

ÍNDICE DE SITIO PARA *Pinus patula* Schl. et Cham. EN LA REGIÓN DE HUAYACOCOTLA, ESTADO DE VERACRUZ.

Monroy Rivera Carlos R.*

RESUMEN

Para obtener las curvas de Índice de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región de Huayacocotla, Ver., se realizaron 72 análisis troncales, distribuidos en rodales coetáneos ubicados en diferentes condiciones de crecimiento y se ajustaron a una ecuación de estimación. Los datos de edad-altura se adaptaron al modelo de Schumacher (1939)¹, para la derivación de una familia de curvas anamórficas de Índice de Sitio, a una edad base de 40 años, utilizando una linearización a través de logaritmos naturales.

La tendencia de las curvas de Índice de Sitio representa los valores promedio esperados de 18, 22, 26, 30, 34 y 38 metros, a una edad base de 40 años, cuando se localizan rodales coetáneos dentro del área de estudio.

La precisión de la ecuación de predicción generada, registró un coeficiente de determinación elevado ($Pr \geq 0.0001$), un cuadrado medio del error bajo y un error estandar de la media bajo.

Palabras clave: Índice de Sitio, *Pinus patula*, modelo de Shumacher, Huayacocotla, Veracruz, curvas anamórficas.

* M. C., Investigador del CIR-Golfo Centro, INIFAP, SAGAR.

¹ Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. *Journal of Forestry*. 37:819-820.

ABSTRACT

Pinus patula Schl. et Cham. site index curves were obtained in Huayacocotla region, Veracruz state. It was realized 72 stems analysis among coetaneous stands located in different growth conditions. High and age data were fitted with Schumacher model (1939), to compute a family of anamorphic site index curves; 40 year old base was used and curves were outlined by natural logarithm.

Site index curves tendency represent mean values of 18, 22, 26, 30, 34 and 38 metres; at 40 year old base, when coetaneous stands are located within the study area.

The accuracy of the prediction equation produced: a high decision coefficient ($Pr \geq 0.0001$), low mean square of error and a low standard error of the mean.

Key words: Site Index; *Pinus patula*; Shumacher model; Huayacocotla, Veracruz state, anamorphic curves.

INTRODUCCIÓN

En México, no se cuenta con suficiente información del crecimiento de árboles y masas que componen los recursos arbolados, la cual es básica para el aprovechamiento y manejo de los bosques. En el desarrollo de los recursos arbolados influyen diversos factores, determinados por la relación suelo-medio-planta, entre otros podemos mencionar: la temperatura, precipitación, insolación, vientos, heladas; los factores fisiográficos y las condiciones edáficas (pH, materia orgánica, textura, estructura del suelo y densidad aparente), estos factores definen el potencial del crecimiento de la misma, de acuerdo a las características genéticas de la especie.

Por lo anterior, es importante generar y probar metodologías de estudio del crecimiento e incremento de las diversas especies nativas, para determinar de una manera práctica y eficaz la productividad de cada una de ellas y orientar su manejo hacia la obtención de satisfactores de las necesidades humanas, sin arriesgar la continuidad del recurso.

Dentro del contexto señalado, la técnica de reconstrucción del crecimiento de análisis troncal, ocupa un papel relevante para fundamentar planes de manejo forestal.

En concordancia con lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el Índice de Sitio como un indicador de la productividad de los suelos en los que se desarrolla *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, estado de Veracruz.

ANTECEDENTES

Calidad de Sitio e Índice de Sitio

Barnes (1962)² definió la Calidad de Sitio como la capacidad productiva de una área forestal determinada por el clima, suelo, topografía y otros factores fisiográficos y microbiológicos.

La productividad de los terrenos forestales se define, en gran parte, por la Calidad de Sitio, estimada mediante la máxima cosecha de madera que produzca el bosque en un tiempo determinado. Así, la Calidad de Sitio es la suma de muchos factores ambientales: la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, el declive de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies, etc. (Daniel *et al.*, 1982)³.

Clutter *et al.* (1983)⁴, señalaron que el concepto de calidad de estación se refiere a la producción potencial de madera de un sitio, para una especie en particular o para un tipo de bosque.

Para evaluar la productividad de un bosque es necesario medir las variables de los rodales como: altura, diámetro normal a una determinada edad, incremento medio anual, etc. Así surgen los conceptos de Índice de Sitio que según Barnes (*op. cit.*), se define como una medida de la productividad de la masa, indicada por la altura alcanzada por los árboles dominantes y codominantes a los 100 años de edad.

Posteriormente, Daniel *et al.* (*op. cit.*) señalaron que el Índice de Sitio es la altura de un árbol bajo las condiciones del propio bosque en 100 años, para la mayoría de las

² Barnes H., G. 1962. Yield of evenaged stand of Western hemalock.

³ Daniel W., T.; J. Helms A. y F. Baker S. 1982. Principios de Silvicultura.

⁴ Clutter J., L.; J. Forstson C.; L. Pienaar V.; G. Brister H. y R. Bayley L. 1983. Timber Management: a quantitative approach.

especies longevas del occidente de Estados Unidos de América, o de 25 a 50 años para las especies del este y sur.

Clasificación del Índice de Sitio

Daniel *et al.* (*op. cit.*), afirmaron que existen métodos directos o indirectos para evaluar la Calidad de Sitio. Los métodos directos de evaluación se realizan en rodales de edad uniforme y totalmente poblados, donde se miden todos los árboles por encima de un diámetro normal mínimo especificado (DAP) y altura total.

Con estos datos, se construyen tablas normales de rendimiento, curvas anamórficas volumen-edad, cuyos estándares se caracterizan por basarse en los promedios de los rodales considerados. Los métodos indirectos se clasifican en:

Método del Índice de Sitio. Es la altura de un rodal a una edad base o índice. Generalmente, se utiliza la relación altura-edad de los rodales dominantes y codominantes, es la expresión más común para determinar la productividad del sitio forestal.

Método de intercepción. El método de intercepción de cinco años, utiliza la longitud total de los cinco primeros entrenudos anuales, por encima de la altura del pecho. Este método se recomienda principalmente en rodales jóvenes, con población moderada o densa y no exige el conocimiento de la edad del rodal; es más fácil de aplicar en rodales cerrados.

Método de vegetación. Este método se basa en la suposición, de que la presencia de ciertas especies clímax en la cubierta vegetal bajo un rodal maduro es indicadora de la Calidad de Sitio.

Método ambiental. El método ambiental depende de la existencia de plantas indicadoras y se limita a las partes nórdicas (Canadá y norte de Estados Unidos de América), y se puede clasificar en: índice edáfico de sitio, tipos fisiográficos de sitios, ordenación y Biogeocenosis de Krajina.

Índice de Sitio en México a través de análisis troncales

Aguilar (1982)⁵, utilizó la metodología de análisis troncal, para obtener las curvas de crecimiento en altura, diámetro y volumen en relación a la edad, en el crecimiento de

⁵ Aguilar R., M. 1982. Estudio del crecimiento de *Pinus douglasiana* y *Pinus Lawsoni* en la región Centro de Michoacán.

Pinus douglasiana Mart. y *Pinus lawsoni* Roetzl. en el Campo Experimental Forestal Barranca de Cupatitzio, Michoacán.

Aguirre (1984)⁶, clasificó rodales coetaneos de *Pinus pseudostrobus* Lindl., conforme a su potencial productivo, para estimar Índices de Sitio en la región de Iturbide, Nuevo Leon; utilizó datos de análisis troncal de árboles dominantes, ajustados a siete modelos matemáticos, de los cuales el de Richards modificado, proporcionó los mejores resultados, por lo que se empleo para construir un sistema de curvas polimórficas de Índice de Sitio a intervalos de 3 metros entre ellas. El primer modelo presentó un valor R^2 (coeficiente de determinación) de 59 % y el segundo de 98 % . Mediante la ecuación de Richards modificado, construyó una familia de curvas de Índice de Sitio de 15, 19, 23, 27 y 31 a la edad base de 35 años.

En la región forestal de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, Arteaga (1985)⁷, determinó curvas polimórficas de Índice de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. , mediante información de análisis troncal. Los modelos matemáticos que probó, fueron los sugeridos por Devan y Burkhart (1982, *sit. pos* Arteaga, *op. cit.*) para *Pinus taeda* L. y el utilizado por Aguirre (*op. cit.*).

Cano y Nevarez (1980)⁸, utilizaron la técnica de análisis troncal para determinar la calidad de estación de *Pinus douglasiana* Mart. en áreas de corta del Plan Piloto Atenquique en el estado de Jalisco. La información fue tomada en rodales coetáneos no intervenidos durante los últimos 10 años.

Kiessling (1978⁹, 1981¹⁰), hizo referencia a que para determinar los crecimientos e incrementos de un árbol, se relaciona directamente con la técnica llamada análisis troncal, que después de un estudio minucioso de los resultados de los trabajos de medición por computo electrónico y elaboración de gráficas; permite conocer las características antes mencionadas por árbol, rodal o paraje y determinar con mayor precisión los Índices de Sitio, turnos, tiempos de paso, coeficientes mórficos, tablas de producción, trabajos culturales necesarios en las diferentes condiciones silvícolas y planes de manejo forestal. Así, por medio de esta técnica se han determinado los

⁶ Aguirre C., O. A. 1984. Estimación de Índice de Sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en la región de Iturbide, Nuevo León.

⁷ Arteaga M., B. 1985. Índice de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Chignahuapan Zacatlán, Pue.

⁸ Cano C., J. y D. Narvaez Ch. 1980. Simulación a través del tiempo de algunos parámetros de crecimiento de *Pinus douglasiana*.

⁹ Kiessling D., F. J. 1978. Análisis troncales, ejecución, aplicación actual y perspectivas.

¹⁰ 1981. Análisis troncales.

Índices de Sitio para *Pinus arizónica* Engelm., *P. duranguensis* Mart. *P. ayacahuite* Ehrenb., *P. engelmannii* Carr. y *P. leiophylla* Schl. et Cham., en el norte del país.

Mass (1970)¹¹, elaboró un instructivo sobre la metodología para realizar estudios de crecimiento del arbolado, denominada análisis troncal; la que constituye una herramienta muy útil para determinar la calidad de estación, la edad de los primeros aclareos, el turno de aprovechamiento y el tipo de productos que es posible obtener, datos que son de primordial importancia para el manejo racional de los bosques. Este autor ejemplifica construyendo un perfil interior de un árbol de *Pinus montezumae* Lamb. proveniente del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla., así como la elaboración de gráficas de crecimiento e incremento en altura, en diámetro, en área basal y en volumen entre otros.

Mass y Sánchez (1978)¹², determinaron los índices de localidad de *Pinus douglasiana* Mart., *P. herrerae* Martínez, *P. lawsoni* Roetzl., *P. michoacana* Martínez, *P. oocarpa* Shiede., y *P. pseudostrobus* Martínez, en el occidente del estado de Michoacán. Utilizaron la técnica de análisis troncal, generando información para la construcción de tarifas de crecimiento en altura.

Musálem (1977)¹³, utilizando la técnica de análisis troncal, determinó para la región de Atenquique, Jalisco, los Índices de Sitio para *Pinus douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schl. et Cham., *P. lumholtzii* Rob. et Fer., *P. michoacana* Martínez y *P. oocarpa* Shiede.

Ramírez (1978)¹⁴, hizo referencia a que dentro del área del plan piloto de mejoramiento silvícola Basaseachi, en Chihuahua, se utilizó la técnica de análisis troncal, para elaborar curvas de Índices de Sitio con datos de árboles dominantes de las especies *Pinus arizónica* Engelm, *P. engelmannii* Carr., *P. duranguensis* Mart., *P. leiophylla* Schl. et Cham. y *P. lumholtzii* Rob. et Fer.

Rodríguez (1982)¹⁵, realizó un estudio mediante la técnica de análisis troncal y levantamiento de suelos en la especie *Pinus montezumae* Lamb. en estado natural en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. Determinó tres calidades de estación calificadas a la edad base de 50 años por los Índices de Sitio rico, medio y

¹¹ Mass P., J. 1970. Instructivo para realizar análisis troncales.

¹² Mass P., J. y E. Sánchez. 1978. Tarifas de crecimiento en altura e índice de localidad de 7 especies de coníferas del occidente de Michoacán.

¹³ Musálem L., F. 1977. Tablas de producción preliminares de Atenquique. pp.409-432.

¹⁴ Ramírez M., G. 1978. Plan piloto de mejoramiento silvícola "Basaseachi". pp. 67-74.

¹⁵ Rodríguez F., C. 1982. Determinación de la calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el C.E.F. San Juan Tetla.

pobre. Las propiedades edáficas que mayor influencia presentaron en el desarrollo en altura, y que determinan la capacidad productiva de los suelos ocupados por la especie estudiada, en las calidades de estación determinadas son: pH, contenido de limo y arcilla de la capa de suelo de 0-50 cm de profundidad y contenido de arcilla de la capa de suelo de 50-70 cm y 70-100 cm de profundidad.

Torres (1984)¹⁶, utilizó la técnica de análisis troncal, con el fin de evaluar con mayor precisión el crecimiento en altura de *Pinus hartwegii* Lindl., en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México y determinar las diferentes calidades de sitio para apoyar el estudio sobre tablas de rendimiento de densidad variable para esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Localización. El ejido forestal La Selva, se encuentra situado dentro de la región de Huayacocotla, Ver. Esta región se localiza en la porción oriental del estado de Hidalgo y noroccidental del estado de Veracruz, entre las coordenadas geográficas 20° 05' y 20° 53' de latitud norte, entre los 98° 45' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

Los límites del ejido son: al norte, con la congregación de Helechales, algunas pequeñas propiedades y con el camino Huayacocotla-Zontecomatlan, Ver., al sur, con algunas pequeñas propiedades, el ejido de Tejocotes y el poblado de Huayacocotla; al este sirve de límite el arroyo El Juty y al oeste limita el arroyo El Guajolote y algunas propiedades del estado de Hidalgo.

Orografía. El ejido La Selva presenta un relieve irregular típico de las zonas montañosas, formando cañadas de profundidad variable, en las que se forman pequeños valles rodeados con laderas que presentan inclinaciones que oscilan entre el 5 y 60 % o más. Las elevaciones montañosas más importantes son: al norte, el cerro Tlacoteptl con casi 2,250 msnm, el cerro del Aguila con 2,150 msnm, el cerro del Corcovado con 2,270 msnm; al sur el cerro del Chillador que alcanza los 2,150 msnm, el cerro de los Panales con 2,300 msnm y el cerro de los Hermanos con 2,280 msnm;

¹⁶ Torres R., J. M. 1984. Tablas de rendimiento de densidad variable para *Pinus hartwegii* Lindl. en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México.

las partes mas planas y con pequeños lomerios en los alrededores del poblado abarcan los parajes del Huacal, El Manzanito, La Mesa, El Aserradero, Rancho Quemado, La Puerta y Los Parajes, principalmente. En general la orientación de los accidentes topográficos presentan exposiciones norte, sur, este y oeste que ejercen una influencia directa en la distribución de las especies forestales existentes.

Geología. El ejido La Selva forma parte de la región de Huayacocotla. Esta región se encuentra ubicada en la cuenca Tampico-Misantla, dentro de la provincia geológica VI noroeste de México, que tiene como límites: al norte, el Rio Guayalejo y la poblacion Xicotencatl, Tamps., así como el extremo sur de la Sierra de Tamaulipas. Al sur, las poblaciones de Nautla y Misantla, Ver., y el maciso Teziutlán. Al este, el Golfo de México y al oeste la sierra Madre Oriental. (López, citado por Ramírez y Palma, 1980¹⁷).

Hidrología. El ejido La Selva, presenta corrientes de agua permanentes y temporales durante la época de lluvias. Los principales arroyos permanentes que atraviesa de este a oeste la zona montañosa son: arroyo del Manzano y arroyo del Manzanito, en la parte norte del poblado; en la parte sur el arroyo La Carpa, arroyo Santoyo, arroyo Buenavista, arroyo Agua Linda y arroyo de Los Lavaderos, principalmente. Como se menciona en la localización del Ejido, el arroyo el Guajolote y el arroyo el Juty, corren a lo largo de los límites oeste y sureste respectivamente.

Suelos. Según la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para grandes grupos, los suelos son Luvisoles Órticos (suelos jóvenes con un horizonte A úmbrico y de fertilidad moderada). El proceso de la formación de estos suelos es de tipo ferralítico o sesquióxido (etapa primaria de un proceso de laterización). Los suelos en su mayoría son de formación coluvial y de profundidad variable. La textura en general es franco-arcillosa, debido al intemperismo de lutitas; en las vegas de los arroyos se presenta una textura arenosa. Los colores varían entre amarillo ocre, café sepia y anaranjado. El drenaje superficial es muy rápido, debido a la presencia de humus; en cambio el interno es lento debido a la textura arcillosa; el manto freático se encuentra a diferentes profundidades debido a la irregularidad del terreno. Los suelos están libres de sales solubles y sodio intercambiable, el pH es fuertemente ácido en el horizonte superior debido al contenido de materia orgánica. (Ramírez y Palma, *op. cit.*).

¹⁷ Ramírez R., F. y J. Palma G. 1980. Proyecto para el establecimiento de una reserva ecológica en Huayacocotla, Ver.

Clima. En el estudio agrológico de una parte del ejido La Selva, la cantidad y la distribución anual de lluvia registrada fue muy variable. La precipitación total media anual durante el periodo de 1960 a 1978 fue de 1,340.61 mm; la temperatura media en el mismo periodo fue de 10.62° C. en el mes de enero y de 16.38° C en el mes de mayo, con un promedio anual de 11.32° C. El promedio anual de días nublados durante el periodo de 1960 a 1979 fue de 107, registrándose 4.37 días en el mes de abril y 11.79 en el mes de septiembre. La estación lluviosa se inicia generalmente en julio y termina en octubre con un 81.5 % de lluvia total anual. (Ramírez y Palma, *op. cit.*). Un porcentaje considerable de la precipitación es en forma de llovizna acompañada de abundante nubosidad, factores que mantienen una alta humedad relativa durante una considerable parte del año. Este fenómeno es consecuencia de la descarga de humedad que acarrear los vientos del Golfo, que azotan esta porción de la Sierra Madre Oriental (García, 1970, citado por Ramírez y Palma, *op. cit.*). De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1964)¹⁸, le corresponde un clima cálido subhúmedo con lluvias en el verano Awl (w) (e).

Vegetación. Los tipos de vegetación predominante dentro de los límites del ejido La Selva son: bosque de pino-encino y bosque caducifolio. En el municipio de Huayacocotla; se han realizado algunas colectas dentro de las cuales las más importantes son la de R. Hernández M., J. I. Calzada, J. J. Fay, L. I. Nevling, W. Márquez y J. Palma G. Con base a los recorridos y observaciones de campo, así como por los ejemplares reportados en las colectas mencionadas, las especies forestales más importantes dentro del bosque de pino-encino son *Pinus patula* Schl. et Cham., constituye la especie de mayor abundancia y extensión a lo largo y lo ancho de la superficie de este ejido, formando masas casi puras en el estrato arbóreo superior. En las partes menos húmedas aparece el *Pinus teocote* Schl. et Cham. En menor grado se presenta *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus leiophylla* Schl. et Cham. El género *Quercus* está representado por las siguientes especies: *Quercus microphylla* Nee, *Q. mexicana* Humb *Q. diversifolia* Nee., *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., *Q. repanda* Humb et Bonpl., *Q. affinis* Scheidw., *Q. conspersa* Benth., *Q. reticulata* Humb. et Bonpl., *Q. rugosa* Nee y *Q. eduardi* Trelease, principalmente. En el bosque caducifolio y presentándose principalmente en cañadas y superficies pequeñas se observan: *Liquidambar macrophylla* Oersted, *Acer negundo* L., *Alnus argenta* (Sch) Spach., *Alnus firmifolia* Fern., *Alnus acuminata* H. B. et K. y *Arbustus grandulosa* Martens et Galcootti.

¹⁸ García, E. 1964. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).

Método de muestreo

Para llevar a cabo la determinación de los Índices de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham., se realizó el análisis troncal de la siguiente forma:

Para evaluar la calidad de sitio en la zona de distribución natural de la especie, se llevó a cabo una separación con base a factores fisiográficos fácilmente identificables en el campo, tales como: altitud, exposición y pendiente. La base de separación de estos factores que determinaron las condiciones de crecimiento de los árboles analizados, consideró la realización de un muestreo selectivo sobre rodales homogéneos y coetáneos que estuviesen localizados en diferentes tipos de suelos que a su vez reflejan las diferentes condiciones de crecimiento de los árboles. Se localizaron un total de 72 árboles muestra para la realización de análisis troncal, los cuales fueron identificados mediante un número clave.

Selección del arbolado para análisis troncal.

En esta etapa se identificaron en campo, las condiciones de crecimiento para la selección de los individuos que fueron sometidos a análisis troncal.

La selección de los individuos se realizó con base a las siguientes características:

Análisis de crecimiento en altura. Para analizar el crecimiento en altura se procedió de la siguiente forma:

- Se contaron los anillos de crecimiento en el disco tomado a 0.30 m de altura del fuste, evitando incluir los falsos anillos.
- Al número de anillos encontrados, se sumaron 2 años (tiempo estimado para que el árbol haya alcanzado la altura de 0.30 m) para obtener la edad total del árbol.
- Se contó el número de anillos completos en cada uno de los discos tomados a equidistancias de 2 m a partir de la altura de 1.30 m, anotándose en los formatos correspondientes.
- Se procedió a calcular las edades, a las cuales el árbol fue alcanzado sucesivamente las alturas de 1.30, 3.30, 5.30, 7.30 m, etc. Lo anterior se realizó por diferencia entre la edad actual del árbol y el número de anillos encontrados en cada sección.

Procesamiento de datos de análisis troncal. Los datos de campo de los 72 árboles muestreados obtenidos mediante los análisis troncales, fueron agrupados en pares de datos de edad-altura en periodos de cada 10 años, desde la primera hasta la última década.

Ordenados los datos, se capturaron en una microcomputadora. Posteriormente los datos fueron procesados mediante el procedimiento de Modelos Lineales del paquete SAS (Sistema de Análisis Estadístico), de los que se obtuvieron las curvas anamórficas de Índice de Sitio correspondientes a:

- Individuos dominantes en cuanto a altura-edad
- Sin presencia de huellas de incendios forestales.
- Sin presencia de plagas y enfermedades.
- Sin bifurcaciones en el fuste.

Las condiciones de crecimiento incluyeron un rango de altitud de 1,900 a 2,250 m.s.n.m. en exposiciones norte, sur, este y oeste, así como pendientes desde 0 a 60 %.

Toma de datos de analisis troncal. Se procedió de acuerdo a la metodología propuesta por Klepac (1976)¹⁹, que consiste en:

- Derribo y troceo de los árboles elegidos.
- Marca con crayon amarillo a la altura de 1.30 m y 0.30 m (punto de derribo) y troceo en secciones de 2 m de longitud a partir de 1.30 m y en un punto hasta 1 m de la última troza. Algunos árboles fueron troceados a cada 2.60 m (medida comercial) después de la sección de 1.30 m, debido a la necesidad de obtener trozas un poco mas largas.
- Obtener discos o rodajas de 5 cm de ancho en cada una de las trozas y marca con un crayon rojo la altura correspondiente (0.30, 1.30, 3.30, 5.30, 7.30 m, etc.); por la cara contraria a donde se realiza la medición de los anillos de crecimiento, anotación en cada rodaja, el sitio, número de árbol y especie.

¹⁹ Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos básicos provenientes de los análisis troncales efectuados, se procedió a la obtención de un modelo de predicción del crecimiento en altura en función de la edad, (Schumacher, *op. cit.*), el cual tiene la siguiente expresión:

$$\text{Log. Alt} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Edad}_1 + E_i \dots\dots (1)$$

El modelo mencionado genera la curva guía de crecimiento en altura que sirve como base para la generación de una familia de curvas anamórficas de Índice de Sitio.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro N° 1), indicaron evidencia altamente significativa ($Pr \geq 0.0001$), de la relación existente entre el crecimiento en altura y el inverso de la edad para *Pinus patula*.

El modelo ajustado para la curva guía de crecimiento de la especie, motivo del presente estudio, adoptó la expresión siguiente:

$$\text{Log. Alt} = 3.64880091 - 14.8520400 \text{ Edad}^{-1} \dots\dots (2)$$

Con respecto a los parámetros obtenidos para el modelo (2), los resultados del análisis de varianza presentaron lo siguiente:

- Existe evidencia altamente significativa ($Pr \geq 0.0001$) de que el parámetro $\beta_0 = 3.64880091$, contribuye al ajuste del modelo obtenido (Cuadro N° 1).
- Existe evidencia altamente significativa ($Pr \geq 0.0001$) de que el parámetro estimado, $\beta_1 = 14.8520400$ contribuye al ajuste del modelo obtenido (Cuadro N° 1), al indicar un ajuste correcto de los datos obtenidos al modelo señalado.

Asimismo, el valor obtenido para este parámetro señala que a medida que la edad se incrementa en una unidad, el inverso de la misma disminuye dando como resultado un crecimiento en la altura en -14.85 unidades logarítmicas (Cuadro N° 1).

Con base en los resultados obtenidos para el modelo de la curva guía y de acuerdo con la metodología indicada por Clutter *et al.* (*op. cit.*), se procedió de la manera siguiente a la obtención del modelo de Índice de Sitio:

FUENTE DE VARIAC.	GRADOS DE LIBERT.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FC	NIVEL DE SIGNIF. (Pr)	COEFICIENTE DE DETER. (r ²)
Modelo	1	60.76770649	60.76770649	479.83	0.0001**	0.766193
Error	299	18.54348125	0.06201833			
Total no corregido	300	79.31118775				
Parámetro (s) Estimado (s) B1	Valor del parámetro		Nivel de Significancia			
Interceptada al origen	3.64880091		0.0001 **			
Inverso de la edad (1/edad)	-14.85240400		0.0001 **			

**Altamente significativo al nivel de probabilidad indicado.

Cuadro 1. Análisis de varianza para el modelo de predicción de la curva guía de *Pinus patula*, para la obtención de la familia de curvas anamórficas de Índice de Sitio en la región de Huayacocotla, Veracruz, México.

El modelo In (altura)/reciproca de edad (Schumacher, *op. cit.*), supone una familia de curvas edad/altura de la forma:

$$A_i = K_{oj} e^{\beta_1 E - 1}$$

Donde:

A_i = altura del árbol o rodal a edad E, en la *i*ésima curva.

E = edad del árbol o rodal.

K_{oj} = constante asociada con la *i*ésima curva.

β_1 = constante con el mismo valor para todas las curvas.

e = base de los logaritmos naturales.

Así, cada familia de curvas es entonces anamórfica para cualquiera de las dos curvas tanto *i* como *j*.

$$\frac{H_i}{H_j} = \frac{K_{oi} e^{\beta_1 E^{-1}}}{K_{oj} e^{\beta_1 E^{-1}}} = \frac{K_{oi}}{K_{oj}}$$

La cual es una constante para todas las edades.

El modelo que se muestra en la ecuación anterior normalmente se usa en la forma logarítmica:

$$\ln(A_i) = \ln(K_{oj} + \beta_1 E^{-1})$$

De esta forma las curvas de Índice de Sitio forman una familia de líneas paralelas con pendiente constante pero con interceptadas que varían. Así, con esta linealización el método de la curva guía, para los datos edad-altura, es el ajuste de una ecuación de la forma:

$$\ln(A) = \beta_0 + \beta_1 E^{-1}$$

En muchas aplicaciones de este modelo los datos edad-altura, pueden ser de medición de sitios temporales, remediación de árboles o bien, análisis troncales.

La sustitución de los valores estimados de β_0 y β_1 de la ecuación anterior proporcionan la curva guía, la cual es una línea promedio ($\ln(\text{altura})/\text{reciproca de la edad}$), construida con los datos de la muestra. El desarrollo de las líneas individuales edad-altura, es paralelo a la curva guía. Estas líneas paralelas tienen como referencia la selección de un índice de edad (E_0), rotulando así cada línea de valores de altura obtenidos a la edad E_0 . Así estas líneas se comportan como formas logarítmicas de las curvas de Índice de Sitio.

La ecuación de una línea particular de Índice de Sitio se obtiene por el hecho de que cada una de estas líneas tiene la forma:

$$\ln(A) = b_{0i} + b_1 E^{-1}$$

Donde b_1 es el coeficiente muestral estimado de B_1 y b_{0i} es un valor interceptado único, que está asociado con cada Índice de Sitio particular. Por definición cuando $E = E_0$ en esta ecuación A debe ser igual al Índice de Sitio, de tal manera que:

$$b_{0i} = \ln(IS) - b_1 E_0^{-1}$$

Donde:

IS = Índice de Sitio

Por sustitución en la ecuación $\ln(A) = \beta_0 + \beta_1 E^{-1}$, se obtiene:

$$\ln(A) = \ln(IS) + \beta_1 (E^{-1} - E_0^{-1})$$

La cual es la forma que se usa para estimar el índice con los valores de edad y altura de la muestra.

Para el caso del presente estudio en que los datos fueron tomados de análisis troncales, estos fueron tomados a diferentes secciones del fuste (0, 30, 1.30, 5.30, 7.30, 9.30 m etc. hasta la punta del árbol), así los pares de valores de edad de altura, fueron graficados y ajustados tomando intervalos de cada 5 años, en el caso de la edad y cada 5 metros en el caso de la altura, utilizando una edad índice de 40 años (edad base). Así logró conocerse el comportamiento de la curva guía y sus correspondientes curvas paralelas hacia arriba y hacia abajo de la misma.

Finalmente, la ecuación de la curva guía, como ya se anotó fue:

$$\ln(A) = 3.64880091 - 14.85240400 E^{-1}$$

Y la correspondiente ecuación de Índice de Sitio:

$$\ln(IS) = \ln(A) + 14.85240400 (E^{-1} - 40^{-1})$$

En la familia de curvas anamórficas generadas para *Pinus patula* se representan los Índices de Sitio calculados: 18, 22, 26, 30, 34 y 39 m a la edad base de 40 años.

Las tendencias de las curvas de Índice de Sitio, representan el valor promedio esperado dentro de un intervalo de 4 m a la edad base de 40 años para un determinado Índice de Sitio.

En la Figura N° 1, se observa que a edades iniciales (10-20 años), los Índices de Sitio se comportan de manera similar, siendo lo contrario a edades mayores, donde las curvas reflejan una notable diferencia en la tendencia. También puede notarse que el crecimiento inicial es mucho más rápido en los Índices de Sitio de mayor calidad y más lento en los de mala calidad, por lo que esta es la principal razón de la

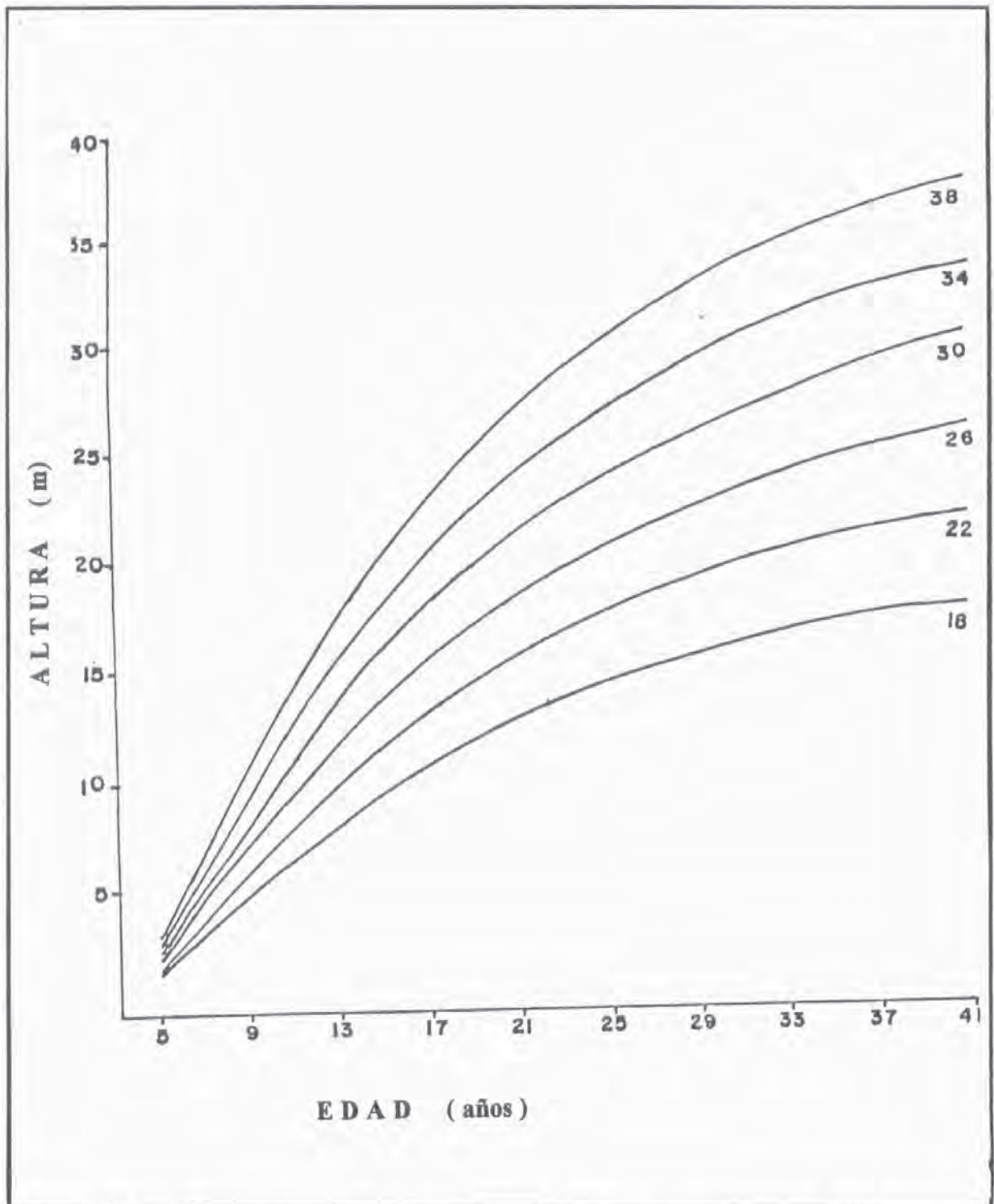


Figura N° 1. Curvas anamórficas de Índice de Sitio con edad base de 40 años para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, estado de Veracruz, México.

importancia de la determinación de los Índices de Sitio para el correcto manejo de los rodales bajo intervención silvícola.

Aunque el ajuste de la ecuación probada con los datos muestreados en árboles dominantes y codominantes de *Pinus patula* en la zona de estudio, proporcionó resultados satisfactorios; es necesario indicar que para validar el modelo, se deberá muestrear nuevos árboles en rodales homogéneos, con el fin de corroborar los Índices de Sitio obtenidos mediante el ajuste de la ecuación ensayada. La operación anterior puede realizarse con el auxilio de un taladro de Pressler y un clinómetro, para así obtener las nuevas relaciones de edad-altura. Posterior a esto, puede iniciarse una rodalización de la zona de trabajo en términos de diferenciar su calidad de estación, ya que refiriéndose en términos del manejo forestal, la calidad de estación puede definirse como la producción potencial maderable de un sitio para una especie o un grupo de especies y la cual está influenciada por el efecto de factores climáticos y edáficos que determinan el crecimiento de los árboles.

Comparando los resultados obtenidos por Aguirre (*op. cit.*) y Arteaga (*op. cit.*) con el presente estudio y apoyándose en que el análisis troncal reconstruye toda la vida del árbol (evolución de altura, diámetro y forma), puede afirmarse que esta técnica es la más recomendable a utilizar para encontrar los valores edad-altura, siempre y cuando las muestras se recolecten en rodales, lo más homogéneos posible y se cuente con los recursos necesarios para la recolección, coincidiendo entonces con lo sugerido por los autores de referencia.

En función de los resultados obtenidos en el presente estudio, se sugiere que la utilización de este tipo de investigaciones son de gran importancia en la determinación de la capacidad productiva de una especie o grupo de especies, ya que se detecta la potencialidad del suelo de los rodales bajo manejo silvícola y se logra tener mejores bases para la toma de decisiones, sobre el nivel de densidad de que debe tener un determinado rodal, de acuerdo a su calidad de estación. Por otro lado con el conocimiento de los patrones de crecimiento en altura, es posible llegar a tomar decisiones sobre la rotación de las intervenciones silvícolas (podas, preclaros, etc.) necesarias para el rendimiento sostenido de un rodal o bosque en particular.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El modelo no lineal empleado, represento en forma satisfactoria un ajuste adecuado al patrón de crecimiento en altura de *Pinus patula* ($r^2 = 0.76$).
- La familia de curvas anamórficas generadas para *Pinus patula*, representan los Índices de Sitio calculados, que fueron 18, 22, 26,30, 34, 38 m., a la edad base de 40 años.
- Las tendencias de las curvas de Índice de Sitio, representan el valor promedio esperado dentro de un intervalo de 4 m, a la edad base de 40 años para determinado Índice de Sitio
- Las curvas de Índice de Sitio obtenidas constituyen una herramienta indispensable para elaborar un mapa preliminar de calidades de estación de la especie en la zona de estudio.
- Se recomienda la determinación de curvas de Índice de Sitio en cada una de las especies de importancia económica de la región de Huayacocotla, Veracruz.
- Es importante iniciar estudios para determinar la capacidad productiva de las especies a través de métodos directos de evaluación, de información que se complementaría con alguna similar a la obtenida en el presente estudio, para su aplicación en el manejo de los bosques comerciales de la región.
- Se recomienda probar otros modelos de predicción, que hayan sido ensayados en bosques naturales de especies de coníferas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar R., M. 1982. Estudio del Crecimiento de *Pinus douglasiana* y *Pinus lawsoni* en la región Centro de Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Uruapan, Michoacán. 88 p.
- _____ 1990. Armonización de curvas de crecimiento y calidad de estación. *In*. Primera Reunion sobre Modelos de Crecimiento de Árboles y Masas Forestales. Pub. Esp. N° 44. INIF. México. pp. 169-181.
- Aguirre C., O. A. 1984. Estimación de Índice de Sitio para *Pinus pseudostrubus* Lindl., en la región de Iturbide, Nuevo Leon. Tesis Profesional. Depto. Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, Estado de México. 71 p.
- Arteaga M., B. 1985. Índice de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Chignahuapan Zacatlán, Puc. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Centro de Genética. Programa Forestal. Chapingo, Estado México. 181 p.
- Barnes H., G. 1962. Yield of evenaged stand of Western hemalock. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1273. 23p.
- Cano C., J. y D. Nevarez Ch. 1980. Simulación a través del tiempo de algunos parámetros de crecimiento de *Pinus douglasiana*. Documento mecanografiado. 138 p.
- Clutter J., L.; J. Forstson C.; L. Pienaar V.; G. Brister H. y R. Bayley L. 1983. Timber Management: a quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. 333 p.
- Daniel W., T.; J. Helms A. y F. Baker S. 1982. Principios de Silvicultura. Trad. Ramón Elizondo M. McGraw Hill. México. 482 p.
- García, E. 1964. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México. 71 p.

Kiessling D., F. J. 1978. Análisis troncales, ejecución, aplicación actual y perspectivas. *In*: La investigación forestal en las Unidades Forestales y Organismos Descentralizados (su coordinación e integración). Primera Reunión. Pub. Esp. N° 15. INIF. México. pp. 9-54.

_____ 1981. Análisis troncales. Productos Forestales de la Tarahumara. Chihuahua. Chih. 42 p.

Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, Estado de México. 365 p.

Mass P., J. 1970. Instructivo para realizar análisis troncales. Bol. Div. N° 23. INIF. México. 10 p.

_____ y E. Sánchez. 1978. Tarifas de crecimiento en altura e índice de localidad de 7 especies de coníferas del occidente de Michoacán. U. I. E. F. Michoacana de Occidente, S. de R. L.. Dirección Técnica Forestal. SSF., SARH. México.

Musálem L., F. J. 1977. Tablas de producción preliminares de Atenquique. pp. 409-432. *In*: Memoria del Curso de Silvicultura en Montes de Coníferas. SSF. SARH. México.

Ramírez M., G. 1978. Plan piloto de mejoramiento silvícola "Basaseachi". *In*: La investigación Forestal en las Unidades Forestales y Organismos Descentralizados, su coordinación e integración. Primera Reunión. Pub. Esp. N° 15. INIF. México. pp. 67-74.

Ramírez R., F. y J. Palma G. 1980. Proyecto para el establecimiento de una reserva ecológica en Huayacocotla, Ver. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. México. 137 p.

Rodríguez F., C. 1982. Determinación de la calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el C. E. F. San Juan Tetla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Centro de Genética. Programa Forestal. Chapingo, Estado de México. 134 p

SARH. 1978. Estudio agrológico de una parte del Ejido La Selva. Documento Interno.

- Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. *Journal of Forestry* 37: 819.820.
- Torres R., J. M. 1984. Tablas de rendimiento de densidad variable para *Pinus hartwegii* Lindl. en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México. Tesis Profesional. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 278 p.