

ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DE *Pinus douglasiana* Martínez Y *Pinus lawsonii* Roetzl EN LA REGIÓN CENTRAL DE MICHOACÁN.

Aguilar Ramírez Mario.¹

RESUMEN

México es un país con importantes recursos forestales pero, cuya magnitud y características no son aún lo suficientemente conocidas para contar con las bases necesarias que permitan aplicar una silvicultura más eficiente y propicie un óptimo aprovechamiento de los mismos, es decir, no se conocen las características de desarrollo ni los hábitos de vida y crecimiento de los árboles y masas forestales.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como propósito estudiar las características de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roetzl, mostrar las técnicas utilizadas para su estudio y probar un modelo matemático propuesto en este tipo de trabajos, el cual se realizó en el Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, ubicado en Uruapan, Michoacán, México.

La elección de los árboles muestra se realizó en parajes seleccionados, en los que previamente se había definido la calidad de estación. La secuencia metodológica fue a través de una serie de análisis troncales de 40 árboles, 20 por especie, obteniéndose así las curvas de crecimiento en altura, diámetro y volumen en relación a la edad.

Estas curvas se analizaron, derivándose la información que originó una tabla con las características epidométricas por especie y calidad de estación, las cuales son; edad, diámetro normal (DAP) sin corteza, DAP con corteza, altura, volumen, incremento corriente anual (ICA), índice de localidad, edad a 1.30 m., edad al primer y segundo aclareo, turno técnico y turno absoluto.

Para el ajuste de altura, se utilizó el modelo matemático de Schumacher con la ecuación: $LnH_0 = LnH_{max} b/Ak$, mediante el cual se obtuvieron las ecuaciones que

¹ Ingeniero Agrónomo especialista en bosques, Investigador del C. E. Uruapan. CIR-Pacífico Centro, INIFAP, SAGAR

proporcionan los valores ajustados del crecimiento en altura y las tarifas de crecimiento en altura por especie y calidad, teniéndose una correlación promedio de 99%.

Para las curvas de calidad de estación, se utilizó la fórmula:

$$\text{LnS} = a + (\text{LnHo} - a)(A/A_i)^k,$$

y las curvas así obtenidas se hicieron pasar por los valores de índice de localidad, que delimitan las calidades de estación y que indican el valor de la productividad en forma cualitativa.

Esta misma fórmula se utilizó también para determinar el índice de sitio de los rodales del área de estudio, dada su edad y altura dominante ubicándolos en la calidad correspondiente y obteniéndose así un mapa por calidades de estación.

Palabras clave: Curvas de crecimiento, densidad, *Pinus douglasiana*, *Pinus lawsonii*, Michoacán.

ABSTRACT

Mexican forest resources are very important however, knowledge as to their extent and characteristics is still insufficient to provide a basis for the application of efficient silvicultural methods, or to assure the optimum utilization of the resources.

This study obtains the growth patterns of *Pinus douglasiana* Martínez and *Pinus lausonii* Roetzl, and illustrates the technique used to test a mathematical model. Data was obtained in Barranca de Cupatitzio experimental station in the state of Michoacán, México.

The sample trees were selected in pairs within predefined site classes providing material for the construction of a series of stem analyses of 40 trees (20 of each specie) Curves of height, diameter and volume growth in relation to age were obtained.

Further analyses permitted the construction of a production table by species by site quality. The table include age, diameter at breast (DBH) over bark, and (DBH) under bark height, volume, form factor, current annual increment (CAI), and mean anual increment (MAI) in volume, site index, age to reach breast heighty, technical and absolute rotation and the total production.

A mathematical model based on the Schumacher equation was used selected from four models tested:

$$\text{LnHo} = \text{LnHmax} + b/\text{Ak}$$

This provided height growth tariffs by species site quality with a mean coefficient of determination of 99%.

The following formula was used:

$$\text{LnS} = a + (\text{LnHo} - a) (A/\text{Ai})^k$$

which forced the curves to pass through the site class value at the index ages, thus defining the site classes.

The same formula was used to determine site index of the stand in the studied area from their age and dominant height, from which a site quality map was obtained.

Key words: growth curves, density, *Pinus douglasiana*, *Pinus lawsonii*, Michoacan.

INTRODUCCIÓN

México es un país con grandes recursos forestales en el que por sus diversas características y muy particulares condiciones ecológicas, las coníferas han alcanzado una plena expresión florística contándose con 3 familias, 8 géneros y más de 90 especies y variedades, de las que la familia de las pináceas, específicamente el género *Pinus*, es el que por su abundancia, el valor de sus productos y la gran variedad de especies, resulta ser el más importante económicamente.

A pesar de la potencialidad de este recurso aun no es factible satisfacer la demanda creciente de los productos del bosque y sus derivados, lo que se debe a la poca tradición forestal del país y al desconocimiento de los patrones de respuesta de los árboles y masas forestales a las prácticas de manejo silvícola, entre otras causas; del total de la superficie arbolada, tan solo 8.5 millones de hectáreas, esto es el 19.5%, se encuentra bajo alguna forma de uso forestal, no aprovechándose el resto.

Por ello y ante la necesidad urgente de lograr el progreso de la silvicultura, una de las finalidades del presente trabajo es la de contribuir al conocimiento acerca del comportamiento de las especies, partiendo de la premisa de que un bosque no es una

entidad estática sino un ente dinámico. Tal conocimiento es básico, pues de las características ecológicas y silvícolas de las especies, es decir de sus hábitos de vida y crecimiento, se deben determinar los parámetros para el estudio de la silvicultura y ordenación como son; índices de localidad, época e intensidad de los aclareos, turnos, incrementos, etc., con los cuales se definen los tratamientos silvícolas a aplicar.

Una de las tendencias actuales para el desarrollo de estos estudios es el empleo de los Modelos Matemáticos de Crecimiento, que es la aplicación de las matemáticas a la silvicultura con el propósito de simular y predecir las características de árboles y masas forestales en el tiempo y en el espacio, aprovechando el conocimiento de las leyes naturales que rigen su desarrollo. Es por ello que ante la necesidad y la importancia de realizar este tipo de estudios, se muestran las técnicas usadas en el estudio del crecimiento de 2 especies del género *Pinus*; *P. douglasiana* Martínez y *P. lawsonii* Roehl, en el Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, ubicado en la región purépecha, Michoacán, las cuales por su grado de presencia y desarrollo son unas de las más importantes de la región central del estado.

Los objetivos del estudio realizado, fueron determinar las características epidométricas de las especies en estudio y con ellas determinar, mediante un modelo matemático, las tarifas de crecimiento en altura, las curvas de índice de sitio y desarrollar un mapa por calidad de estación que cubre parcialmente el área de estudio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Arteaga (1982)², señaló que entre los métodos indirectos para evaluar la calidad de estación se encuentra el método fisiográfico, desarrollado por Hills en 1952, el cual consiste en evaluar simultáneamente los factores físicos y bióticos de cada región. La clasificación entre los distintos tipos fisiográficos de sitio se atribuye a las diferencias encontradas en los gradientes de temperatura, humedad del suelo, fertilidad del suelo y exposición. Así mismo, puntualizó sobre las ventajas y limitaciones del método en proyectos de reforestación.

Rodríguez (1982), a través de un método combinado que utiliza las técnicas de análisis troncal y el levantamiento de suelos, determinó el índice de sitio para *Pinus montezumae* en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, estado de Puebla, a través de la relación edad-altura y propiedades físico-químicas del suelo. Este autor

² Arteaga M., B. 1982. Evaluación de la calidad de estación con base a características fisiográficas. In: Resumen de Seminario de Investigación. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

considera para este propósito tres rangos altitudinales, tres exposiciones y tres niveles de pendiente, determinando tres calidades de estación, a la edad base de 50 años para cada una de las altitudes y exposiciones respectivamente.

Actualmente con el Método de Desarrollo Silvícola, los índices de sitio se determinan con base a la relación que existe entre la edad media-altura dominante del arbolado en cada sitio, se grafican los puntos de esta relación y se trazan curvas para definir los índices de sitio; de acuerdo al rango total de variación en altura a la edad base (50 ó 100 años). Dependiendo de la variación en la relación edad-altura del arbolado y a criterio del responsable de manejo, se pueden definir desde 1 a 5 índices de sitio.

Maldonado (1983), describe la secuencia de los pasos básicos de una metodología específica para construir curvas de índice de sitio, haciendo hincapié en las ventajas del índice de sitio como una herramienta de gran utilidad para el silvicultor para predecir la productividad de los suelos forestales. Además recomienda iniciar o intensificar, según sea el caso, estudios sistemáticos para determinar el índice de las especies forestales de mayor importancia económica en toda el área forestal del país, como una medida inicial para lograr un manejo forestal adecuado de los bosques de coníferas.

Arteaga y Rodríguez (1983)³, con datos obtenidos a partir del análisis troncal de 81 árboles dominantes de *Pinus montezumae* en el Campo Experimental San Juan Tetla, estado de Puebla, desarrollaron curvas polimórficas de índice de sitio con edad base invariante, logrando el mejor ajuste a sus datos con la ecuación desarrollada por Clutter y Lenhart (1968), $dY/dx = b X + b Y$; donde dY/dx es el incremento en altura al momento considerado, calculado a partir del ajuste de las secciones i e $i-1$.

Maldonado (*op. cit.*), elaboró siete curvas polimórficas de índice de sitio a una edad base de 50 años para *Pinus oaxacana*, en la región Los Coatlán, estado de Oaxaca, utilizando 468 árboles dominantes y codominantes de rodales puros y coétaneos. Este mismo autor obtuvo además 2 ecuaciones de crecimiento para predecir el incremento en diámetro y área basal bajo diferentes combinaciones de densidad e índice de sitio.

Arteaga y Rodríguez (1985)⁴, construyó curvas polimórficas de índice de sitio con edad base a 35 años para *Pinus patula* en la región Chignahuapan-Zacatlán, estado de Puebla, a partir de información obtenida de análisis troncal utilizando la ecuación de Richards modificada. Evaluó la expresión obtenida del ajuste de la ecuación a través de un procedimiento no lineal para edades obtenidas a través de análisis troncal y taladro

³ Arteaga M., B. y C. Rodríguez F. 1983. Índice de Sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en el Campo Experimental Foestal San Juan Tetla.

⁴ Arteaga M., B. y C. Rodríguez F. 1985. Índice de Sitio para *Pinus patula* Schel et Cham., en la región Chignahuapan-Zacatlán, Pue.

de Pressler, encontrando que los primeros ofrecen mayor calidad de información, aun cuando presentan el inconveniente del elevado costo de su obtención.

Garnica (1987)⁵, construyó curvas anamórficas de índice de sitio, mediante el método de la curva guía para rodales puros coetáneos de *Pinus pseudostrobus* de la región El Tlacuache de San Pedro el Alto, Zimatlán, estado de Oaxaca, utilizando el modelo de Schumacher ($\ln(h)=b_0+b_1E-1$), separó 5 calidades de estación a intervalos de 3 metros con edades de 5 hasta 100 años, considerando una edad base de 50 años.

Benavides (1987)⁶, a través de análisis troncal de 25 árboles de *Pinus michoacana* y de 6 *Pinus oocarpa* del área demostrativa forestal Tapalpa, Jalisco, ajustó curvas de índice de sitio, desarrollando la metodología descrita por Alder (1980), empleando el modelo de Schumacher ($\ln H = a + b (1/Ek)$), con el cual se obtuvieron curvas polimórficas, utilizando la edad a la altura de 1.30 m, en lugar de la edad total y como edad base 45 años.

Aguilar (1981a⁷ y 1982b⁸), utilizó el modelo de Schumacher para realizar tarifas de volúmenes a partir de análisis troncales, así como para realizar estudios de crecimiento.

Chester (1973)⁹, mostró los procedimientos y desarrollo de un modelo matemático para graficar relaciones entre variables, como una extensión de componente simple. El autor menciona todo sobre componentes múltiples y modelación multidimensional. Estos procedimientos son particularmente usados en la descripción única de los principales efectos e interacciones.

Trousdell, Beck y Lloyd (1974), presentaron la construcción de curvas polimórficas de índice de sitio para rodales naturales de Pino Loblolly (*Pinus taeda* L.) en la llanura costera del Atlántico, que se desarrollaron a partir de análisis troncales, usando un modelo de crecimiento sigmoideo. Estas nuevas curvas dan estimaciones no influenciadas de índice de sitio que son consistentemente mejor que aquellas generadas por curvas existentes.

Bailey y Clutter (1974)¹⁰, mostraron un método matemático para el ajuste de curvas de índice de sitio, utilizando para ello la regresión jerárquica, lo que implica el uso de

⁵ Garnica S., Z. 1987. Índice de Sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en la región del Tlacuache, San Pedro el Alto, Oax.

⁶ Benavides S., J. D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante Índice de Sitio del *Pinus michoacana* cornuta Martínez y *Pinus Oocarpa* Schiede para el A.D.F. Tapalpan, estado de Jalisco.

⁷ Aguilar R., M. 1981a. Armonización de crecimiento para determinar la calidad de estación. pp. 169-183.

⁸ Aguilar R., M. 1982b. La Ecuación de Schumacher y su aplicación en estudios del crecimiento y clase de sitio.

⁹ Chester, E. J. 1973. Matchacurve-3: multiple component and multidimensional mathematical models for natural resource studies

¹⁰ Bailey, R. L. y J.L. Clutter. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. pp. 155-159.

estimadores de pendiente común, término independiente común y del análisis de covarianza; muestran además que es posible calcular el coeficiente no lineal k directamente, usando un modelo de regresión que contiene a este coeficiente en forma lineal, asumiendo que se tienen datos de mediciones sucesivas, (de parcelas permanentes de muestreo o de análisis de fustes) de modo que se pueda estimar el incremento de la altura.

Fries (1974)¹¹, mostró en forma resumida una colección de documentos de la IUFRO, en los que se muestran varias ideas útiles sobre la construcción de modelos de crecimiento.

Hanson (1975)¹², describió brevemente un modelo que pronostica el crecimiento de rodales y el rendimiento en volúmenes a partir de datos de índice de sitio, área basal, árboles por acre y edad del rodal; el modelo es válido para rodales con edad de 20 a 160 años y es válido para predecir los efectos de aclareos.

Barrett (1978)¹³, obtuvo al derivar datos de análisis troncales en 27 parcelas de Oregon y 3 en Washington, el crecimiento en altura, las curvas de sitio y las ecuaciones para rodales coetaneos manejados de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Laus.) al este de Cascade Range en Oregon y Washington, Estados Unidos de América. Las curvas proveen estimadores válidos del índice de sitio y del crecimiento potencial en altura, donde dicho crecimiento no ha sido suprimido por una densidad alta o por factores relacionados.

Franco (1978)¹⁴, realizó un intento para incorporar conceptos fundamentalmente biológicos en los modelos aplicados en la ciencia forestal, desarrolló un modelo con base en principios biológicos, pero para la calibración del mismo tuvo que depender de una tabla normal de producción y dar como hecho el que la forma de la copa del *Pinus hartwegii* es cónica.

Stolyarov y Kuznetsova (1978)¹⁵, revisaron la literatura publicada referente a la aplicación de los métodos dendrocronológicos para el estudio de crecimiento de rodales. Las investigaciones fueron hechas entre 1968-1976 en rodales no coetaneos de *Picea abies* en el noroeste de Rusia, por examen de todos los anillos de cada árbol en las parcelas; el porcentaje de incremento corriente en volumen fue analizado por

¹¹ Fries, J. 1974. Growth models for tree and stand simulation.

¹² Hanson, T. J. 1975. Computer technique for projecting yields of even aged red pine in the lake state. pp. 428-429.

¹³ Barret, W. J. 1978. Height growth and site index curves for managed even-aged stands of Ponderosa pine in the Pacific North.

¹⁴ Franco B., M. 1978. Simulación demográfica y productiva de poblaciones uniespecificas de árboles.

¹⁵ Stalyarov, D. P. y V. G. Kuzentzova. 1978. Ispo'lz ovanie metoda dendro khronologii dlya izucheniya zakonomnostei rosta drevostoev. pp. 3-10-

décadas sobre periodos de 40 años para árboles de varias generaciones, el incremento del vigor disminuyó gradualmente con el aumento de edad de los árboles. La regeneración natural y la mortalidad fueron también analizados usando el instrumento de EKLUND ADDO-X y se desarrolló un modelo para el proceso natural continuo de regeneración.

Chester (*op. cit.*), presentó la función designada para generar una infinita variedad de curvas en forma de campana, las características de las cuales son sujetas de control por el analista, estas curvas o porciones de ellas, a lo largo de las curvas de la clase son usadas en el desarrollo de los descriptores matemáticos para hipótesis gráficas de las relaciones entre variables continuas (relaciones de regresión), éstas son particularmente usadas cuando la hipótesis es de forma única y/o contiene interacciones complejas mostrando una aplicación pentadimensional.

Alder (1980)¹⁶, describió diversos métodos para el estudio del crecimiento y la predicción del rendimiento en un manual de procedimientos prácticos en el que se muestran los métodos estadísticos y matemáticos para la construcción de modelos de crecimiento.

Winston y Demaerschalk (1981)¹⁷, discutieron brevemente la aplicación de modelos de regresión lineales y no lineales para curvas de crecimiento en bosques. En particular, cuatro modelos lineales y dos no lineales (Chapman-Richards y la función Weibull modificada). Armonizaron los datos edad-altura para *Cupressus lusitanica* Miller, *Pinus spatula* Schelecht and Cham y *Pinus radiata* D. de Kenia. El error estándar de la estimación y el sesgo de la media para diferentes clases de edad fue usado como base para comparar. Para todas las especies, la función de Weibull modificada fue el mejor modelo no lineal. Una regresión lineal múltiple con la altura como pendiente y la edad al cuadrado como variables independientes, fueron las mejores para las dos especies de pino. Una regresión lineal simple de la altura sobre la edad logaritmo de base e, fue la mejor para *C. lusitanica*.

Adegbehin (1982)¹⁸, hizo referencia al crecimiento y rendimiento de *Pinus patula*, conífera de crecimiento rápido introducida en Sudáfrica a principios del presente siglo y que ha sido usada posteriormente para plantaciones en el este de África. Los datos del crecimiento fueron obtenidos de parcelas muestra temporales en Sao-Hill, al sur de Tanzania en 1977, usando los anillos de crecimiento y el volumen, los que se emplearon para evaluar el índice de sitio y construir tablas de rendimiento.

¹⁶ Alder, D. 1980. Forest volum estimation and yield prediction.

¹⁷ Winston, J. K. And J. P. Demaerschalk. 1981. Height-age function for young stands of exotic timber specie in Kenia.

¹⁸ Adegbehin, J. O. 1982. Growth and yields of *Pinus patula* in some parts of eastern Africa with particular reference to Sao Hill, Southern Tanzania.

El modelo de Schumacher: $\text{LnH}_0 = \text{LnH}_{\text{max}} + b/ak$ (1)

Donde:

LnH_0 = Log. natural de la altura dominante.

LnH_{max} = es el término a en la Educación, su valor queda entre 2 y 7.

b = Coeficiente de regresión que siempre será negativo.

a = Edad de la altura dominante.

k = Parámetro ser ajustado y cuyo valor varía de 0.2 a 2.

ha sido ampliamente utilizado desde que fue presentado por el autor en 1939, como una nueva curva de crecimiento y su aplicación en estudios del rendimiento de madera. Así por ejemplo Schumacher y Coile (1960), presentan el crecimiento y rendimiento de rodales naturales de pinos del suroeste: Alder (op. cit.), describió diversos métodos para el estudio del crecimiento y predicción del rendimiento, mostrando el modelo de Schumacher con un parámetro no lineal K y también una forma múltiple del modelo. Nix *et al.* (1986), utilizaron esta función para calcular los volúmenes de pulpa de madera en estudios de crecimiento y rendimientos en plantaciones de *Pinus taeda*. Farrar y Murphy (1986), utilizaron una modificación de la función de rendimientos de Schumacher para predecir el volumen de rodales de segundo crecimiento de *Pinus taeda* y Cao (1986)¹⁹, comparó dos procedimientos para derivar las distribuciones diamétricas, utilizando el modelo de Weibull y los modelos de Schumacher y Coile.

Avery y Burkhart (1983)²⁰ y Clutter *et al.* (1983)²¹, señalaron que de acuerdo a las técnicas de construcción de curvas de índices de sitio, estas pueden ser anamórficas o polimórficas:

Las curvas anamórficas se caracterizan porque todas las curvas presentan la misma forma, es decir que cada curva para las diferentes clases de índice de sitio guardan la misma proporción. Estas pueden ser construidas por métodos gráficos o bien a través de una ecuación de regresión.

Las curvas polimórficas presentan diferente forma para cada clase de índice de sitio y no guardan proporción para las clases de índice de sitio, estas pueden tomar la forma

¹⁹ Cao, V. Q. 1986. Recovering diameter distributions from Schumacher and Coile's model for Natural even-aged Loblolly pine stand. pp. 514,517.

²⁰ Avery, T. E. and H. E. Burhart. 1983. Forest measurements.

²¹ Clutter, J. L., J. C. Forstson; L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber Management: a quantitative approach.

de curvas polimórficas articuladas y no articuladas. En una familia de curvas articuladas, esta relación de proporcionalidad no se mantiene y no llegan a cruzarse dentro de la amplitud de las edades de interés; para la familia de curvas no articuladas no hay una relación constante de proporcionalidad y al menos una de las curvas se cruza dentro de la amplitud de edades consideradas (Clutter *et al.*, *op. cit.*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, se encuentra ubicado en el municipio de Uruapan, estado de Michoacán, en la parte occidental del Eje Neovolcánico y tiene una superficie de 471 hectárea en altitudes que varían entre 1,780 y 2,060 msnm.

La profundidad efectiva de los suelos varía en un rango de 1.10 a 3 m, estos tienen el color 10YR de las tablas de Munsell, entre 3/1 y 6/4. El contenido de materia orgánica varía en un rango de 0.81 a 8.44%, encontrándose a una profundidad de 7.5 cm, las mayores cantidades y las menores a partir de este valor hasta 1.40 m.

En general, puede afirmarse que en el Campo Experimental se encuentran los siguientes tipos de suelos: Andosol, subtipos Húmico y Vítrico y Litosol, subtipos Eútrico y Dístrico.

El clima según la clasificación de Köppen modificada por García corresponde al tipo (A) C (W²) (W) a (i) g. Es decir, el más cálido de los templados C, con temperaturas medias anuales mayores de 18° C, con periodo de lluvia invernal menor del 5% de las lluvias de todo el año con clima de verano cálido y temperaturas medias del mes más caliente mayor de 22° C. Con una oscilación de las temperaturas medias mensuales de entre 5 y 7° C; el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano y la probabilidad de recibir la media de la lluvia que influye en el crecimiento es del 47.39% que equivale a 1,616.94 mm anuales de precipitación.

La vegetación dominante es bosque de pino-encino, a excepción de pequeñas áreas de malpaís, en donde el afloramiento de rocas basálticas es relativamente reciente y tanto el suelo como la vegetación se encuentran en las primeras etapas sucesionales. Existen otras especies arbóreas, pero éstas se localizan en pequeños microhábitats, por lo que no llegan a constituir comunidades bien definidas, además de una vegetación subarborescente y algunas gramíneas.

De las asociaciones existentes, 2 de las más importantes son las de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl, de las cuales la primera se encuentra en terrenos más o menos planos con suelos profundos en las 2 fajas de malpaís de origen reciente que rodean al Campo Experimental, así como en lugares con afloramientos basálticos con cierto grado de intemperización; en tanto que la asociación de *Pinus lawsonii* se encuentra a menores altitudes, con menor grado de humedad ambiental y aunque también suele encontrarse en terrenos con afloramiento basálticos, éstos están más intemperizados que en donde se encuentra *P. douglasiana*.

Importancia de las especies en estudio

La importancia de las especies en estudio se debe a su amplia distribución y abundancia; así como por sus productos ya que la madera que proporciona *P. douglasiana* es de muy buena calidad llegando a compararse en sus propiedades físicas y mecánicas con la del abeto rojo americano (*Pseudotsuga menziesii*), (Mas, 1978)²². Mientras que *P. lawsonii* proporciona madera de menor calidad, ya que generalmente es un árbol ramificado y defectuoso a excepción de algunas áreas de condiciones favorables.

Metodología

Muestreo. Se efectuó un muestreo selectivo con la finalidad de obtener individuos de *Pinus douglasiana* y *P. lawsonii* en las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} S1 &= (N1 + 1, 2+2) (S1 + 1, 2+2) (E1 + 1, 2+2) \\ S2 &= (N1 + 1, 2+2) (S1 + 1, 2+2) (E1 + 1, 2+2) \\ S3 &= (N1 + 1, 2+2) (S1 + 1, 2+2) (E1 + 1, 2+2) \end{aligned}$$

Donde:

- S1 = Primer tipo de suelo
- S2 = Segundo tipo de suelo
- S3 = Tercer tipo de suelo
- N = Exposición Norte
- S = Exposición Sur
- E2 = Exposición Este
- 1 = *Pinus douglasiana*
- 2 = *Pinus lawsonii*

²² Mas P., J. 1978. Características del crecimiento de 6 especies mexicanas de pino con gran futuro para reforestaciones artificiales. pp. 27-72.

Además se consideraron factores tales como: densidad, vitalidad, tendencia dinámica, asociación, piso y masa, obteniéndose de la combinación de las condiciones anteriores, un total de 18 árboles muestra por especie. En forma adicional se seleccionaron cinco individuos más: tres de *Pinus douglasiana* y dos de *P. lawsonii* para la exposición cenital, sin considerar el tipo de suelo, debido a que esta exposición es menor para ambas especies, contándose por lo tanto con una muestra total de 41 árboles, siendo necesario señalar que la exposición oeste no se tomó en cuenta por no existir ésta en el área de estudio.

Elección de la Muestra. Posteriormente se procedió a la elección de los árboles dominantes de la clase diamétrica moda o árboles tipo (individuos que por sus características son representativos de una población), teniendo especial cuidado de que en dichas áreas no existieran tocones, ya que estos árboles pudieron haber afectado el crecimiento de los árboles muestra en el pasado, los cuales debieron ser: sanos, vigorosos, bien conformados, desechando aquellos rayados, torcidos, quemados y nudosos. De los árboles con dimensiones moda, se seleccionaron tres, a los cuales mediante barrenaciones con el taladro de Pressler, se les comprobó la edad con el fin de seleccionar el más joven, teniendo como premisa que dicho árbol ha aprovechado de mejor forma las características ecológicas del sitio. (Assmann, 1961).

Derribo y Troceo. Los árboles muestra elegidos se derribaron en forma direccional utilizando motosierra y cuñas de derribo, para que no se dañara la muestra ni el arbolado aledaño. Hecho el derribo se hizo el desrame, la limpia de desperdicios y se marcó con un crayón sobre el fuste los diferentes cortes a efectuar en él, para obtener las rodajas a diversas alturas que corresponden a las secciones de 0.30 y 1.30 m. De la sección del diámetro normal hacia la punta las trozas fueron de 2 m de longitud y la última a 1 m de la punta; cuando hubo deformaciones el corte se efectuó abajo, lo que se indicó en el registro para efectuar las correcciones en los cálculos. Las rodajas fueron de 0.05 m de ancho, efectuando el corte lo más perpendicular posible al eje longitudinal del árbol.

Al obtenerse las rodajas, se ordenaron de mayor a menor, anotando en la parte inferior el número del árbol, número de rodaja, especie y altura de la sección, utilizándose la parte superior para efectuar las mediciones.

Para determinar la edad total del árbol se procedió a contar los anillos anuales de crecimiento en la rodaja de 0.30 m (tocón), en grupos de 5 en 5, a ambos lados, para de esta manera detectar los llamados anillos falsos. Después se procedió a determinar la edad del tocón, para lo cual previamente en los parajes escogidos se habían seleccionado tres brinzales que tenían 0.30 m de altura, detectándose de esta forma los años que requieren los árboles para alcanzar esta altura, los cuales se adicionan a los anillos observados en la rodaja de 0.30 m, para obtener así la edad total del árbol.

Obtención de la información

En cada una de las rodajas se procedió a contar los anillos del centro hacia la periferia, para lo cual se colocó un alfiler en el centro y se trazó una línea sobre la superficie de la rodaja hasta que ésta coincidiera con el diámetro sin corteza. Los anillos se agruparon en número de 5 en 5, colocando alfileres con cabeza de color sin considerar los anillos exteriores que no formaban un grupo completo de 5; hecho esto, se registraron los diámetros sin corteza observados a las diferentes edades, el número de anillos y edad a la cual alcanzó las alturas de 0.30, 1.30, 3.30 m, o más.

Llenados los registros de campo, se procedió a graficar dichos datos, obteniéndose el perfil interior del árbol, la curva de crecimiento en altura, la curva de crecimiento en diámetro, las curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro, la curva de crecimiento en volumen y las curvas de ICA e IMA en volumen.

Especificando que para la cubicación de las secciones del fuste principal se utilizó la fórmula de Smalian:

$$V = A + AF/2 * L$$

para la cubicación del tocón se utilizó la fórmula:

$$v = AL$$

y para las puntas:

$$v = 1/3 AL$$

Donde:

A = superficie del extremo mayor,
a = superficie del extremo menor, y
L = longitud.

Arreglo de la Información por Índice de Localidad. Una vez realizados los análisis de troncales y graficado los valores obtenidos de los mismos, se efectuó la clasificación (agrupamiento en clases), por especie y calidad de estación, utilizándose para este propósito un método indirecto para su determinación, basado en la medición de dos características de la vegetación (edad y altura), que expresan la suma de factores que se interaccionan en la localidad.

El principio básico es utilizar una edad fija con el objeto de comparar alturas y estimar la calidad de estación, la edad base para determinar el índice de localidad se fija generalmente tomando en cuenta la longevidad de las especies, así pues, la edad utilizada para especies que viven más años será mayor, en este caso la edad base fue de 50 años y la altura total de los árboles elegidos se tomó como la altura dominante (H_0) de las masas en estudio, ya que dicha altura no está expuesta a tantos cambios como la altura promedio de todos los árboles; de hecho, el crecimiento e incremento en altura es el menos afectado por los factores de sitio, de los cuales uno de los más importantes a considerar es la densidad, ya que puede afectar más al crecimiento en altura, el cual varía de acuerdo con los hábitos de crecimiento de las especies y de la habilidad que presenten para expresar dominancia (Lynch, 1958).

Con base en lo anterior, se ordenaron en forma descendente todos los valores de índice de localidad y de acuerdo con la variación presentada por las especies, se procedió a fijar los límites de clase asignándosele a cada clase un número romano, I, II, o III, según sea esta clase o calidad, rica, regular o pobre, respectivamente, lo que ayuda a definir cualitativamente la calidad de estación.

Elaboración de la Tabla Epidométrica. Con los datos de crecimiento en altura, diámetro y volumen ordenados por especie y calidad de estación, se elaboró una tabla con las características epidométricas de las especies en estudio, la cual como su nombre lo indica, no es más que la medición del crecimiento, presentándose en éste caso en forma tabulada. (Epidoma = crecimiento; Metría = medición).

Las características epidométricas determinadas fueron las siguientes: edad, diámetro normal con corteza (DAPcc), diámetro normal sin corteza (DAPsc), altura dominante, volumen, incremento corriente anual en volumen (ICA), incremento medio anual en volumen (IMA), índice de localidad a 50 años, edad a 1.30 m, altura, edad del primer aclareo, edad del segundo aclareo, turno técnico y turno absoluto. La determinación de cada uno de los parámetros se realizó de la siguiente manera:

La edad se determinó contando los anillos anuales de crecimiento en diámetro encontrados en la rodaja de 0.30 m de altura, más los observados en los brinzales de 0.30 m de altura y se expresó en años.

El DAP sin corteza se derivó al realizar los análisis troncales de la rodaja de 1.30 m de altura y se expresó en cm.

El DAP con corteza se obtuvo de la rodaja correspondiente a 1.30 m de altura y se expresó en cm.

La altura total se obtuvo cuando los árboles estaban apeados y se expresó en m.

El volumen se obtuvo cubicando todas y cada una de las secciones de los árboles analizados, utilizando para ello la fórmula de Smalian para el fuste comercial, la del tocón y la del cono para las puntas y se expresó en metros cúbicos.

El incremento corriente anual se determinó de las curvas de incremento corriente anual en volumen, el cual se obtiene al calcular el volumen de un período de tiempo considerado y dividiéndolo entre dicho período, en este caso el período de 5 años y a la edad de 50 años, se expresó en metros cúbicos.

El incremento medio anual se obtuvo al dividir el volumen obtenido entre la edad correspondiente, en este caso a los 50 años y se expresó en metros cúbicos.

Índice de localidad se determinó de las curvas de crecimiento en altura y es la altura alcanzada por los árboles muestra a la edad base de 50 años y se expresó en m.

La edad a la que se alcanzó 1.30 m de altura se determinó con base a las gráficas de crecimiento en altura, la edad a 1.30 m es importante, porque al alcanzar el renuevo dicha altura se considera a esta ya establecido, además también para calcular la edad de los árboles cuando se toman muestras con taladro y se expresó en años.

Para la edad del primer aclareo, se observó la edad a la cual en las gráficas de incremento corriente anual en altura, se presenta el punto de inflexión de las curvas y se expresó en años.

La edad del segundo aclareo, se determinó en el punto de inflexión de las curvas de crecimiento en diámetro y se expresó en años.

El turno absoluto se derivó de las curvas de ICA e IMA en volumen, en el punto en el cual ambas se cruzan, es decir, a la edad de culminación del IMA en volumen, lo que nos indica la máxima producción leñosa de los árboles. Dado que el arbolado era joven y las curvas mencionadas no lograban cruzarse, se procedió a la elongación de las mismas con los consiguientes riesgos que esto representa y el turno absoluto se expresó en años.

Análisis estadístico. Una vez elaborada la tabla epidométrica para conocer la consistencia de las relaciones funcionales y la manera como expresarlas con base en la información obtenida, se procedió a buscar además de una función matemática que mostrara la manera de como se relacionan las variables, la precisión con que podría predecirse el valor de una variable, conociendo los valores de las variables asociadas. Para lograr lo anterior, se utilizó el método de regresión y correlación.

Para elegir la relación funcional de altura con edad que mejor represente a la población en estudio, se realizó un examen de diagramas de dispersión en forma gráfica de los valores observados, lo que ayudó a decidir la función matemática que mejor representa a la relación existente entre las variables, así como la que dá un mejor ajuste a las curvas.

Modelos probados. La técnica utilizada fue la regresión y correlación simple basada en el método de los mínimos cuadrados para realizar las estimaciones, de manera tal que se probaron cuatro modelos los cuales fueron:

Lineal - Lineal

Ln - Ln o (Log - Log)

Ln - Lineal o (Log - Lineal)

Inv - Ln

Donde:

Ln = Logaritmo natural (exp. = 2.71828)

Log = Logaritmo de base 10

Inv = Inverso (de la edad)

Para la prueba de los mismos se realizó un programa de cómputo en lenguaje BASIC LEVEL II, que se hizo correr en una computadora RADIO SHACK TRS-80. Hecha la prueba se eligió el modelo número 4 como metodología, lo que se debió a la bondad requerida para el logro de los objetivos planeados; es decir, es el que mejor ajuste proporciona a los datos de las observaciones no suavizadas de la relación edad-altura con un alto coeficiente de correlación.

Modelo elegido. El modelo elegido se basa en la ecuación de Schumacher (Schumacher *cit. pos* Alder, *op. cit.*), propuesto como una nueva curva de crecimiento y sus aplicaciones en estudios del rendimiento de madera, es el siguiente:

$$\text{Ln } H_o = \text{Ln } H_{\text{max}} + b/Ak$$

Donde:

LnHo = logaritmo natural de la altura dominante

$\ln H_{max}$ = término a en la ecuación y representa la máxima altura que pueden alcanzar las especies y su valor queda entre 2 y 7.

b = representa el coeficiente de regresión, el que siempre será negativo.

A = edad de la altura dominante.

K = parámetro a ser ajustado y cuyo valor varía de 0.2 a 2.

Los valores y características anteriores, son requisitos condicionantes del modelo.

Obtención de las ecuaciones de regresión. Mediante este modelo se procedió a realizar el análisis estadístico para obtener las ecuaciones que originan las curvas de crecimiento por especie y calidad de estación, las que se obtuvieron de dos formas primero considerando los valores de altura promedio alcanzados por los árboles en los periodos de 5, 10, 15, a más años por especie y calidad, y después metiendo los datos originales de altura y edad por especie y calidad.

Al comprobar gráficamente las ecuaciones se observó que mostraban casi los mismos valores, pero habiendo mínimas diferencias en el primer método en los datos proporcionados por estas ecuaciones a la edad de tres años, además de que una vez agrupados los árboles por calidad, los valores promedio obtenidos en las últimas edades, no eran representativos al haber diferencia en las edades de los árboles, es decir, que 1 ó 2 árboles podrían dar el promedio y no el total de los árboles considerados por calidad, lo que no sería representativo, por lo que se eligieron las determinadas por el segundo método, que son las que proporcionan el mejor ajuste.

Elaboración de las Tarifas de Crecimiento en Altura. Hecho el ajuste de alturas, se procedió con base en los valores de estas ecuaciones, a obtener los valores que originan las curvas de crecimiento así como los valores para las Tarifas de Crecimiento en Altura, utilizando para ello el programa $f(D) = e^{A+Bx(DYxC)} - 1$

Donde:

$f(D)$ = función de la altura

e = base de los logaritmos naturales

- A = intercepción común
- B = coeficiente de regresión
- DYx = altura elevada a una constante
- C = valor de la constante k
- = comp; fin de función

Este programa se hizo correr en una calculadora programable SHARP EL 5101, obteniéndose los valores tabulados de dicho crecimiento a cualquier edad requerida. Especificándose que una vez obtenidos los valores por especie y calidad de estación a través del modelo antes descrito, se decidió utilizar estas curvas de crecimiento en altura para determinar los siguientes conceptos: índice de localidad, edad a 1.30 m, edad a 0.30 m, y edad del primer aclareo, esto con base a que el modelo da una plena descripción del crecimiento de altura.

Fórmula y procedimientos para el trazo de las curvas de calidad de estación. Otra de las características del modelo, es que mediante la manipulación algebraica y utilizando valores ajustados por el mismo, nos ayuda a trazar las curvas de calidad de estación, teniéndose como resultante del modelo la siguiente fórmula:

- LnS = Índice de Sitio
- a = Intercepción común
- LnHo = Altura dominante a la edad índice
- A = Edad índice
- Ai = Edad dependiente del índice de sitio
- k = Constante

Para el cálculo de los puntos que originan las curvas de calidad, se utilizó la fórmula anterior sustituyendo en ella los términos de las ecuaciones obtenidas con el modelo de Schumacher, haciéndose pasar las curvas por los valores índice de localidad ya determinados y calculando los valores de las curvas de calidad a cualquier edad Ai.

Cálculo del Índice de Sitio por rodal y obtención del mapa por calidades de estación. La versatilidad del modelo hace que esta misma fórmula ayude a determinar el índice de localidad de los rodales de las masas en estudio dada su edad y altura dominante.

Para comprobar la suposición de lo anterior, se procedió a determinar el índice de sitio de todos y cada uno de los árboles muestra, para compararlos con los determinados directamente de las curvas no armonizadas del crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Localidad

Los valores que se determinaron para delimitar las calidades de estación, una vez que los valores índice de sitio se ordenaron en forma descendente y se observó la variación de las especies a la edad base de 50 años fueron: para la especie *Pinus douglasiana* de 36 y 28 m de altura, entre los cuales quedó ubicada la calidad I o rica, la calidad II o media, quedó entre los valores índice de localidad de 28 y 20 m de altura, y la calidad III o pobre, entre los 20 y 12 m., en tanto que para *P. lawsonii*, la clase I o rica quedó ubicada en aquellas áreas donde los valores índice de localidad están comprendidos entre los 34 y 27 m la clase II o media, entre los 27 y 20 m y la clase III o pobre, entre los 20 y 13 m de altura.

Tabla epidométrica

Delimitada la calidad de estación y ordenada la información de acuerdo con ésta, se determinaron las características epidométricas por especie y calidad, donde se observa que la edad promedio de la población en estudio es sensiblemente igual y oscila entre los 50 y 60 años, tratándose por consiguiente de un bosque regular.

Por lo que respecta al DAP con corteza éste es mayor en localidades ricas, siendo de 45 cm; mientras que tan solo un diámetro de 40 cm, a una mayor edad, en las localidades II y III.

La altura en relación con la edad también decrece con la calidad de estación, siendo ésta mayor en localidades ricas y menor en las pobres.

El crecimiento en volumen es el que culmina al último en relación con el diámetro normal y la altura ya que este está en función de aquellos, observándose que *Pinus douglasiana* en la calidad I, empieza a contar su volumen cuando los árboles tienen 12 m de altura y una edad de 15 años, que es a la cual alcanzan 0.1 m³, 1 m³ a los 28 años, 2 m³ a los 39, a los 48 años 3 m³ y a los 54 años 4 m³; para la misma especie

pero en la calidad II, el volumen empieza a contar cuando los árboles tienen 20 años y una altura de 11 m., que es cuando alcanzan 0.1 m^3 , y a los 46 años el 1 m^3 , logrando hasta el turno absoluto los 2 m^3 y en calidad III, a la edad de 27 años y una altura de 9 m se alcanza 0.1 m^3 y 1 m^3 y 1 m^3 a los 60 años.

La especie *P. lawsonii* en la calidad I, alcanza 0.1 m^3 , a la edad de 17 años con una altura de 12 m; 1 m^3 a los 35 años y 2 m^3 a los 48 años; en la calidad II, a los 24 años y con una altura de 11 m se alcanzó 0.1 m^3 y 1.0 m^3 a los 52 años; en la calidad III, se alcanzó 0.1 m^3 a los 34 años y una altura de 12 m, y 1.0 m^3 a los 66 años, es bien notorio que el crecimiento en volumen es más rápido en las localidades ricas decreciendo éste, conforme lo hace la calidad.

El incremento corriente anual y el incremento medio anual en volumen es mejor en localidades ricas, siendo más bajo en las pobres; por lo que respecta al índice de localidad, éste es dado por las curvas de crecimiento en altura que proporciona el modelo por medio de las ecuaciones, por lo que el índice de localidad para *P. douglasiana* en la calidad I es de 34 m, en la calidad II de 23 m, y en la III de 15 m; para *Pinus lawsonii* el índice de sitio en la calidad I, es de 30 m, para la II de 24 m, y para la III de 17 m.

La edad a la que estas especies alcanzan 0.30 m de altura se derivó con las ecuaciones dadas por el modelo, alcanzando *Pinus douglasiana* en la calidad I esa altura a la edad de 2.95 años y en la III a los 3.02 años, cantidades que redondeadas dan un valor de 3 años. La especie *P. lawsonii* en la calidad I, necesitó 2.94 años para alcanzar 0.30 m., en la calidad II, 2.8 años y en la III 3.02, cifras que redondeadas dan un valor de 3 años, justo el valor encontrado en los brinzales con esa altura.

La edad a la que *P. douglasiana* alcanzó 1.30 m de altura que es a la cual se considera que el renuevo está establecido, fue antes de los 5 años en la calidad I de; a los 5 años en la II y a los 6 años en la III. Para *P. lawsonii*, la edad a 1.30 m en las calidades I, II y III fue de 5, 6 y 7 años respectivamente. Como se observa *P. douglasiana* presenta un crecimiento más rápido en localidades mejores, siendo también con respecto a *P. lawsonii*, que presenta igual comportamiento, pero tardando un poco más según la calidad, la diferencia no es grande pero sirve para diferenciar a las especies que con los valores que presentan dan idea de que se trata de especies de rápido crecimiento pero más aun la primera que la segunda.

La edad de culminación del ICA en altura, sugiere la aplicación de un primer aclareo, pues la reducción del incremento que sigue a la culminación del mismo, puede deberse probablemente a la competencia por luz y nutrientes, de igual manera, a la edad de culminación del ICA en diámetro se sugiere una segunda intervención, pues la

reducción en dicho incremento puede deberse a la necesidad de los árboles de un mayor espaciamiento para satisfacer sus necesidades de luz y nutrientes.

La diferencia de edad entre ambos aclareos en la calidad I es mínima, lo que se debe al rápido incremento que los árboles experimentan también en diámetro, es decir, que el crecimiento en diámetro culmina generalmente después que el crecimiento en altura y en este caso, el crecimiento en diámetro comienza casi al mismo tiempo que el crecimiento en altura, concluyedo casi a la misma edad.

Este hecho es característico de las especies de rápido crecimiento, por lo que las especies en estudio pueden considerarse como tales, incrementan temprano, pero notándose en este caso la influencia de los factores de sitio, aun cuando se trata de la misma especie, éstos períodos se alargan al empobrecerse la calidad del sitio, esto es bien notorio como se ha visto en los crecimientos en altura, diámetro y volumen.

El criterio empleado para estas determinaciones aunque es lógico, no está bien fundamentado, ya que corresponde a especies de lento crecimiento y no a las de rápido crecimiento en las que dichas intervenciones deberían ser aplicadas casi al mismo tiempo. El valor del ICA en altura en la calidad I para *P. douglasiana*, es de 1.1 m/año a la edad de 10 años que es en la que culmina y la terminación del ICA en diámetro, es a los 11 años con un valor de 1.72 cm/año, en la calidad II, la culminación del ICA en altura se presenta a los 11 años con un valor de 0.7 m/año, en la calidad III, la edad de culminación de la altura es a los 12 años con un valor de 0.43 m/año y la del I.C.A. en diámetro a los 26 con 0.81 cm/año.

En *P. lawsonii* calidad I, el ICA en altura culmina a los 11 años con 0.93 m/año y el ICA en diámetro a los 13 años con 1.32 cm/año; en la II, culminó a los 18 con 0.55 m/año en altura, y en diámetro a los 29 años con 0.88 cm/año y en la calidad III en ICA en altura culmina a los 20 años con 0.39 m/año, mientras que el ICA en diámetro a los 66 años con un valor de 0.75 cm/año. Es claro que tratándose aún de la misma especie, pero en diferente calidad de estación, se presentan patrones de comportamiento muy característicos.

El turno técnico que no es más que la edad a la que se alcanza un diámetro comercial, difiere en las especies según la calidad de estación, esto es, mientras que en la calidad I se logra un DAP de 0.45 cm. a los 44 y 48 años para ambas especies, apenas si se logra un diámetro normal de 0.40 cm. en las calidades II y III a las edades de 56, 53 y 61 años para las especies *P. douglasiana* y *P. lawsonii* respectivamente. La máxima producción leñosa (turno absoluto), se presenta primeramente en las localidades ricas, lo que puede deberse a que la combinación de los factores del medio son propicios y satisfacen las exigencias de la especie, lo que les permite la máxima expresión de las

características de la especie, mismas que se ven disminuidas en su expresión, si los factores de sitio no satisfacen las necesidades de la vegetación que sustentan.

Modelo de Crecimiento

De los modelos probados con propósitos de metodológicos, el que mejor ajuste y descripción de las curvas presentó, fue el modelo que se basa en la ecuación de Schumacher, teniéndose coeficientes de correlación altos, lo que hace predecir una correlación bastante aceptable, a la vez indica la estrecha dependencia de la altura en relación con la edad. La constante K está en función de la calidad de estación, proporcionándole a las ecuaciones las características necesarias para la mejor descripción de las curvas de crecimiento por calidad. Cabe mencionar que lo anterior se realizó con base en un análisis lineal de los mínimos cuadrados, que es una técnica para ajustar ecuaciones predictivas a datos originales. Esto es, observaciones no suavizadas, basada en el principio de minimizar la suma de cuadrados de las desviaciones entre los puntos y una línea recta.

Construcción de Curvas de Calidad de Estación

Para el trazo de las curvas de Calidad de Estación, (Figuras N° 1 y 2) se procedió a utilizar una transformación del modelo de Schumacher, con la que se calcularon los puntos que las originan, presentando como características importantes, el ser polimórficas y semejantes a las curvas de crecimiento, originadas por el modelo y que dichas curvas se pueden hacer pasar por cualquier valor de índice de localidad elegido, en este caso las curvas se hicieron pasar por los valores índice de 36, 28, 20 y 12 m de *P. douglasiana* y en *P. lawsonii* por valores 34, 27, 20 y 13 m valores previamente determinados.

Para lograr lo anterior, estos valores de índice de localidad se toman como logaritmo natural de la altura dominante ($\ln H_0$), a la edad índice de 50 años (A) siendo esta edad constante en la fórmula y la edad A_i , es la que varía y se utiliza para determinar la altura a esa edad.

Figura N° 1. Curvas de calidad de estación de *Pinus douglasiana*

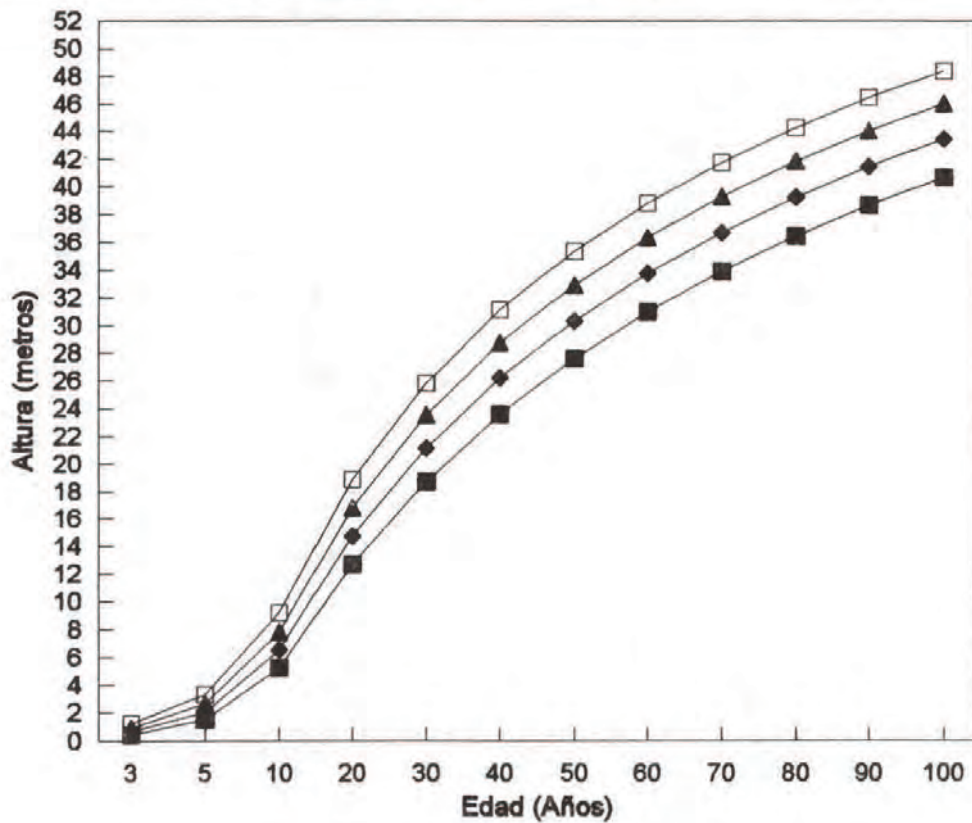


Figura N° 1. Curvas de Calidad de Estación para *Pinus douglasiana* y fórmula utilizada para su trazo.

Figura N° 2. Curvas de Calidad de Estación de *Pinus lawsonii*

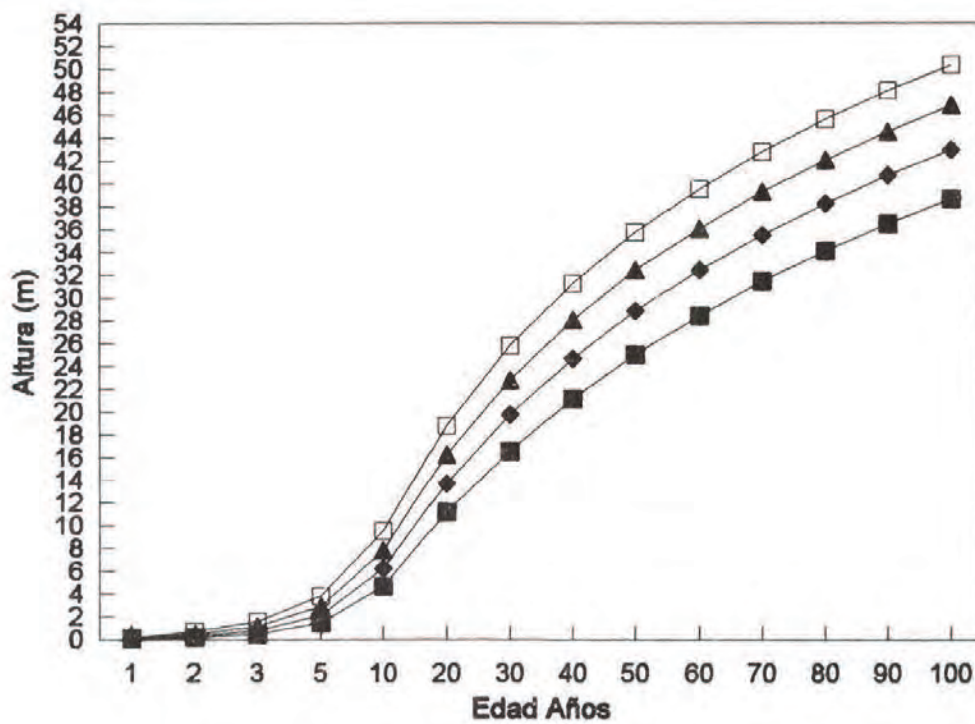


Figura N° 2. Curvas de Calidad de Estación para *Pinus lawsonii* y fórmula utilizada para su trazo.

El término a o intercepción común y la constante k , son las que proporcionan ciertas características a las curvas, como ejemplo se tiene que el término de intercepción común en la calidad I de *Pinus douglasiana* es 4.35495, la altura dominante a la edad índice de 50 años es de 36 m, $A = 50$ años, A_i edad a la cual se quiere calcular el valor de la altura dominante a esa edad o el punto más alto de esa altura que delimita alguna calidad; k constante relacionada con la calidad con un valor de 0.67 para la calidad I, al sustituir en el modelo se tiene que:

$$\text{LnS} = 4.35495 + (\text{Ln}36 - 4.35495) (50/40) 0.67$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (3.584 - 4.35495) (1.161)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.771) (1.161)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.895)$$

$$\text{LnS} = 3.460 \text{ ex}$$

$$\text{LnS} = 31.81 \text{ m.}$$

Cálculo del Índice de Sitio

Con el modelo se determinó el índice de localidad de los rodales de las masas en estudio, conocida su edad y altura dominante, para comprobar la suposición anterior se calcularon los índices de localidad de todos los árboles muestra, para compararlos con los determinados directamente de las curvas de crecimiento no armonizadas. Como ejemplo se tiene un árbol de *Pinus douglasiana* con una edad de 56 años y una altura total de 36.70 m, su índice de localidad según la curva de crecimiento no suavizada es de 34.40 m y su índice de sitio de acuerdo con el modelo es:

$$\text{LnS} = 4.35495 + (\text{Ln}36.70 - 4.35495) (56/50) 0.67$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (3.60 - 4.35495) (1.0788873)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.75495) (1.0788873)$$

$$\text{LnS} = 4.35495 + (-0.814506)$$

$$\text{LnS} = 3.540444\text{e}$$

$$\text{LnS} = 34.48 \text{ m.}$$

Como se observa, la diferencia es mínima entre el índice de sitio derivado de la curva no suavizada y el obtenido por medio del modelo. La diferencia con respecto a los otros

árboles no es muy grande, lo que da confianza al realizar los cálculos del índice de sitio de los rodales en estudio.

Mapa por Calidad de Estación

Al comprobar que la ecuación proporciona resultados satisfactorios en el cálculo del índice de sitio, se tiene la certeza que el cálculo del índice de sitio por especie y por rodal es correcto.

Con base en lo anterior se obtuvieron los índices de sitio de los cuadrantes I y II del área de estudio utilizando los datos de edad y altura de los rodales; al clasificarlos por especie y calidad se obtuvo el mapa por calidad de estación.

CONCLUSIONES

Como resultados de este trabajo se puede concluir:

- Las especies estudiadas tienen preferencia por determinadas condiciones como suelos profundos y planos, así como, lugares de mayor intemperización. Esto marca sus características de desarrollo, observándose una clara relación entre las especies y la calidad de estación.
- Las especies en estudio presentan patrones de crecimiento muy característicos, alcanzando en promedio una altura de 0.30 m a los 3 años y de 1.30 m a los 5, 6 y 7 años. A los 50 años los valores de índice de localización para *P. douglasiana* son de 34, 23 y 15 m y de 30, 24 y 17 m para *P. lawsonii*.
- *Pinus douglasiana* se encuentra en calidades de estación mejores, presentando un rango de variación más amplio a la edad de 50 años que *P. lawsonii*.
- Ambas especies por las características de su desarrollo se consideran de rápido crecimiento ya que incrementan temprano, toda vez que el incremento en altura y diámetro culmina casi al mismo tiempo en localidades donde los factores del medio son favorables para expresar su máximo desarrollo, no observándose esto en lugares donde dichos factores no permiten la expresión de las características de las especies a la misma velocidad.

- La determinación de la edad para la realización del primer aclareo con base en la culminación del ICA en altura y diámetro, no es práctica y es preferible el uso de otras técnicas; aunque por otro lado, da una idea de lo que está sucediendo en el bosque.
- *Pinus douglasiana* es la especie que por las características de desarrollo, es más prometedora para fines de cultivo y reforestación en lugares de condiciones semejantes a las del estudio.
- Las curvas de crecimiento de las especies, se ajustan bien al modelo de regresión de la forma $\text{Ln}H_o = \text{Ln}H_{\text{max}} + b/A_k$, para el ajuste y tabulación de los valores del crecimiento, presentando una correlación promedio de 99% para la relación edad-altura.
- La fórmula $\text{Ln}S = a + (\text{Ln}H_o - a) (A/A_i)^k$, ayuda a efectuar el trazo de las curvas de calidad, aprovechando los valores dados por el modelo definiendo en forma más precisa las calidades de estación, así como el cálculo del índice de sitio por rodal, dada su edad y altura dominante.
- Cuando la variación en altura a una cierta edad es muy amplia es recomendable establecer más clases de calidad de estación, de esta manera se tendrá un número mayor de ecuaciones, las que proporcionarán un mayor ajuste a las curvas de calidad y crecimiento y el cálculo del Índice de Sitio será más preciso.
- Los mapas de Calidad de Estación facilitan el manejo, pues permiten diferenciar un terreno forestal en clases, mismas que requerirán un manejo acorde con las características de la localidad.
- Este tipo de estudios son recomendables para diferentes especies y condiciones, así como para determinar los modelos más adecuados y con base en la información obtenida estar en condiciones de predecir las características dasométricas de los rodales a diferentes edades, con la finalidad de aprovechar de mejor manera las condiciones de los diferentes Índices de Sitio.
- La información obtenida mediante las técnicas descritas es de gran valor y puede obtenerse en corto tiempo, proporcionando las bases para efectuar el manejo en tanto que se obtiene la información necesaria de los sitios permanentes de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Adegbehin, J.O. 1982. Growth and yields of *Pinus patula* in some parts of eastern Africa with particular reference to Sao Hill, Southern Tanzania. *Commow. For. Rev.* 61 (1).
- Aguilar R., M. 1981a. Armonización de curvas de crecimiento para determinar la calidad de estación. in primera reunión internacional de discusión sobre toma de datos para modelos de crecimiento en el mes de septiembre de 1981. (INIF, UNAM, ODA). *Publicación Especial N° 44*, INIF, SARH. México. pp. 169-183.
- Aguilar R., M. 1982b. La Ecuación de Schumacher y su aplicación en estudios del crecimiento y clase de sitio. Premio Nacional de Administración Pública 1982. CIFO, INIF. México.
- Alder, D. 1980. Forest volume estimation and yield prediction. Vol. 2 Yield prediction, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 194 pp.
- Arteaga M., B. 1982. Evaluación de la calidad de estación con base a características fisiográficas. *In: Resumen del Seminario de Investigación. Programa Forestal, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.*
- Arteaga M., B. y Rodríguez F., C. 1983. Índice de Sitio para *Pinus Montezumae* Lamb. en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. *In: Resumen XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Oaxaca, Oax. p. 23.*
- Arteaga M., B. y Rodríguez F., C. 1985. Índice de Sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región Chignahuapan- Zacatlán, Puebla. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados, Programa Forestal. Chapingo, México. 181 p.
- Avery, T.E. y H. E. Burkhart, 1983. Forest Measurements. 3rd. ed. McGraw-Hill. New York. 331 p.
- Bailey, R.L. y J.L. Clutter. 1974 Base-age invariant polymorphic site curves. *Forest Science* 20:155-59.
- Barrett, W.J. 1978. Height growth and site index curves for managed even-aged stands of ponderosa pine in the Pacific North.

- Benavides S., J. D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante Índices de Sitio del *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus Oocarpa* Schiede, para el A.D.F. Tapalpa estado de Jalisco. Tesis Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.
- Cao, V. Quam 1986. Recovering diameter distributions from Schumacher and Coile's model for Natural even-aged Loblolly pine stand. *In: Proceedings of the Fourth Biennial Southern Silvicultural Research Conference.* USDA. FS. Colorado, USA. pp. 514-517.
- Clutter, J.L.; J.C.Forstson; L.V. Pienaar; G.H Brister y R.L Bailey. 1983. Timber Management: a quantitative approach. John Willey & Sons. New York. 333 p.
- Chester, E.J. 1973. MATCHACURVE-3: multiple component and multidimensional mathematical models for natural resource studies. USDA. For Serv. Res. Pa. INT-146, 42 p.
- Franco, B.M. 1978. Simulación demográfica y productiva de poblaciones uniespecíficas de árboles. Tesis profesional. Insituto de Biología, U.N.A.M.
- Fries, J. 1974 Growth models for tree and stand simulation. Research note No. 30 Department of Forest Yield Research, Royal college of Forestry, Stockholm, Sweden.
- Garnica S.Z. 1987. Índice de Sitio para *Pinus pseudostrabus* Lindl., en la región del Tlacuache, San Pedro el Alto, Zimatlán, Oax. Anteproyecto de Tesis Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. México. 101 p.
- Groothousen. C. 1983. Curvas de índice de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede en Honduras , Centro América. *In: Primera Reunión Sobre Modelos de Crecimiento de Árboles y Masas Forestales.* Pub. Esp. N° 44. INIF, SARH. México. pp.183-184
- Hanson, T.J. 1975. Computer technique for proyecting yields of eyen aged red pine in the lake states. *Journal of Forestry.* 73,7,428-429.
- Madrigal, S.X. y H.R. ZAVALA. (inédito). Estudio fito-ecológico del C.E.F. "Barranca de Cupatitzio"
- Mas, P.M.1978. Características del crecimiento de 6 especies mexicanas de pino con gran futuro para reforestaciones artificiales. Memoria de la Iª Reunión Nacional

sobre plantaciones forestales. SARH. Dirección General de Investigación y Capacitación Forestales. pp. 27-72

Stolyarov, D.P. Y V.G. Kuznetzova, 1978. Ispol'zovanie metoda dendro khronologii dlya izucheniya zakonomernostei rosta drevostoev NII Lesn Knaz., Leningrad, URSR. Lesovedenie No. 4, 3-10.

Winston, J.K. Y J.P. Demaerschalk, 1981. Height-age functions for young stands of exotic timber species in Kenia. A comparison of linear and nonlinear models.