Sci. 16 (1):5-42.
- Montero M., M., H. M. De los Santos-Posadas y M. Kanninen. 2007. *Hyeronima alchorneoides*: ecología y silvicultura en Costa Rica Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE No. 354. Turrialba. Costa Rica. 50 p.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. J. Agric. Res. 46 (7): 627-638.
- Rodríguez L., R., R. Z. Razo, D. H. Díaz y J. R. Meza. 2009. Guía de densidad para *Pinus montezumae* en su área de distribución natural en el Estado de Hidalgo. Folleto Técnico No. 1. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Área Académica de Ingeniería Forestal. Tulancingo de Bravo, Hgo. México. 31 p.
- Santiago-García, W., H. M. De los Santos-Posadas, G. Angeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde, D. H. Del Valle-Paniagua y J. J. Corral-Rivas. 2013. Auto-aclareo y guías de densidad para *Pinus patula* mediante enfoque de regresión de frontera estocástica. Agrociencia 47: 75-89.
- Softonic Inc. s/f. IBM SPSS Statistics version 17.0 (<http://softonic.com/s/spss-statistics-17-espa%C3%Blol>) (octubre, 2011).
- Torres R., J. M. 2000. El área de ocupación promedio: una medida de competencia independiente de la distancia. Agrociencia 34: 485-495.

*End of the English version*





Torres R., J. M. y O. S. Magaña. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa. México, D.F. México. 472 p.  
Toumey, J. W. and F. C. Korstian. 1947. Foundations of silviculture. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. USA. 469 p.  
Velásquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2009. Bosques Mexicanos. World Wildlife Fund. México, D.F. México.  
Valencia V., J. 1988. Utilización del Índice de Densidad de Reineke en *Pinus douglasiana* en Atenquique, Jalisco. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan del Progreso, Mich. México. 39 p.

Yoda Kira, K. T., H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands Under Cultivated and natural conditions. Journal of Biology. 14: 107-129.  
Zeide, B. 2004. Optimal stand density: a solution. Can. Jour. For. Res. 34: 846-854.  
Zepeda B., E. M. 1984. Ejemplificación de tres procedimientos para caracterizar rodales por su densidad. Serie de Apoyos Académicos No. 34, Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. Chapingo, Edo. de Mex. México. 57 p.  
Zepeda B., E. M. y E. M. D. Villarreal. 1987. Guía de densidad para *Pinus hartwegii* Lindl. de Zoquiapan, México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Mex. México. 52 p.





