



ARTÍCULO / ARTICLE

MODELIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. EN EL NORESTE DE MÉXICO

GROWTH MODELLING OF *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. IN NORTHEASTERN MEXICO

Oscar Alberto Aguirre Calderón¹

RESUMEN

Modelar el crecimiento forestal facilita la estimación de la productividad de estos ecosistemas y el aprovechamiento de una especie en función de la calidad de sitio y del tratamiento silvícola. Con ello se obtienen datos prácticos sobre el crecimiento característico promedio y es factible hacer una estimación rápida y poco costosa del volumen y el desarrollo de los rodales. En este trabajo se elaboraron curvas de índice de sitio y tablas de producción para rodales densos de *Pinus teocote* en el noreste de México. Los datos proceden de la medición de 280 árboles dominantes y del inventario de 66 sitios temporales de muestreo. Se construyó un diagrama de cinco curvas de índice de sitio con el método de la curva guía aplicado a la función de Richards, con una edad de referencia de 50 años. La metodología empleada para la construcción de las tablas es la de Magin modificada con base en intervalos de altura. Las relaciones entre los parámetros más importantes de los rodales se determinaron mediante ecuaciones de regresión. Los resultados indican que el método es adecuado para generar de forma sencilla herramientas simples para la gestión de esos rodales. El incremento medio anual de la especie varía entre 2.1 y 9.5 m³ ha⁻¹.

Palabras clave: Curva guía, índice de sitio, Tablas de producción, *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., México.

ABSTRACT

Modelling forest growth facilitates the estimation of the productivity of these ecosystems and the use of a species based on site quality and silvicultural treatment. This will provide practical information on average and characteristic growth and is feasible to make a fast and inexpensive estimate of the volume and the development of the stands. This paper deals with the development of site index curves and yield tables for pure, dense stands of *Pinus teocote* in northeastern Mexico. Data were obtained from the measurement of 280 dominant trees and 66 temporary sampling plots. A family of five anamorphic site index curves were fitted using the guide curve method with the Richards function and the reference age of 50 years. Magin's methodology modified to consider dominant height intervals was used to construct the yield tables. The relationship between the main stand parameters were determined using regression equations. Results show that this approach is satisfactory to obtain a simple and effective management tool for these stands. The mean annual increment varies from 2.1 to 9.5 m³ ha⁻¹.

Key words: Site index, yield tables, *Pinus teocote* Schltdl. et Cham, Mexico

INTRODUCCIÓN

La modelización del crecimiento forestal posibilita la estimación de la productividad de los ecosistemas forestales y el aprovechamiento de los rodales de una especie en particular a lo largo de su vida, en función de la calidad de sitio y el tratamiento silvícola aplicado. Estos modelos constituyen un instrumento muy adecuado para obtener datos prácticos sobre el crecimiento característico promedio de las especies forestales, y posibilitan, además, una estimación rápida y poco costosa del volumen y el desarrollo de los rodales (Gadow y Hui, 1999).

En la modelización del crecimiento de árboles y rodales se emplea, en la mayoría de los países con mayor desarrollo en la actividad forestal, información proveniente de sitios permanentes de muestreo, de estos se han establecido en México apenas para algunas especies en épocas recientes, por lo que aún no es factible derivar conclusiones suficientes sobre el crecimiento de los rodales bajo diferentes tratamientos y en sitios con distinta productividad. Por lo anterior, en el presente trabajo se emplea un método para la elaboración de tablas de producción con base en datos de sitios temporales de muestreo y mediciones en árboles individuales. La especie objeto de estudio fue *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., para la cual no se dispone, actualmente, de sitios permanentes de muestreo con observaciones por un período largo, ni de registros de aprovechamientos anteriores y sus consecuencias en el crecimiento de árboles o rodales en el noreste del país. Se utilizaron las relaciones probabilísticas denominadas por Assmann (1961) "relaciones fundamentales I y II", conocidas también como "1a y 2a leyes de la producción forestal". La relación fundamental (I) que se expresa mediante la función $H = f(t)$, donde H es la altura dominante y t la edad, supone que los rodales tendrán un determinado desarrollo de la altura en función de la edad, y se determina para cada índice de sitio. Dado que esta relación usa los parámetros altura y edad para la clasificación de los rodales en un diagrama de curvas de calidad de sitio, fue designada por Assmann como "relación de clasificación".

La relación fundamental II se expresa mediante la función: $V_t = f(H)$ donde V_t es la producción total. En ella se indica que para una altura dominante dada se alcanza una producción total específica. Esta relación, denominada también "ley ampliada de Eichhorn", Assmann la nomina "relación auxiliar", y expresa el nivel de producción de una especie en un área dada.

De las relaciones fundamentales I y II se deriva la función $V_t = f(t)$ denominada por Assmann "relación final". Mediante esta se determina la producción total correspondiente para cada índice de sitio a una edad específica. El incremento corriente anual para diferentes períodos y el incremento medio anual a cualquier edad, igualmente se calculan a partir de la relación final.

La producción total, rendimiento o crecimiento total, es el volumen total generado por un rodal desde su establecimiento

INTRODUCTION

Forest growth modelling allows the estimation of the productivity of these ecosystems and the use of stands of a particular species throughout their life, depending on site quality and the silvicultural treatment. These models are a suitable instrument for practical information on average characteristic growth of forest species, and allow in addition, a fast and inexpensive estimate of the volume and development of stands (Gadow and Hui, 1999).

In most countries with greater development in forestry, information from permanent sample plots in shaping the growth of trees and stands is used; this kind of plots have been established in Mexico just for some species in recent times, and so it is not possible yet to draw conclusions on the growth of stands under different conditions and with different productivity sites.

Therefore, in this paper is described the use of a method to produce a yield table based on temporary sampling plots and measurements on individual trees. The tested species was *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., for which there is no currently permanent sample with observations for a long period or previous harvest records and its impact on the growth of trees or stands in northeastern Mexico. Probabilistic relationships were used called by Assmann (1961) "fundamental relations I and II", also known as "1st and 2nd laws of forest yield". The first one (I) which is expressed by the function $H = f(t)$, where H is the dominant height and t is age, assumes that stands have a certain development in height depending on age and it is determined for each site index. As height and age are used to classify stands in a diagram of curves of site quality, Assmann named them "classification relation".

The basic relation II is expressed by the function $V_t = f(H)$ where V_t is the total production. This points out that for a determined dominant height a specific total production is reached. This has been called "extended Eichhorn law", which Assmann names it "auxiliary relation" and express the level of production of a species in a given area.

From the basic relations I and II is derived the function $V_t = f(t)$ named by Assmann "final relation". By it, the total production correspondig to each site index for a specific age is determined. The current annual increment for different periods and the average annual increment at any age, and in the same way are calculated starting from the final relation.

The total production or total yield or growth is the total volume generated by a stand since its establishment to the time in which the measurement is made. In a stand, the total production is the sum of the standing volume and the extracted one by thinning or natural mortality (Kramer, 1988; Pretzsch, 2009).

Both in practice and in forestry research, the method proposed by Magin (1963, 1971) has great application, mainly to estimate

hasta el momento en que se realiza la medición. En un rodal, la producción total corresponde a la suma del volumen en pie y el extraído por aclareos o mortandad natural (Kramer, 1988; Pretzsch, 2009).

Tanto en la práctica como en la investigación forestal, el método propuesto por Magin (1963, 1971) tiene gran aplicación, principalmente, para estimar la producción total de los rodales y en la construcción de tablas de producción (Carvalho, 1985; Nagel, 1985; Zhang, 1988; Aguirre, 1991; Lee, 1994; Gatzojannis, 1999). El método de Magin permite determinar la producción total de una serie de rodales, cuyas edades están a lo largo del turno, con ayuda de los datos que se obtienen en un inventario convencional para manejo forestal, sin mediciones adicionales, y sin conocimiento de los volúmenes extraídos anteriormente. El método se usó como fundamento para el logro del objetivo del trabajo, esto es, la determinación del crecimiento de *Pinus teocote* en diferentes condiciones de productividad y la construcción de tablas de producción para el noreste de México, como apoyo a la toma de decisiones para el manejo forestal sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se localiza en el estado de Nuevo León, en la Sierra Madre Oriental. Comprende las áreas boscosas de los municipios Iturbide y Galeana, localizados geográficamente entre 24°22' y 24°55' latitud norte y entre 99°45' y 100°00' longitud oeste. La región se extiende en un intervalo altitudinal de 1 200 a 2 200 m y presenta un clima templado semiseco con grandes diferencias microclimáticas. La precipitación media anual fluctúa entre 400 y 600 mm. La temperatura media anual de 12 °C a 18 °C. En el área ocurren principalmente bosques mixtos de pino-encino. *Pinus teocote* conforma rodales puros y coetáneos, y es una de las especies de pino más importantes para la economía regional.

Información de campo

Para la elaboración del diagrama de curvas de índice de sitio se obtuvieron datos de altura y edad de 280 árboles dominantes, distribuidos en sitios de diferente productividad en el área de estudio.

El crecimiento de *Pinus teocote* se evaluó en 66 sitios temporales de muestreo establecidos en rodales con características de alta densidad, pureza y coetaneidad. Los sitios debieron cubrir los distintos índices de sitio y el mayor intervalo de edad posible para cada condición de productividad. El método de inventario fue el de sitios circulares de muestreo de 500 m².

En cada parcela de muestreo se elaboró una descripción de las características del sitio y del rodal y se registraron los siguientes parámetros: altura del árbol dominante, árbol más alto del sitio; altura del árbol medio, árbol con las dimensiones

the total production of the stands and in the construction of yield tables (Carvalho, 1985, Nagel, 1985, Zhang, 1988; Aguirre, 1991; Lee, 1994; Gatzojannis, 1999). The Magin method allows to determine the total yield of a number of stands whose ages are along the rotation, with the help of the data obtained in conventional forest management inventory, without additional measurements, and without knowledge of the volumes removed earlier. The method was used as the basis for achieving the objective of the work, ie the determination of the growth of *Pinus teocote* under different productivity conditions and the construction of yield tables for northeast Mexico, to support the decision making of sustainable forest management.

MATERIALS AND METHODS

Study area

It is located in the state of Nuevo Leon, in the Sierra Madre Oriental. It includes forested areas at Iturbide and Galeana municipalities, geographically located between 24 ° 22 'and 24 ° 55' north and between 99 ° 45 'and 100 ° 00' west. The region stretches in an altitudinal range from 1 200 to 2 200 m and has a temperate climate with large semi microclimatic differences. The average annual rainfall ranges from 400 to 600 mm. The average annual temperature is 12 ° C to 18 ° C. mainly mixed pine-oak forests are found in the area. *Pinus teocote* forms pure and even-aged stands, and is one of the most important pine species for the economy of the region.

Field information

Data of height and age from 280 dominant trees distributed in different productivity sites in the study area were used to prepare the site index curves.

Pinus teocote growth was assessed at 66 temporary sampling plots established in stands with characteristics of high density, purity and coetaneity. Sites must cover the various site indexes and the possible greatest age range for each productivity condition. The inventory method consisted of 500 m² circular sampling plots.

In each sampling plot a description of the site and stand was made and the following parameters were recorded: dominant tree height, the highest tree of the site, high of the average tree, tree with the representative dimensions of the site; corresponding to the tree with average basal area; diameter at 1.30 m high of the total number of trees; and the age of the dominant tree and of the average tree, by the extraction of increment cores at the stump height.

Production tables were made for light or weak thinning and extracted mass that included only dead and oppressed individuals of the same age of the standing mass. In order to have the data to determine the *k* factors, the dimensions of the average trees were measured (volume, diameter and height) and the trees of the same age to be removed

representativas del sitio; corresponde aproximadamente al árbol con el área basal media; diámetro a la altura de 1.3 m de la totalidad de los árboles; y edad del árbol dominante y del árbol medio, mediante la extracción de cilindros de incremento a la altura del tocón.

Las tablas de producción se formularon para aclareos ligeros o débiles, ya que en la masa extraída se incluyeron solo los individuos muertos y oprimidos de la misma edad de la masa en pie. A fin de contar con los datos para determinar los factores k , se midieron las dimensiones de los árboles medios (volumen, diámetro y altura) y las de los árboles de la misma edad próximos a ser extraídos (muertos y oprimidos) en 66 sitios de muestreo distribuidos en forma homogénea en todo el intervalo del diámetro.

Elaboración del diagrama de curvas de índice de sitio

A partir de los datos de edad y altura de los árboles dominantes, se construyó un diagrama de curvas de índice de sitio con el método de la curva guía (Clutter *et al.*, 1983; Davis *et al.*, 2001; Laar y Akça, 2007). La relación:

$$H = f(t, S)$$

Donde:

H = Altura dominante

T = Edad

S = Índice de sitio

Se investigó el ajuste de diferentes ecuaciones con utilizando procedimientos de regresión. A partir de la curva guía obtenida se construyeron las curvas de índice de sitio adicionales, para lo cual se calculó la asíntota, en el intervalo de dispersión de los datos originales (Sánchez *et al.*, 2003). El índice de sitio se definió como la altura dominante a la edad de 50 años.

Cálculo de la producción total

La producción total se estimó con la fórmula de Magin modificada (Aguirre, 1991). En esta ecuación se sustituyeron los períodos de edad por intervalos de altura:

$$V_{t_{Hn}} = V_{H_n} + \sum_{H_a}^{H_n} \Delta N s \cdot Vm \left(\frac{s}{2} \right) \cdot k \quad (1)$$

Donde:

$V_{t_{Hn}}$ = Producción total a una altura dominante dada (m^3)

V_{H_n} = Volumen en pie a la altura H_n (m^3)

(dead and oppressed) in 66 sampling sites evenly distributed throughout the range of the diameter.

Diagram development of the site index curves

From the data of age and height of the dominant trees, a diagram of site index curves was built with the guide curve method (Clutter *et al.*, 1983; Davis *et al.*, 2001; Laar and Akça, 2007). The developed relationship was:

$$H = f(t, S)$$

Where:

H = Dominant height

T = Age

S = Site index

The fitness of different equations by regression procedures was analyzed. From the obtained guide curve, additional curves of the site index were constructed, for which the asymptote was calculated in the range of dispersion of the original data (Sánchez *et al.*, 2003). Site index was defined as the dominant height at the age of 50 years.

Calculation of total production

Total production was estimated with the modified formula of Magin (Aguirre, 1991). In this equation is replaced in the age periods by height intervals:

$$V_{t_{Hn}} = V_{H_n} + \sum_{H_a}^{H_n} \Delta N s \cdot Vm \left(\frac{s}{2} \right) \cdot k \quad (1)$$

Where:

$V_{t_{Hn}}$ = Total production of a given dominant height (m^3)

V_{H_n} = Standing volume at height H_n (m^3)

$\Delta N s$ = Difference in the number of trees per ha in the height range

$Vm \left(\frac{s}{2} \right)$ = Volume of the average tree at half of the height range (m^3)

H_a = Initial height (m)

$\Delta N s$ = Diferencia en el número de árboles por ha en el intervalo de altura S

$V_m \left(\frac{s}{2} \right)$ = Volumen del árbol medio en la mitad del intervalo de altura S (m³)

H_a = Altura inicial (m)

H_n = Altura a la que se determina V_i (m)

k = Factor de corrección de Magin

Los datos básicos para la aplicación de la fórmula de Magin modificada son el número de árboles por ha (N) y el volumen en pie (V) para diferentes alturas dominantes. Estos valores se calcularon independientemente del índice de sitio mediante las relaciones:

$$\begin{aligned} N &= f(H) \\ V &= f(H) \end{aligned}$$

El volumen se determinó empleando las tablas elaboradas por Jiménez (1988) para *Pinus teocote*. Para representar en forma numérica las relaciones anteriores y obtener de ellas las curvas de desarrollo del número de árboles por hectárea y del volumen en pie, se probaron diversas ecuaciones de regresión con respecto a su bondad de ajuste. La relación fundamental II:

$$V_i = f(H)$$

Se determinó también mediante técnicas de regresión.

Determinación de los factores k

El factor de corrección k (o factor k de Magin) expresa la relación entre el volumen del árbol medio extraído y el del árbol medio de la masa en pie. Además del factor k de Magin para volumen, en este trabajo se investigaron valores k adicionales para altura y diámetro, lo que se definen aquí como la relación de los valores correspondientes del árbol medio de la masa extraída y aquellos del árbol medio de la masa en pie antes del aclareo (Aguirre y Kramer, 1990). Para determinar los factores k para diámetro, altura y volumen se compararon las dimensiones de los individuos por extraer (muertos y oprimidos) con las dimensiones correspondientes de los árboles de la masa en pie. Los factores k están dados por los respectivos cocientes promedio. Elaboración de las tablas de producción



H_n = Height at which V_i (m) is determined
 k = Magin correction factor

The basic data for the application of the modified Magin formula are the number of trees per ha (N) and the standing volume (V) for different dominant heights. These values were calculated in an independent way from the site index by the relations:

$$\begin{aligned} N &= f(H) \\ V &= f(H) \end{aligned}$$

Volume was determined by using the tables of Jiménez (1988) for *Pinus teocote*. To represent in a numerical way the previous relations and to obtain from them the development curves of the number of trees per hectare and the standing volume, several regression equations were tested in regard to their goodness of fit. The fundamental II relation:

$$V_i = f(H)$$

Was determined too by regression techniques.

Determination of k factors

The k correction factor (or Magin's k factor) expresses the relation between the volume of the extracted average tree and of the average tree of the standing mass. In addition to Magin's k factor for volume, in this work are sought the additional k values for height and diameter, which are here defined as the relation of values corresponding to the average tree of the extracted mass and those of the average tree of the standing mass before thinning (Aguirre and Kramer, 1990). To determine the k factors for diameter, height and volume, the size of individuals to be extracted (dead and suppressed) were compared to the corresponding dimensions of the trees of the standing mass.

Production tables

For the calculation of the data of the standing mass were sought, in addition to the functions $N = f(H)$ and $V = f(H)$ considered in the determination of total production, the relations:

$$\begin{aligned} H_g &= f(H) \\ G_g &= f(H) \end{aligned}$$

Where:

H_g = Mean height
 G_g = Basal area, independently of the site index



El cálculo de los datos de la masa en pie se investigaron, además de las funciones $N = f(H)$ y $V = f(H)$ consideradas en la determinación de la producción total, las relaciones:

$$H_g = f(H)$$

$$G = f(H)$$

Donde:

H_g = Altura media
 G = Área basal, independientemente del índice de sitio.

Con base en esas funciones se obtuvieron las relaciones para cada índice de sitio.

$$N = f(t)$$

$$V = f(t)$$

$$G = f(t)$$

$$H_g = f(t)$$

El diámetro del árbol con el área basal media del rodal en pie (D_g) se calculó a partir de los valores de área basal y número de árboles.

Los datos de altura y diámetro para la masa extraída se estimaron multiplicando los valores del rodal en pie a la mitad del período, por el factor k correspondiente. El número de árboles por hectárea se calculó de las diferencias de la curva de desarrollo de este parámetro. Los valores de área basal se obtuvieron del número de árboles por hectárea y del diámetro medio de la masa extraída. De la diferencia entre la producción total y el volumen de la masa en pie, se calculó la suma de los volúmenes extraídos. El volumen de la masa extraída se obtuvo, para cada período, de la diferencia de las sumas de los volúmenes extraídos al principio y al final del mismo.

Los valores para la masa total de los diferentes índices de sitio a una altura determinada se calcularon empleando las relaciones fundamentales $H = f(t)$ y $V_t = f(H)$. A partir de estas se obtuvo la relación final $V_t = f(t)$ para cada índice de sitio. Con base en los resultados de producción total se determinaron el incremento medio anual y el incremento corriente anual.

RESULTADOS

Diagrama de curvas de índice de sitio

Los resultados de los modelos evaluados para definir la relación funcional fueron:

Richards: $H = b_0 (1 - e^{-b_1 t})^{b_2}$, $R^2 = 0.6827$, $S_x\% = 16.31$;
 Korsun: $H = e^{(b_0 \cdot b_1 \log t + b_2 \log \cdot 2)}$, $R^2 = 0.6825$, $S_x\% = 16.36$;
 Schumacher: $H = (b_0 \cdot b_1^{1/t})$, $R^2 = 0.6634$, $S_x\% = 17.82$ y
 Prodan: $H = 1.3 + (t^2 / (b_0 + b_1 t + b_2 t^2))$, $R^2 = 0.6824$, $S_x\% = 16.42$

From these functions were obtained the relations for each site index:

$$N = f(t)$$

$$V = f(t)$$

$$G = f(t)$$

$$H_g = f(t)$$

The diameter of the tree with the average basal area of the standing stand (D_g) was calculated from the basal area values and the number of trees.

The height and diameter data for the extracted mass were estimated by multiplying the values of the standing stand at the middle of the period, by the corresponding k factor. The number of trees per hectare was calculated from the differences of the development curves of this parameter. The basal area values came from the number of trees per hectare and the average diameter of the extracted mass. From the difference between the total production and the standing mass volume was calculated the sum of the extracted volumes. The volume of the extracted mass for each period was obtained from the difference of the sums of the extracted volumes at the beginning and at the end of it.

The values for the total mass of the different site indexes at a given height were calculated by using the basic relations $H = f(t)$ and $V_t = f(H)$. From these the final relation $V_t = f(t)$ was obtained for each site index. Based upon the results of total yield, the mean annual increment and the current annual increment were determined.

RESULTS

Diagram of site index curves

The results of the assessed models to define the functional relation were:

Richards: $H = b_0 (1 - e^{-b_1 t})^{b_2}$, $R^2 = 0.6827$, $S_x\% = 16.31$;
 Korsun: $H = e^{(b_0 \cdot b_1 \log t + b_2 \log \cdot 2)}$, $R^2 = 0.6825$, $S_x\% = 16.36$;
 Schumacher: $H = (b_0 \cdot b_1^{1/t})$, $R^2 = 0.6634$, $S_x\% = 17.82$ y
 Prodan: $H = 1.3 + (t^2 / (b_0 + b_1 t + b_2 t^2))$, $R^2 = 0.6824$, $S_x\% = 16.42$

The function that had the best fit to the dominant height data-age was Richards'; the expression of the final guide curve was:

$$H = 24.6038 (1 - e^{-0.013417t})^{0.739445}$$

Site indexes were defined at heights of 9, 12, 15, 18 and 21 m at 50 years. The corresponding curves were obtained by calculating the asymptote of each index by the estimation of the b_0 parameter of each site index:

$$IS = 9 \Rightarrow b_0 = 9 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 0.739445}) = 15.2813382$$

$$IS = 12 \Rightarrow b_0 = 12 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 0.739445}) = 20.3751176$$

La función que presentó el mejor ajuste a los datos altura dominante-edad fue la de Richards; la expresión de la curva guía definitiva fue:

$$H = 24.6038 (1 - e^{-0.013417t})^{0.739445}$$

Los índices de sitio se definieron a alturas de 9, 12, 15, 18 y 21 m a la edad de 50 años. Las curvas correspondientes se obtuvieron calculando la asíntota de cada índice mediante la estimación del parámetro b_0 de cada índice de sitio:

$$IS = 9 \Rightarrow b_0 = 9 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 15.2813382$$

$$IS = 12 \Rightarrow b_0 = 12 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 20.3751176$$

$$IS = 15 \Rightarrow b_0 = 15 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 25.468897$$

$$IS = 18 \Rightarrow b_0 = 18 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 30.5626764$$

$$IS = 21 \Rightarrow b_0 = 21 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 35.6564558$$

El diagrama de curvas de índice de sitio elaborado se muestra en la Figura 1.

$$IS = 15 \Rightarrow b_0 = 15 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 25.468897$$

$$IS = 18 \Rightarrow b_0 = 18 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 30.5626764$$

$$IS = 21 \Rightarrow b_0 = 21 / (1 - e^{-0.013417 \cdot 50})^{0.739445} = 35.6564558$$

The diagram of site index curves is shown in Figure 1.

Temporary sampling plots

Sites were distributed in an age range from 11 to 98 years. The values of dominant height are located between 5.5 and 23.5 m; the diameters of trees with a mean basal area show values from 5.9 to 49.0 cm. For the basal area per hectare, values were estimated between 9.1 and 36.2 m²; the number of trees per hectare was around 3,612 in young stands up to 134 in elder stands. The standing mass volume varied in the study areas from 23.4 to 497.2 m³ ha⁻¹ with bark.

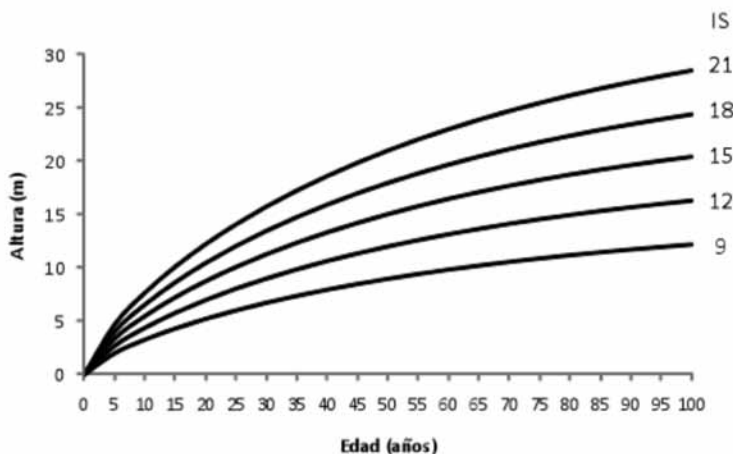


Figura 1. Diagrama de curvas de índice de sitio de 9, 12, 15, 18 y 21 m a la edad de 50 años para *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., en el noreste de México.

Figure 1. Diagram of site index curves of 9, 12, 15, 18 and 21 m at 50 years for *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. for northeastern Mexico.

Sitios temporales de muestreo

Los sitios se distribuyeron en un intervalo de edad de 11 a 98 años. Los valores de altura dominante se localizan de 5.5 a 23.5 m; los diámetros de los árboles con un área basal media muestran valores de 5.9 a 49.0 cm. Para el área basal por hectárea se estimaron valores entre 9.1 y 36.2 m²; el número de árboles por hectárea osciló de 3,612 en rodales jóvenes, hasta 134 en rodales maduros. El volumen de la masa en pie varió en las áreas investigadas entre 23.4 y 497.2 m³ con corteza ha⁻¹.

k factors

The average k factor calculated for volume was 0.31, for height, 0.66 and 0.58 for diameter. Since a clear influence of height on k factors was not found for the collected data, the calculated values were accepted as constants for the height range considered in the estimation of the total production and the development of production tables.

Factores k

El factor k promedio calculado para el volumen fue 0.31, para la altura tuvo un valor de 0.66 y para el diámetro de 0.58. Dado que para los datos colectados no se comprobó una influencia clara de la altura sobre los factores k , se aceptaron los valores calculados como constantes para el intervalo de altura considerado en la estimación de la producción total y la elaboración de las tablas de producción.

Producción total

La relación entre volumen y número de árboles por hectárea con la altura dominante resultó ser independiente del índice de sitio, por lo que se descartó la representación de diferentes tendencias de desarrollo de estos parámetros en función de la altura dominante. Las funciones que presentaron el mejor ajuste a los datos para representar las relaciones $N = f(H)$ y $V = f(H)$, mostraron las siguientes expresiones:

$$N = -132.8 + 7735.75\left(\frac{1}{H}\right) + 61995.7\left(\frac{1}{1H}\right)^2$$

$$V = -5.9259 + 3.78314H + 0.75592H^2 - 0.00412H^3$$

Para la relación auxiliar $V_1 = f(H)$ la expresión definitiva de la ecuación con el mejor ajuste fue:

$$V_1 = -20.189 + 5.93576H + 0.886037H^2 - 0.00275H^3$$

Tablas de producción para *Pinus teocote*

En los cuadros 1 al 5 se presentan las tablas de producción para aclareo débil por lo bajo y rodales densos y puros de *Pinus teocote*, elaboradas para los índices de sitio antes mencionados. Las tablas pudieron construirse para alturas dominantes de aproximadamente 5 m hasta un máximo de 24 m, pues los registros de altura dominante de los sitios estudiados se distribuyeron en este intervalo y contienen datos a partir de la edad en la que los árboles de las diversas calidades de sitio alcanzan una altura cercana a 5 m; los datos sucesivos se calcularon para períodos de 5 años.

En las tablas de producción los valores de área basal equivalen a un grado de densidad de 1.0, y constituyen la referencia para la obtención de áreas basales y volúmenes en rodales de menor densidad, ya que estas variables tienen una relación lineal.

Total yield

The relation between volume and number of trees per hectare with the dominant height was independent from site index, thus eliminating the representation of different development tendencies of these parameters in regard to the dominant height. The functions with the best fit for data to represent the and relations showed the following expressions:

$$N = -132.8 + 7735.75\left(\frac{1}{H}\right) + 61995.7\left(\frac{1}{1H}\right)^2$$

$$V = -5.9259 + 3.78314H + 0.75592H^2 - 0.00412H^3$$

For the auxiliary relation, the final expression of the equation with the best fit was:

$$V_1 = -20.189 + 5.93576H + 0.886037H^2 - 0.00275H^3$$

Yield tables for *Pinus teocote*

In tables 1 to 5 are the yield tables for slight low thinning and for dense pure stands of *Pinus teocote*, made for the site indexes previously mentioned. Tables could be built for dominant heights of about 5 m up to a maximum of 24 m, since the records of dominant height of the studied sites were distributed in this range and include age data in which the trees of the several site qualities reach a height near 5 m; successive data were calculated for 5-year periods.

In the yield tables, the basal area values are equivalent to a density degree of 1.0 and are the reference to obtain basal areas and stand volumes of lower density, since these variables have a lineal relationship.

DISCUSSION

The site index values obtained from 9 to 21 m to the base age of 50 years denote a dispersion in dominant height greater than that obtained in *Pinus pseudostrobus* Lindl. forests in the study area, whose site indexes were estimated from 11 to 21 m (Aguirre, 1991). The condition of minimum productivity of *Pinus teocote* is, however, higher than that of other pine species in Durango, where the lower rates determined at the same age is 7 m (Corral *et al.*, 2004; Vargas *et al.*, 2010). *Pinus teocote* shows higher values of site index in regard to other pines in northeastern Mexico. *Pinus cembroides* Zucc., for example, reaches dominant heights of only 11 m at the age base of 50 years (Jiménez *et al.*, 2008).



Cuadro 1. Tabla de producción para *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., índice de sitio 9.
Table 1. Yield table for *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., site index 9.

t	Rodal en pie						Rodal extraído						Rodal total		
	N	Hg	H	G	Dg	V	N	Hg	Dg	G	V	SVE	PT	IMA	ICA
19	3802	4.6	5.1	9.3	5.6	32.2							32.4	1.70	
20	3598	4.7	5.2	9.4	5.8	34.1	205	3.1	3.3	0.17	0.8	0.8	34.9	1.74	2.54
25	2848	5.5	6.0	9.8	6.6	43.6	750	3.4	3.6	0.76	3.0	3.8	47.4	1.90	2.50
30	2373	6.2	6.8	10.2	7.4	52.8	475	3.8	4.1	0.62	2.8	6.6	59.4	1.98	2.41
35	2047	6.8	7.4	10.7	8.2	61.7	326	4.3	4.5	0.52	2.7	9.3	71.1	2.03	2.32
40	1810	7.3	8.0	11.3	8.9	70.3	236	4.6	5.0	0.46	2.6	11.9	82.2	2.05	2.23
45	1632	7.8	8.5	11.8	9.6	78.5	179	5.0	5.4	0.40	2.4	14.3	92.8	2.06	2.13
50	1492	8.3	9.0	12.3	10.2	86.3	139	5.3	5.7	0.36	2.3	16.6	103.0	2.06	2.03
55	1380	8.7	9.4	12.8	10.9	93.8	112	5.6	6.1	0.33	2.2	18.8	112.7	2.05	1.93
60	1289	9.1	9.9	13.2	11.4	100.9	91	5.9	6.5	0.30	2.1	20.9	121.8	2.03	1.84
65	1214	9.4	10.2	13.7	12.0	107.7	76	6.1	6.8	0.27	2.0	22.9	130.5	2.01	1.74
70	1150	9.8	10.6	14.1	12.5	114.0	64	6.3	7.1	0.25	1.9	24.8	138.8	1.98	1.65
75	1096	10.1	10.9	14.5	13.0	120.1	54	6.5	7.4	0.23	1.8	26.5	146.6	1.95	1.56
80	1050	10.3	11.2	14.9	13.5	125.8	46	6.7	7.7	0.21	1.7	28.2	154.0	1.92	1.47
85	1009	10.6	11.5	15.3	13.9	131.2	40	6.9	7.9	0.20	1.6	29.7	160.9	1.89	1.39
90	974	10.8	11.8	15.7	14.3	136.2	35	7.1	8.2	0.18	1.5	31.2	167.5	1.86	1.31
95	943	11.1	12.0	16.0	14.7	141.0	31	7.2	8.4	0.17	1.4	32.6	173.7	1.83	1.24
100	916	11.3	12.2	16.3	15.0	145.5	27	7.4	8.6	0.16	1.3	33.9	179.5	1.79	1.16

t = edad (años); N = número de árboles por hectárea; Hg = altura media (m); H = altura dominante (m); G = área basal por hectárea (m²); Dg = diámetro medio (cm); V = volumen por hectárea (m³); SVE = suma del volumen extraído (m³ ha⁻¹); PT = producción total (m³ ha⁻¹); IMA = incremento medio anual (m³ ha⁻¹); ICA = incremento corriente anual (m³ ha⁻¹).

t = age (years); N = number of trees per hectare; Hg = means height (m); H = dominant height (m); G = basal area basal per hectare (m²); Dg = mean diameter (cm); V = volume per hectare (m³); SVE = sum of the extracted volume (m³ ha⁻¹); PT = total yield (m³ ha⁻¹); IMA = mean annual increment (m³ ha⁻¹); ICA = current annual increment (m³ ha⁻¹).

Cuadro 2. Tabla de producción para *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., índice de sitio 12.
Table 2. Yield table for *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., site index 12.

t	Rodal en pie						Rodal extraído						Rodal total		
	N	Hg	H	G	Dg	V	N	Hg	Dg	G	V	SVE	PT	IMA	ICA
13	3582	4.8	5.3	9.4	5.8	34.2						0.8	35.1	2.70	
15	3055	5.3	5.8	9.6	6.3	40.5	528	3.3	3.5	0.51	1.97	2.8	43.3	2.89	4.11
20	2242	6.4	7.0	10.4	7.7	56.1	812	3.8	4.1	1.05	4.79	7.6	63.7	3.18	4.07
25	1784	7.4	8.1	11.3	9.0	71.4	459	4.5	4.8	0.84	4.61	12.2	83.6	3.35	3.99
30	1491	8.3	9.0	12.3	10.2	86.4	293	5.2	5.6	0.71	4.44	16.7	103.1	3.44	3.89
35	1289	9.1	9.9	13.2	11.4	100.9	202	5.7	6.3	0.63	4.26	20.9	121.9	3.48	3.76
40	1142	9.8	10.6	14.2	12.6	114.9	147	6.2	7.0	0.56	4.09	25.0	139.9	3.50	3.62
45	1030	10.5	11.3	15.1	13.7	128.4	112	6.7	7.6	0.51	3.91	28.9	157.3	3.50	3.47
50	942	11.1	12.0	16.0	14.7	141.2	88	7.1	8.2	0.47	3.74	32.7	173.9	3.48	3.32
55	872	11.6	12.6	16.8	15.7	153.5	70	7.5	8.8	0.43	3.57	36.2	189.7	3.45	3.16
60	814	12.1	13.1	17.7	16.6	165.1	58	7.8	9.4	0.40	3.40	39.6	204.7	3.41	3.01
65	766	12.6	13.7	18.4	17.5	176.2	48	8.2	9.9	0.37	3.23	42.9	219.0	3.37	2.86
70	726	13.1	14.1	19.2	18.3	186.6	40	8.5	10.4	0.34	3.07	45.9	232.6	3.32	2.71
75	691	13.5	14.6	19.9	19.1	196.5	34	8.8	10.9	0.32	2.91	48.8	245.4	3.27	2.56
80	662	13.8	15.0	20.5	19.9	205.9	30	9.0	11.3	0.30	2.76	51.6	257.5	3.22	2.43
85	636	14.2	15.3	21.1	20.6	214.8	26	9.2	11.7	0.28	2.61	54.2	269.0	3.16	2.29
90	613	14.5	15.7	21.7	21.2	223.1	23	9.5	12.1	0.26	2.47	56.7	279.8	3.11	2.16
95	594	14.8	16.0	22.3	21.9	231.0	20	9.7	12.5	0.24	2.33	59.0	290.0	3.05	2.04
100	576	15.1	16.3	22.8	22.4	238.4	18	9.9	12.8	0.23	2.20	61.2	299.6	3.00	1.92

t = edad (años); N = número de árboles por hectárea; Hg = altura media (m); H = altura dominante (m); G = área basal por hectárea (m²); Dg = diámetro medio (cm); V = volumen por hectárea (m³); SVE = suma del volumen extraído (m³ ha⁻¹); PT = producción total (m³ ha⁻¹); IMA = incremento medio anual (m³ ha⁻¹); ICA = incremento corriente anual (m³ ha⁻¹).

t = age (years); N = number of trees per hectare; Hg = means height (m); H = dominant height (m); G = basal area basal per hectare (m²); Dg = mean diameter (cm); V = volume per hectare (m³); SVE = sum of the extracted volume (m³ ha⁻¹); PT = total yield (m³ ha⁻¹); IMA = mean annual increment (m³ ha⁻¹); ICA = current annual increment (m³ ha⁻¹).

Cuadro 3. Tabla de producción para *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., índice de sitio 15.
Table 3. Yield table for *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., site index 15.

<i>t</i>	Rodal en pie						Rodal extraído						Rodal total		
	<i>N</i>	<i>H_g</i>	<i>H_o</i>	<i>G</i>	<i>D_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>H_g</i>	<i>D_g</i>	<i>G</i>	<i>V</i>	<i>SVE</i>	<i>PT</i>	<i>IMA</i>	<i>ICA</i>
10	3332	5.0	5.5	9.5	6.0	37.0						1.7	38.7	3.87	
15	2121	6.6	7.2	10.6	8.0	59.4	1211	3.8	4.1	1.57	6.9	8.6	68.1	4.54	5.88
20	1564	8.0	8.7	12.0	9.9	82.1	557	4.8	5.2	1.17	6.8	15.4	97.5	4.88	5.88
25	1248	9.3	10.1	13.5	11.7	104.5	317	5.7	6.3	0.98	6.6	22.0	126.5	5.06	5.81
30	1044	10.4	11.3	15.0	13.5	126.5	203	6.5	7.3	0.86	6.4	28.4	154.9	5.16	5.67
35	903	11.4	12.3	16.5	15.2	147.8	141	7.2	8.3	0.77	6.2	34.6	182.4	5.21	5.51
40	799	12.3	13.3	17.9	16.9	168.4	103	7.8	9.3	0.70	6.0	40.6	209.0	5.22	5.31
45	720	13.1	14.2	19.3	18.5	188.1	79	8.4	10.2	0.65	5.8	46.4	234.5	5.21	5.10
50	658	13.9	15.0	20.6	20.0	207.0	62	8.9	11.1	0.60	5.5	51.9	258.9	5.18	4.88
55	608	14.6	15.7	21.8	21.4	225.0	50	9.4	12.0	0.56	5.3	57.2	282.2	5.13	4.66
60	567	15.2	16.4	23.0	22.7	242.1	41	9.8	12.8	0.53	5.1	62.3	304.4	5.07	4.44
65	533	15.8	17.1	24.2	24.0	258.3	34	10.2	13.6	0.49	4.9	67.2	325.5	5.01	4.22
70	504	16.4	17.7	25.2	25.2	273.7	29	10.6	14.3	0.46	4.6	71.8	345.5	4.94	4.00
75	480	16.9	18.2	26.3	26.4	288.3	25	11.0	15.0	0.43	4.4	76.2	364.5	4.86	3.79
80	458	17.3	18.7	27.2	27.5	302.0	21	11.3	15.6	0.41	4.2	80.4	382.4	4.78	3.58
85	440	17.8	19.2	28.1	28.5	315.0	19	11.6	16.2	0.38	4.0	84.4	399.3	4.70	3.39
90	424	18.2	19.6	29.0	29.5	327.2	16	11.9	16.8	0.36	3.8	88.1	415.3	4.61	3.20
95	409	18.5	20.0	29.7	30.4	338.7	14	12.1	17.4	0.34	3.6	91.7	430.4	4.53	3.02
100	397	18.9	20.4	30.5	31.3	349.6	13	12.4	17.9	0.32	3.4	95.0	444.6	4.45	2.84

t = edad (años); *N* = número de árboles por hectárea; *H_g* = altura media (m); *H* = altura dominante (m); *G* = área basal por hectárea (m²); *D_g* = diámetro medio (cm); *V* = volumen por hectárea (m³); *SVE* = suma del volumen extraído (m³ ha⁻¹); *PT* = producción total (m³ ha⁻¹); *IMA* = incremento medio anual (m³ ha⁻¹); *ICA* = incremento corriente anual (m³ ha⁻¹).

t = age (years); *N* = number of trees per hectare; *H_g* = means height (m); *H* = dominant height (m); *G* = basal area basal per hectare (m²); *D_g* = mean diameter (cm); *V* = volume per hectare (m³); *SVE* = sume of the extracted volume (m³ ha⁻¹); *PT* = total yield (m³ ha⁻¹); *IMA* = mean annual increment (m³ ha⁻¹); *ICA* = current annual increment (m³ ha⁻¹).

Cuadro 4. Tabla de producción para *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., índice de sitio 18.
Table 4. Yield table for *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., site index 18.

<i>t</i>	Rodal en pie						Rodal extraído						Rodal total		
	<i>N</i>	<i>H_g</i>	<i>H</i>	<i>G</i>	<i>D_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>H_g</i>	<i>D_g</i>	<i>G</i>	<i>V</i>	<i>SVE</i>	<i>PT</i>	<i>IMA</i>	<i>ICA</i>
8	3186	5.1	5.6	9.5	6.2	38.7						2.3	41.0	5.13	
10	2469	6.0	6.6	10.1	7.2	50.6	717	3.7	3.9	0.8	3.7	6.0	56.6	5.66	7.80
15	1581	8.0	8.7	11.9	9.8	81.2	888	4.6	4.9	1.7	9.2	15.1	96.3	6.42	7.94
20	1169	9.7	10.5	14.0	12.4	112.1	412	5.8	6.4	1.3	9.1	24.2	136.3	6.82	8.00
25	932	11.1	12.1	16.1	14.8	142.8	236	6.9	7.9	1.2	8.9	33.1	175.9	7.04	7.93
30	780	12.5	13.5	18.2	17.2	172.9	153	7.8	9.3	1.0	8.8	41.9	214.8	7.16	7.77
35	674	13.7	14.8	20.2	19.6	202.1	106	8.6	10.7	1.0	8.6	50.5	252.5	7.22	7.55
40	595	14.8	16.0	22.2	21.8	230.2	78	9.4	12.0	0.9	8.3	58.8	289.0	7.23	7.30
45	535	15.8	17.0	24.1	23.9	257.2	60	10.1	13.3	0.8	8.1	66.9	324.1	7.20	7.01
50	488	16.7	18.0	25.9	26.0	283.1	47	10.7	14.5	0.8	7.8	74.6	357.7	7.15	6.72
55	450	17.5	18.9	27.6	27.9	307.7	38	11.3	15.6	0.7	7.5	82.1	389.8	7.09	6.42
60	419	18.3	19.7	29.2	29.8	331.0	31	11.8	16.7	0.7	7.2	89.3	420.3	7.01	6.11
65	393	19.0	20.5	30.7	31.6	353.2	26	12.3	17.8	0.7	6.9	96.2	449.4	6.91	5.81
70	371	19.7	21.2	32.2	33.2	374.2	22	12.8	18.8	0.6	6.6	102.7	476.9	6.81	5.51
75	352	20.3	21.8	33.5	34.8	394.0	19	13.2	19.7	0.6	6.3	109.0	503.0	6.71	5.22
80	335	20.8	22.4	34.8	36.3	412.8	16	13.6	20.6	0.5	6.0	115.0	527.7	6.60	4.94
85	321	21.4	23.0	36.0	37.8	430.4	14	13.9	21.5	0.5	5.7	120.6	551.1	6.48	4.67
90	309	21.8	23.5	37.1	39.1	447.1	12	14.3	22.3	0.5	5.4	126.0	573.1	6.37	4.41
95	297	22.3	24.0	38.1	40.4	462.8	11	14.6	23.0	0.5	5.1	131.1	593.9	6.25	4.15

t = edad (años); *N* = número de árboles por hectárea; *H_g* = altura media (m); *H* = altura dominante (m); *G* = área basal por hectárea (m²); *D_g* = diámetro medio (cm); *V* = volumen por hectárea (m³); *SVE* = suma del volumen extraído (m³ ha⁻¹); *PT* = producción total (m³ ha⁻¹); *IMA* = incremento medio anual (m³ ha⁻¹); *ICA* = incremento corriente anual (m³ ha⁻¹).

t = age (years); *N* = number of trees per hectare; *H_g* = means height (m); *H* = dominant height (m); *G* = basal area basal per hectare (m²); *D_g* = mean diameter (cm); *V* = volume per hectare (m³); *SVE* = sume of the extracted volume (m³ ha⁻¹); *PT* = total yield (m³ ha⁻¹); *IMA* = mean annual increment (m³ ha⁻¹); *ICA* = current annual increment (m³ ha⁻¹).

Cuadro 5. Tabla de producción para *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., índice de sitio 21.
Table 5. Yield table for *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., site index 21.

t	N	Rodal en pie					N	Rodal extraído					Rodal total			
		Hg	H	G	dg	V		Hg	Dg	G	V	SVE	PT	IMA	ICA	
7	2885	5.4	6.0	9.7	6.6	43.0							3.6	46.6	6.66	
10	1922	7.0	7.7	11.0	8.5	66.0	962	4.4	1.45	7.0	10.6	76.6	7.66	9.98		
15	1235	9.3	10.1	13.6	11.8	105.6	687	5.4	5.9	1.88	11.7	22.3	128.0	8.53	10.28	
20	914	11.3	12.2	16.3	15.1	145.9	322	6.8	7.8	1.54	11.7	34.1	180.0	9.00	10.41	
25	728	13.0	14.1	19.1	18.3	186.0	185	8.0	9.7	1.36	11.7	45.7	231.7	9.27	10.35	
30	608	14.6	15.8	21.9	21.4	225.2	120	9.1	11.5	1.25	11.6	57.3	282.5	9.42	10.16	
35	524	16.0	17.3	24.5	24.4	263.3	84	10.1	13.3	1.17	11.4	68.7	331.9	9.48	9.89	
40	461	17.3	18.6	27.1	27.3	300.0	62	11.0	15.0	1.10	11.1	79.8	379.7	9.49	9.56	
45	414	18.4	19.9	29.5	30.1	335.1	48	11.8	16.7	1.04	10.8	90.6	425.7	9.46	9.19	
50	376	19.5	21.0	31.8	32.8	368.7	38	12.5	18.3	0.99	10.5	101.0	469.7	9.39	8.81	
55	346	20.5	22.0	34.0	35.4	400.7	30	13.2	19.8	0.94	10.1	111.1	511.8	9.31	8.41	
60	321	21.4	23.0	36.0	37.8	431.1	25	13.8	21.2	0.89	9.7	120.8	551.9	9.20	8.01	
65	300	22.2	23.9	37.9	40.1	459.8	21	14.4	22.6	0.84	9.3	130.1	589.9	9.08	7.62	

t = edad (años); N = número de árboles por hectárea; Hg = altura media (m); H = altura dominante (m); G = área basal por hectárea (m²); Dg = diámetro medio (cm); V = volumen por hectárea (m³); SVE = suma del volumen extraído (m³ ha⁻¹); PT = producción total (m³ ha⁻¹); IMA = incremento medio anual (m³ ha⁻¹); ICA = incremento corriente anual (m³ ha⁻¹).

t = age (years); N = number of trees per hectare; Hg = means height (m); H = dominant height (m); G = basal area basal per hectare (m²); Dg = mean diameter (cm); V = volume per hectare (m³); SVE = sum of the extracted volume (m³ ha⁻¹); PT = total yield (m³ ha⁻¹); IMA = mean annual increment (m³ ha⁻¹); ICA = current annual increment (m³ ha⁻¹).

DISCUSIÓN

Los valores de índice de sitio obtenidos de 9 a 21 m a la edad base de 50 años denotan una dispersión en altura dominante mayor a la obtenida en bosques de *Pinus Pseudostrobus* Lindl. en el área de investigación, cuyos índices de sitio se estimaron de 11 a 21 m (Aguirre, 1991). La condición de productividad mínima de *Pinus teocote* es, sin embargo, mayor a la de otras especies de pino en Durango, donde los menores índices de sitio determinados a la misma edad base son de 7 m (Carral et al., 2004; Vargas et al., 2010). *Pinus teocote* muestra valores superiores de índice de sitio en relación con otros pinus en el noreste de México. *Pinus cembroides* Zucc., por ejemplo, alcanza alturas dominantes de solo 11 m a la edad base de 50 años (Jiménez et al., 2008).

En las tablas de producción elaboradas se reconoce, claramente, que a una edad dada, los índices de sitio menores muestran los más altos valores del número de árboles. En la juventud se presenta una reducción fuerte en este parámetro, sobre todo, en los índices de sitio medio y altos. Conforme aumenta la edad, se observa un patrón decreciente en la disminución del número de individuos. *Pinus teocote* presenta, en promedio, una densidad menor a otras taxa de pino; a un diámetro cuadrático de referencia de 20 cm, esta especie tiene valores de densidad máxima de 658 árboles ha⁻¹, en tanto que *Pinus pseudostrobus* en la misma región cuenta con cerca de 1 000 árboles ha⁻¹ (Aguirre, 1991); en Durango, *Pinus durangensis* Martínez para el mismo diámetro de referencia registra densidades máximas superiores a 2 000 árboles ha⁻¹ (Monárrez y Ramírez, 2003).

Respecto al área basal, se observa que las diferencias entre los valores de los diferentes índices de sitio a una edad específica son

In the yield tables that were made it is clearly acknowledged, that at a given age, the smaller site indexes show the highest values in number of trees. During youth, there is a strong reduction in this parameter, especially in the middle and high site indexes. As age becomes higher, it is a decreasing pattern in the reduction of the number of individuals. *Pinus teocote* shows in average, a lower density in regard to other pine taxa; to a quadratic diameter of reference of 20 cm, this species has maximum density values of 658 trees ha⁻¹ while *Pinus pseudostrobus* in the same region has near 1 000 trees ha⁻¹ (Aguirre, 1991); in Durango, *Pinus durangensis* Martínez for the same diameter of reference records maximum densities over 2 000 trees ha⁻¹ (Monárrez and Ramírez, 2003).

In regard to the basal area, it is observed that the differences between the values of site indexes to a specific age are higher in so far as productivity is lower. That which refers to the numbers of basal area for the site indexes of site 9 and 21 at age 50 is 19.5 m² and keeps almost the same in elder ages. From the comparison with the results in other species, *Pinus teocote* shows maximum values of basal area (38 m² ha⁻¹), clearly lower than the estimated maximum for *Pinus montezumae* Lamb. in Puebla, whose number almost reach 86 m² ha⁻¹ (Zepeda and Acosta, 2000).

The pattern of volume development in standing mass for different site indexes, depending on age, shows a remarkable increase with age. For a given stand age, the difference in volume between the tables is larger as the site index is higher. This is so because not only heights, but also the basal areas increase with site index. Between the site indexes 9 and 12 the difference in volume at the age 50 is 54.9 m³; while site indexes between 18 and 21 this difference is 85.6 m³. The maximum volume was 459.8 m³ ha⁻¹, lower

más altos a medida que la productividad es menor. La diferencia entre las cifras de área basal para los índices de sitio 9 y 21 a la edad de 50 años es de 19.5 m², y permanece casi constante a edades mayores. De la comparación con los resultados en otras especies, se obtuvo que *Pinus teocote* muestra valores máximos de área basal (38 m² ha⁻¹), claramente, menores a los máximos estimados para *Pinus montezumae* Lamb. en Puebla, cuyos valores alcanzan casi 86 m² ha⁻¹ (Zepeda y Acosta, 2000).

El patrón de desarrollo del volumen de la masa en pie para diferentes índices de sitio, en función de la edad, muestra un aumento notable con la edad. Para una misma edad del rodal, la diferencia en volumen entre las tablas es más grande cuanto mayor es el índice de sitio. Lo anterior se debe a que no solamente las alturas, sino también las áreas basales aumentan con el índice de sitio. Entre los índices de sitio 9 y 12 la diferencia en volumen a la edad de 50 años es de 54.9 m³; mientras que entre los índices de sitio 18 y 21 esta diferencia es de 85.6 m³. El volumen máximo fue de 459.8 m³ ha⁻¹, menor a los citados por Aguirre (1991) para *Pinus pseudostrobus*. (634 m³ ha⁻¹) en Nuevo León y por Zepeda y Acosta (2000) para *Pinus montezumae* en Puebla (700 m³ ha⁻¹). Los datos de volumen en pie para diferentes edades y condiciones de productividad son una base para la estimación de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, de acuerdo al método descrito por Aguirre-Calderón y Jiménez-Pérez (2011).

La producción total dependiente del índice de sitio y la edad muestra un desarrollo similar al del volumen de la masa en pie. A la edad de 50 años la diferencia entre la producción total entre los índices de sitio 9 y 21 es de 383.4 m³.

En cuanto al incremento medio anual en volumen, derivado de los valores de producción total en función de la edad y el índice de sitio se observa que el punto de culminación en todos los casos se ubica a la edad entre 40 y 45 años, dado el carácter anamórfico de las curvas de índice de sitio. Por otra parte existen diferencias importantes en la productividad de las áreas investigadas; los valores de IMA a 50 años para los índices de sitio 9 y 21 son 2.06 m³ y 9.39 m³, respectivamente. El incremento corriente anual culmina entre 15 y 20 años y presenta diferencias notables entre las calidades de sitio; el valor máximo para el índice de sitio 9 es 2.54 m³, en tanto que para el índice de sitio 21 es 10.41 m³. Los valores de incremento corriente anual son menores a los documentados para otras especies de pino en condiciones de mayor productividad; Zepeda y Domínguez (1998), por ejemplo, estimaron valores de incremento corriente anual máximos superiores a 18 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para *Pinus arizonica* Engl. en Chihuahua.

Dado que en los sitios de muestreo no se observó influencia de la calidad de sitio en el número de árboles y el volumen por hectárea a una altura dominante específica, las tablas de producción muestran, para una altura dominante igual los mismos

than those quoted by Aguirre (1991) for *Pinus pseudostrobus* (634 m³ ha⁻¹) in Nuevo León and by Zepeda and Acosta (2000) for *Pinus montezumae* in Puebla (700 m³ ha⁻¹). The standing volume data for different ages and productivity are a basis for the estimation of biomass and carbon content of *Pinus teocote*, according to the method described by Aguirre-Calderón and Jiménez-Pérez (2011).

The total production depending of site index and age shows a similar development to that of standing mass volume. At age 50, the difference between total production of site indexes 9 and 21 is 383.4 m³.

On the mean annual increment in volume, derived from total yield values depending on age and site index, shows that the completion point in all cases is located at the age between 40 and 45 years, given the anamorphic nature of the site index curves. Moreover, there are important differences in the productivity of the study areas; the IMA values at 50 years for site index 9 and 21 are 2.06 m³ and 9.39 m³, respectively. The current annual increment culminates between 15 and 20 years and considerable differences among the qualities of site; the maximum value for site index 9 is 2.54 m³, while for site index 21 is 10.41 m³. The current annual increment values are lower than those documented for other pine species in terms of higher productivity, Zepeda and Domínguez (1998), for example, estimated values of maximum current annual increment above 18 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ for *Pinus arizonica* Engl. in Chihuahua.

Since in the sampling plots it was not observed any influence of the quality of site in the number of trees and the volume per hectare at a specific dominant height, the yield tables show, for the same dominant height, the same values for these parameters. Also, for the development of the total production in terms of dominant height, a single curve was built, which had, as a consequence, that the level of determined unique production is valid for the five site index that were considered.

The calculated data for the number of trees, the basal area and the volume per hectare of the main mass represent the average maximal values that are present in pure *Pinus teocote* stands, slightly cleared in the study area. In regard to basal area, it still has not been determined if these data belong to the "optimal stock of basal area", for which is attained the maximal volume production. There is still present the question of degree at which greater or smaller basal areas of the tables cause growth losses (Wenk *et al.*, 1990). However, based upon the data obtained in the framework of this paper and on the complimentary epidemiometric research, it would be possible to determine the relations between stand density and diverse parameters of it, as well as the degree of reduction of the growth of stands of different densities. By means of these additional studies, it would be feasible to build production tables for different regimes of stand treatments.

valores para estos parámetros. También para el desarrollo de la producción total en función de la altura dominante se construyó una sola curva, lo que tuvo por consecuencia que el nivel de producción único determinado sea válido para los cinco índices de sitio considerados.

Los datos calculados para el número de árboles, el área basal y el volumen por hectárea de la masa principal representan los valores máximos promedio que se tienen en rodales puros, ligeramente aclarados de *Pinus teocote* en el área de estudio. Con respecto al área basal, no se ha determinado aún si estos datos corresponden a las "existencias óptimas de área basal", para las cuales se alcanza la máxima producción en volumen. Permanece aún la interrogante del grado en que áreas basales mayores o menores a las de las tablas ocasionan pérdidas de crecimiento (Wenk *et al.*, 1990). Sin embargo, con base en los datos obtenidos en el marco de este trabajo y en investigaciones epidométricas complementarias, sería posible determinar las relaciones entre densidad del rodal y diversos parámetros del mismo, así como el grado de reducción del crecimiento para rodales de densidades diversas. Mediante estos estudios adicionales sería factible construir tablas de producción para diferentes regímenes de tratamiento de los rodales.

CONCLUSIONES

Las tablas de producción elaboradas constituyen una contribución para el manejo adecuado de los recursos forestales del noreste de México, ya que proporcionan información sobre el patrón de desarrollo promedio de *Pinus teocote* bajo diferentes condiciones de productividad en condiciones de densidad máxima. Las tablas permiten calificar la condición de los rodales del área respecto a su productividad, existencias y densidad, así como derivar niveles de cosecha sustentable.

El método empleado para la elaboración de las tablas de producción es una alternativa para obtener información sobre el patrón característico promedio del desarrollo de las especies forestales en regiones donde no se tienen parcelas permanentes de muestreo. Una ventaja del método es que los datos necesarios para su aplicación se pueden recabar, en gran parte, en el marco de un inventario convencional para manejo forestal.

En esta investigación se pudo comprobar la flexibilidad del método de Magin modificado para la determinación de la producción total con base en datos obtenidos en sitios temporales de muestreo. El procedimiento permite derivar de manera sencilla datos sobre número de árboles y volumen de la masa extraída y posibilita con ello la rápida determinación de la relación fundamental $V_i = f(H)$, básica para la construcción de modelos de crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) de la Universidad Autónoma de Nuevo León; a la Fundación Alexander von Humboldt.

CONCLUSIONS

The yield tables that were built are a contribution for the right management of the forest resources of northeastern Mexico since they provide information on the pattern of the average development of *Pinus teocote* under different productivity conditions with maximal density. Tables make it possible to clarify the state of the stands of the area in regard to productivity, stock and density as well as to originate levels of sustainable harvest.

The method used to build the yield tables is an option to obtain information about the average typical pattern of development of forest species in regions where there are not permanent sampling plots. One advantage of this method is that the necessary data for its application can be collected, mostly, in the framework of a conventional inventory for forest management.

In this research it was possible to prove the flexibility of the adjusted Magin method for the determination of total production based upon data obtained in temporary sampling sites. The process lets to derive in a simple way, data about number of trees and volume of the extracted mass and makes it possible, thus, the fast calculation of the basic relation $V_i = f(H)$, which is basic for the building of growth models.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) of the Universidad Autónoma de Nuevo León; to the Fundación Alexander von Humboldt.

End of the English version



REFERENCIAS

- Aguirre, O. A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a parcelas temporales de muestreo. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 5: 61-67.
- Aguirre C., O. A. y H. Kramer 1990. El factor k de Magin. Un índice epidométrico y silvícola. Reporte Científico No. 14, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N. L. México. 39 p.
- Aguirre-Calderón, O. A. y Jiménez-Pérez, J. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Rev. Mex. Cien. For.* 2(6): 73-83
- Assmann, E. 1961. *Waldtragskunde*. BLV Verlagsgesellschaft. München, Deutschland. 490 p.
- Carvalho-Oliveira A., M. 1985. *Tabela de Produção Geral para o Pinheiro Bravo das Regioes Montanas e Submontanas*. Lisboa, Portugal. 37 p.
- Clutter, J. L., J. C. Forston, L. V. Pineaar, G. H. Brister and R. L. Bailey 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley, New York, NY. USA. 333 p.
- Corral R., J. J., J. G. Álvarez, A. D. Ruiz and K. V. Gadow 2004. Compatible height and site index models for five pine species in El Salto, Durango (Mexico). *For. Ecol. Manag.* 201: 145-160
- Davis, L. S., K. N. Johnson, P. S. Bettinger and T. E. Howard 2001. *Forest management. To sustain ecological, economic, and social values*. Fourth Ed. McGraw-Hill. Boston MA USA. 804 p.
- Gadow, K. v. and G. Hui 1999. *Modelling Forest Development*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. 213 p.
- Gatzojannis, S. 1999. Ertragstafeln für Fichtenbestände Griechenlands. *Forstw. Cbl.* 118:129-144.
- Jiménez, P. J. 1988. Aufstellung von Schaffholz-Massentafeln und Tarifen für *Pinus pseudostrabus* Lindl. und *Pinus teocote* Schl. & Cham. in einem Teil der Sierra Madre Oriental im Nordosten Mexikos. Tesis doctoral, Universität Göttingen. Göttingen, Deutschland. 104 p.
- Jiménez, J., O. Aguirre and H. Kramer 2008. Untersuchungen über das Wachstum der Pinyon-Kiefer (*Pinus cembroides* Zucc.) im Nordosten Mexikos. *Allg. Forst-u. J.-Ztg.* 179: 186-192.
- Kramer, H. 1988. *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul Parey, Hamburg, Deutschland. 374 p.
- Laar, A. v. and A. Akça 2007. *Forest Mensuration*. Springer. Dordrecht, Netherlands. 383 p.
- Lee, W. K. 1994. Statische und dynamische Wachstumsmodelle auf der Grundlage einmaliger Probeflächenaufnahmen am Beispiel von "*Pinus densiflora*" in Korea. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 165: 69-77.
- Magin, R. 1963. Standortsgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. *Allg. Forstztsch.* 18:128-130.
- Magin, R. 1971. Die Herleitung von Ertragstafeln beliebiger Durchforstungsmodelle mit Hilfe der K-Wert-Formel. 15. IUFRO Kongress. Gainesville FL USA. 5 p.
- Monárrez G., J. C. y H. Ramírez M. 2003. Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus durangensis* Mtz. en el estado de Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9: 45-56.
- Nagel, J. 1985. *Wachstumsmodell für Bergahorn in Schleswig-Holstein*. Tesis doctoral. Universität Göttingen. Göttingen, Deutschland. 124 p.
- Pretzsch, H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Springer. Berlin, Germany. 664 p.
- Sánchez, F., R. Rodríguez, A. Rojo, J. G. Álvarez, C. López, J. Gorgoso y F. Castedo 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12:65-83.
- Vargas L., B., J. G. Álvarez, J. J. Corral y O. A. Aguirre (2010). Construcción de curvas dinámicas de índice de sitio para *Pinus cooperi* Blanco. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4): 343-351.
- Wenk, G., V. Antanaitis und S. Smelko 1990. *Waldtragslehre*. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, Berlin, Deutschland. 448 p.
- Zepeda B., M. y A. Domínguez 1998. Niveles de incremento y rendimiento maderable de poblaciones naturales de *Pinus arizonica* Engl., en El Poleo, Chihuahua. *Madera y Bosques* 4: 27-39.
- Zepeda B., M. y M. Acosta 2000. Incremento y rendimiento maderable de *Pinus montezumae* Lamb., en San Juan Tetla, Puebla. *Madera y Bosques* 6: 15-27.
- Zhang, Z. 1988. Aufstellung eines Wachstumsmodells für Spießtannen in künstlich begründeten Beständen am Beispiel Südmitelchinas. Tesis doctoral. Universität Göttingen. Göttingen, Deutschland. 108 p.



Juan Rentería Ánima, 2013.