

ESTIMACIÓN DE LA "CALIDAD DE SITIO" MEDIANTE "ÍNDICES DE SITIO" DE *Pinus michoacana cornuta* Martínez Y *Pinus oocarpa* Schiede, PARA EL A D F TAPALPA, ESTADO DE JALISCO.*

Benavides Solorio Juan de Dios **
Manzanilla Bolio Hugo ***

RESUMEN.

En el Área Demostrativa Forestal Tapalpa, del estado de Jalisco, se realizó la estimación de la "calidad de sitio" con base en "índices de sitio", de las especies *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, a través de análisis troncales de 25 árboles para la primera especie y de 6 para la segunda.

Se ajustaron las curvas de índice de sitio, desarrollando la metodología descrita por Bailey y Clutter.

Se empleó el modelo de Schumacher [$\ln H = a + b (1/E)^k$], con el cual se obtuvieron curvas polimórficas de edad base invariable. Se utilizó la edad a la altura de 1.30 m en lugar de la edad total; la edad base elegida fue de 45 años.

Para ubicar la calidad en un plano, se levantaron 202 sitios de muestreo temporales, distribuidos de manera sistemática y en cada uno de ellos se tomó la edad y altura de 3 o 4 árboles dominantes.

Fueron definidas tres calidades: excelente, buena y regular.

Palabras clave: Manejo forestal, calidad de sitio, índice de sitio, *Pinus michoacana*, *Pinus oocarpa*, Jalisco.

* Parte de la tesis del primer autor.

** Ingeniero Agrónomo Forestal. Investigador Titular del Campo Experimental Zapopan. CIR- Pacífico Centro. INIFAP-SARH.

*** Director de tesis. Doctor. Vocal de la División Forestal. INIFAP-SARH.

ABSTRACT.

At Area Demostrativa Forestal Tapalpa, in Jalisco state, with site index of *Pinus michoacana cornuta* Martinez and *Pinus oocarpa* Schiede, the site quality valuation was made, through 25 stem analysis data for first species and 6 stem analysis data for second.

Fitted the site index curves, development the Bailey and Clutter methodology.

Was obtain base-age invariant polymorphic site curves using Schumacher model [$\ln H = a + b (1/E)^k$]. It was use the age at breast height instead the total age, and index age was 45 year.

To located the quality in a map, were using 202 temporary plots of a sistematic sample, in each one choosed 3 or 4 dominant trees, taking them the age and height.

Three qualities were defined: excellent, good an regular.

Key words: Forest management, site quality, site index, *Pinus michoacana*, *Pinus oocarpa*, Jalisco.

INTRODUCCIÓN.

En el manejo forestal de un área, entran en juego muchas ramas del saber y numerosas técnicas que se derivan de éstas, que al interrelacionarse en un conjunto, permiten tomar decisiones válidas para aprovechar de la mejor manera las condiciones en el rodal.

Este aprovechamiento del recurso con base en el conocimiento, permite asegurar la permanencia del mismo y obtener beneficios lucrativos no sólo a corto, sino a largo plazo.

Lo anterior favorece a los dueños o poseedores, así como a la población que vive del recurso, directa o indirectamente.

Lamentablemente en algunas zonas boscosas, la aplicación de técnicas básicas para el manejo forestal se encuentra bastante reducida, ya sea por falta de recursos económicos o por desconocimiento de su aplicación.

La calidad de sitio es una herramienta básica que permite tomar en cuenta la capacidad productiva del bosque, debido a los siguientes factores:

- Determina el tipo y la magnitud de los problemas y oportunidades que se presentan al silvicultor.

- Representa una cuestión esencial en el manejo de rodales encaminados a la producción de combinaciones de productos forestales como, madera, agua, forraje y recreación.

Por lo tanto, no es posible tomar decisiones realmente eficaces de tipo silvícola si no se conoce la calidad¹.

Para el conocimiento de la calidad de sitio intervienen factores como suelo y vegetación, siendo la calidad el resultado de la interacción entre dichos factores².

Un método realmente práctico, que ha resultado ser de bastante aceptación para estimar la calidad, es el método del índice de sitio, que utiliza a la vegetación mediante la relación edad-altura del arbolado dominante. Se elige al arbolado dominante de rodales coetáneos, porque son afectados en forma mínima por las variaciones en densidad.

En este trabajo y con la finalidad de contribuir a superar el desconocimiento en la aplicación de técnicas para predecir la calidad de sitio, se hace uso del método del índice de sitio, para lo cual se desarrolla la metodología descrita por Bailey y Clutter³ para originar curvas polimórficas de edad base invariable.

ANTECEDENTES.

Para estimar la calidad de sitio hay métodos directos e indirectos; la elección para utilizar cualesquiera de ellos estará en función del bosque, los recursos y equipo disponible para proceso de datos, la precisión requerida, así como la facilidad con que pueda inferirse el método.

Una de las opciones descrita en cualquier texto, que aborda el tema de la calidad de sitio y que tiene un uso más generalizado, está representada por el índice de sitio (I S).

Es un método antiguo, que en la actualidad es bastante conocido para estimar la productividad, donde intervienen la edad y la altura dominante de un rodal⁴.

El índice de sitio se define como la altura que alcanzará un árbol bajo las condiciones

¹ Daniel, T. W. *et al.* 1982. Principios de Silvicultura.

² Spurr, R. H. y Barnes, B. V. 1982. Ecología Forestal.

³ Bailey, R. L. and Clutter, J. L. 1974. "Base-age invariant polymorphic site curves". pp. 155-159.

⁴ Hägglund, B. 1981. "Evaluation of forest site productivity". pp. 515-527.

del bosque en un determinado número de años, como lo señalan Spurr y Barnes *op. cit.*

Las curvas de I S describen el ritmo de crecimiento en altura de árboles hipotéticos, o de un I S específico.

Dentro de las ventajas que tiene el I S, diversos autores como Spurr y Barnes, *op. cit.*, Curtis⁵ y Hägglund, (*op. cit.*), mencionaron las siguientes:

- Es cuantificable porque se expresa mediante números
- Es fácilmente medible
- Está libre de la influencia de las densidades del rodal .

Frecuentemente, el I S también sirve como un criterio básico en el desarrollo y prueba de métodos alternativos para la calidad⁶.

De acuerdo con los datos edad-altura recabados, provenientes de análisis troncales o parcelas temporales y permanentes, pueden derivarse curvas anamórficas (proporcionales) o polimórficas (no proporcionales)⁷.

Para construir las curvas de crecimiento edad-altura, anamórficas y polimórficas, se emplean procedimientos gráficos o analíticos.

Los procedimientos gráficos representan la tendencia de una curva promedio y las que se derivan de ella, mediante el trazo manual⁸.

Aguirre⁹ menciona que los procedimientos analíticos se basan en ecuaciones, con la ventaja de que el ajuste se realiza por medio de métodos matemáticos.

Un modelo recomendado en la literatura para representar fielmente la tendencia de la relación edad-altura, es el desarrollado por Bailey y Clutter *op. cit.*, el cual para obtener un sistema de curvas polimórficas se presenta así:

⁵ Curtis, R. O. 1964. "A stem-analysis approach to site-index curves", pp. 241-256.

⁶ Jones, R. J. 1969. Review and comparison of site evaluation methods.

⁷ Clutter, J. L. *et al.* 1983. Timber management: a quantitative approach.

⁸ Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos.

⁹ Aguirre, C. O. A. 1984. Estimaciones de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en la región de Iturbide, Nuevo León.

$$\ln H = a + b \ln (1/A)^k$$

donde:

H = altura

A = edad (años)

a, b, k = parámetros a ser ajustados por regresión

El intercepto o término independiente es el mismo para todas las curvas, pero la pendiente (b) es la que difiere y este parámetro indica que la velocidad de crecimiento está en función de la edad y el sitio.

Cuando "K" es un valor conocido entonces "a" y "b" pueden ajustarse por regresión lineal; cuando dicho valor es desconocido, los parámetros se estiman por regresión no lineal.

Para la mayoría de las especies, el valor de "k" está entre 0,2 y 2,0 (Alder *op. cit.*), y se estima por aproximaciones.

Alder, *Ibidem*, utiliza y recomienda el método, mencionándolo como muy apropiado para construir curvas de I S.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Localización y superficie.

El área bajo estudio se encuentra situada entre los paralelos 19° 56' y 19° 58' de latitud norte y los meridianos 103° 47' y 103° 51' de longitud oeste, correspondientes a la sierra de Tapalpa.

Cuenta con una superficie aproximada de 825 hectáreas (ha).

Según la clasificación de Köppen, modificada por García¹⁰ es un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano.

La temperatura media anual es de 16.8 °C, la del mes más cálido de 19.3 °C y del mes más frío de 13.3 °C, aunque se han alcanzado extremos máximos de 42.3 °C y mínimos de -5 °C.

¹⁰ García, E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen.

El régimen pluviométrico se presenta con una precipitación de 849 mm; el mes más húmedo (junio), con 169.7 mm y el mes más seco (febrero), con 6.5 mm.

Vegetación.

La vegetación del área de estudio está formada por bosques de pino, pino-encino y pino-hojosas. El 84.8% corresponde al bosque de pino y el resto a latifoliadas.

El género *Pinus* está representado en orden de importancia por las siguientes especies:

- *Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez con un 67%
- *Pinus oocarpa* Schiede, con un 13%
- *Pinus leiophylla* Schl. et Cham; *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. douglasiana* Martínez con un 4.8%.

Las especies estudiadas fueron el *Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez y el *P. oocarpa* Schiede.

METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Con la finalidad de estimar la calidad de sitio para toda el área a través de índices de sitio, se construyeron curvas de I S, con datos generados por análisis troncales, mediante relaciones edad-altura de árboles dominantes, recabados en sitios de muestreo temporales.

Trabajo de campo.

En parcelas temporales, se tomaron los datos edad-altura de 3 o 4 árboles dominantes, mediante un muestreo sistemático, con una distancia entre sitios e hileras de 200 m, lo que proporciona una intensidad de muestreo del 2.5%.

Se eligió el muestreo sistemático por su facilidad de puesta en marcha y porque permite tener cuadrículada el área, tanto en el mapa como en el terreno.

Los árboles elegidos debieron tener buena conformación, fustes rectos, sin problemas de plagas y sin huellas de supresión. Los datos recabados fueron:

- Especie
- Altura total
- Edad a 1.30 m
- Clasificación de los árboles por su vigor:
 - Exuberante (1)
 - Normal (2).

Como información general del sitio se registraron:

- Altitud
- Exposición
- Pendiente
- Posición en la pendiente
- Erosión
- Espesor de la materia orgánica.

La realización del muestreo sistemático durante el cual se recabó la información de las parcelas temporales, tuvo la ventaja adicional de que, al recorrer el bosque en su totalidad, permitió diferenciar en forma preliminar las calidades de sitio entre mejor, pobre e intermedia.

Se identificaron cinco calidades preliminares y se dirigió la selección de árboles para análisis troncales, lo cual permitió a su vez, tener en las curvas los crecimientos por especie, máximo, intermedio y mínimo.

Sobre todo, resultó muy importante el poder identificar los puntos máximos y mínimos de las curvas de crecimiento en altura, que indican los valores extremos del potencial del área.

Por cada calidad de sitio definida *a priori*, se empleó una muestra mínima de cinco árboles, debido a condicionantes económicas y de tiempo.

Lo anterior permitió que en un tiempo relativamente corto se obtuvieran los análisis troncales. La especie trabajada fue *Pinus michoacana cornuta* Martínez y donde no fue posible localizar éste, se usó *Pinus oocarpa* Schiede.

Se tomaron 27 árboles de la primera especie y 6 para la segunda, por ser más restringida su ubicación en las áreas de baja calidad.

Trabajo de gabinete.

Para el ajuste de curvas, se tomó un modelo matemático de regresión lineal simple, como la ecuación de Schumacher, con la metodología descrita por Bailey y Clutter *op. cit*; que, por su confiabilidad y sencillez puede trabajarse con una calculadora de bolsillo.

La ecuación es la siguiente:

$$\ln H = a + b (1/E^k)$$

donde:

$\ln H$ = logaritmo natural de la altura

E = edad del sitio

a, b, k = parámetros del modelo para ser ajustados por regresión.

Para su empleo como modelo lineal, el valor de "k" se incluyó como constante, determinándose por aproximaciones. La construcción del sistema de curvas fue del tipo polimórfico con uso del método de la edad invariable con datos de análisis troncales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Curvas de índice de sitio.

Para el *Pinus michoacana cornuta* Martínez se definieron cinco calidades *a priori*, de las cuales se eligieron 27 árboles para análisis troncales; en gabinete se procedió a seleccionar los que presentaron un desarrollo regular y uniforme, quedando eliminados dos árboles.

Con los 25 árboles seleccionados se construyó la familia de curvas, sin utilizar la edad total, porque se estimó conveniente el uso de la edad a 1.30 m, ya que presenta la ventaja de utilizar directamente las edades tomadas con el taladro de Pressler.

El mejor valor de "k" obtenido por aproximaciones, fue seleccionado cuando se obtuvo la suma de cuadrado medio del error, más pequeña y ese valor fue de 0.33.

VALORES DE K	CUADRADO MEDIO DEL ERROR (cme)	ÍNDICE DE FURNIVAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r)	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (r^2)	F CALCULADA
1	0.052666	3.6652	0.912398	0.832417	1212.46
2	0.092380	4.8543	0.840323	0.706142	586.33
3	0.120523	5.5446	0.785253	0.616623	392.44
0.6	0.041442	3.2513	0.931759	0.868175	1605.95
0.5	0.039926	3.1913	0.934342	0.872995	1677.19
0.4	0.039062	3.1648	0.935812	0.875745	1719.07
0.3	0.038896	3.1498	0.936094	0.876272	1728.07
0.33*	0.038870	3.14882	0.936138	0.876355	1729.38

* Valor de K que proporcionó los mejores ajustes para la tendencia de la curva promedio.

Cuadro N° 1. Resultados de la regresión para obtener la curva promedio con distintos valores de k, del *Pinus michoacana cornuta* Martínez.

La ecuación generada presenta un r^2 de 0.876, el cual es tomado como un buen nivel de aceptación.

La ecuación de mejor ajuste y el análisis de varianza se presentan en el siguiente cuadro; con el análisis de residuales se comprobó el buen ajuste del modelo a los datos.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA
Regresión	1	67.2225	67.2225	1729.38**
Error	252	9.4844	0.038870	
Total	253	76.7069		

* Altamente significativa

a = 4.83894

b = 5.56584

F de Fisher con $\alpha = 0.01$

n = 1

m = 252

F tab = 6.76

Cuadro N° 2. Análisis de varianza de la ecuación $\ln H = 4.83894 - 5.56584 (1/E^{0.33})$ para el *Pinus michoacana cornuta* Martínez.

Para definir la familia de curvas, o sea crear curvas hacia arriba y hacia abajo de la promedio; se determinó antes la edad base elegida cerca del turno técnico, que resultó de 45 años y la edad a la altura de 1.30 m.

Los intervalos entre curvas fueron de 6 m, para definir tres índices de sitio de 31.89 m, 25.89 m y 19.89 m, como se muestra en la figura 1.

Del *Pinus oocarpa* Schiede, se tomaron 6 árboles para análisis troncales encontrados en una sola calidad preliminar.

El mejor valor de "k" fue de 0.19; la suma del cuadrado medio del error tuvo un resultado de 0.025106 (vid., *infra*, cuadro 3).

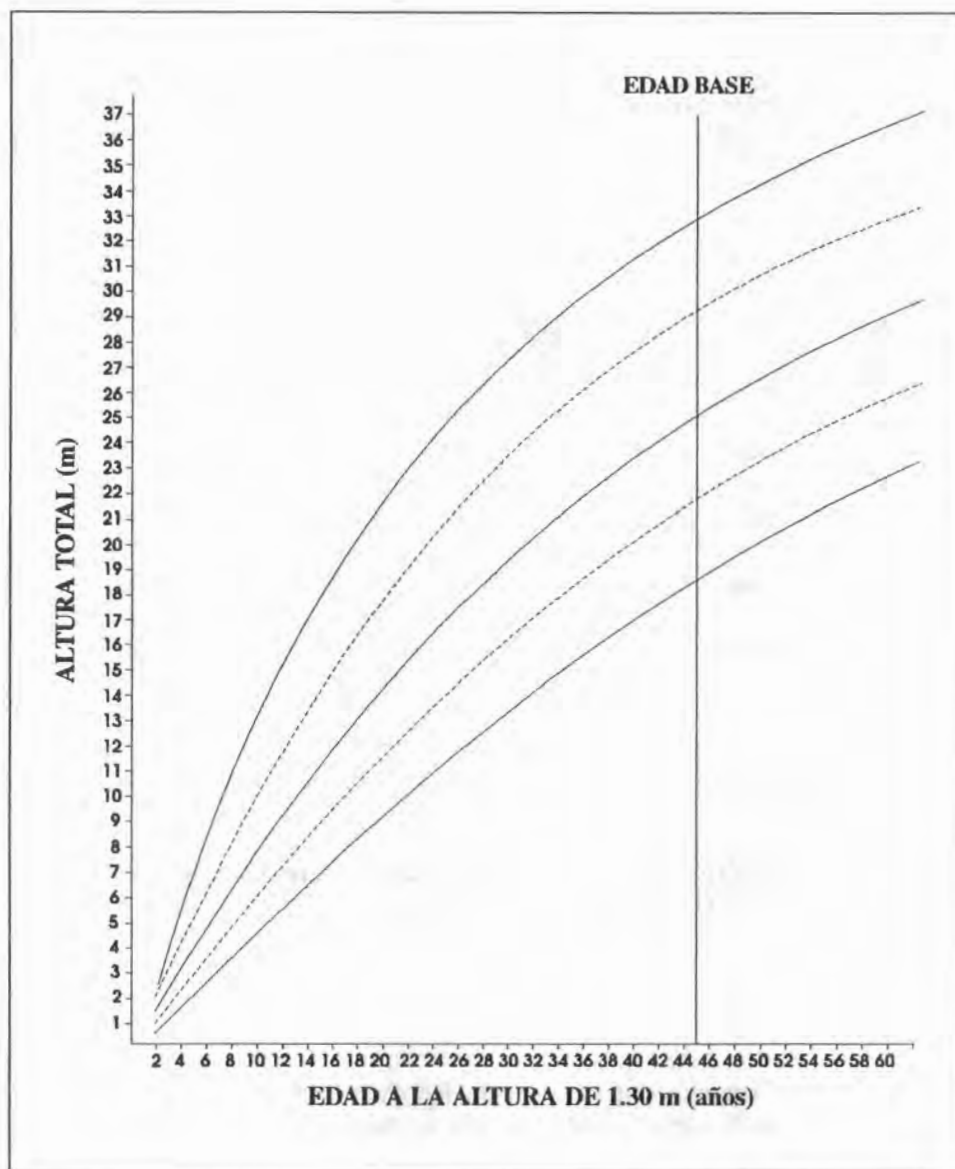


Figura N° 1. Curvas de índice de sitio para *Pinus michoacana cornuta* Martínez.

VALORES DE K	CUADRADO MEDIO DEL ERROR (cme)	ÍNDICE DE FURNIVAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r)	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (r ²)	F CALCULADA
1	0.04700	2.6129	0.91360	0.83466	338.241
2	0.09288	3.6728	0.82056	0.67333	138.100
0.4	0.02682	1.9740	0.95164	0.90563	643.022
0.3	0.02558	1.9276	0.95394	0.91001	677.570
0.2	0.02511	1.9097	0.95482	0.91168	691.650
0.1	0.02542	1.9217	0.95423	0.91057	682.190
0.19*	0.025106	1.90957	0.95483	0.9117	691.774

* Valor de K que proporcionó los mejores ajustes para la tendencia de la curva promedio.

Cuadro N° 3. Resultados de la regresión para obtener la curva promedio con distintos valores k, del *Pinus oocarpa* Schiede.

El coeficiente de determinación (r²) logrado fue de 0.9117, con un buen nivel de aceptación, la ecuación originada y el análisis de varianza se observan en el cuadro 4.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA
Regresión	1	17.3676	17.3676	691.774**
Error	67	1.6821	0.025106	
Total	68	19.0497		

* Altamente significativa

a = 5.91294

b = 6.28096

F de Fisher con a = 0.01

n = 1

m = 67

F tab = 7.01

Cuadro N° 4. Análisis de varianza de la ecuación $\ln H = 5.91294 - 6.28096 (1/E^{0.19})$, para el *Pinus oocarpa* Schiede.

En lo referente al análisis de residuales para el modelo, es notorio que podría haberse mejorado al aumentar el tamaño de muestra.

Para definir los índices de sitio, resultó un intervalo entre curvas de 3.5 m, tomando los valores extremos máximos y mínimos.

La edad base fue de 45 años también.

Los valores de los índices fueron:

- Superior 21.06 m
- Promedio 17.56 m
- Inferior 14.06 m.

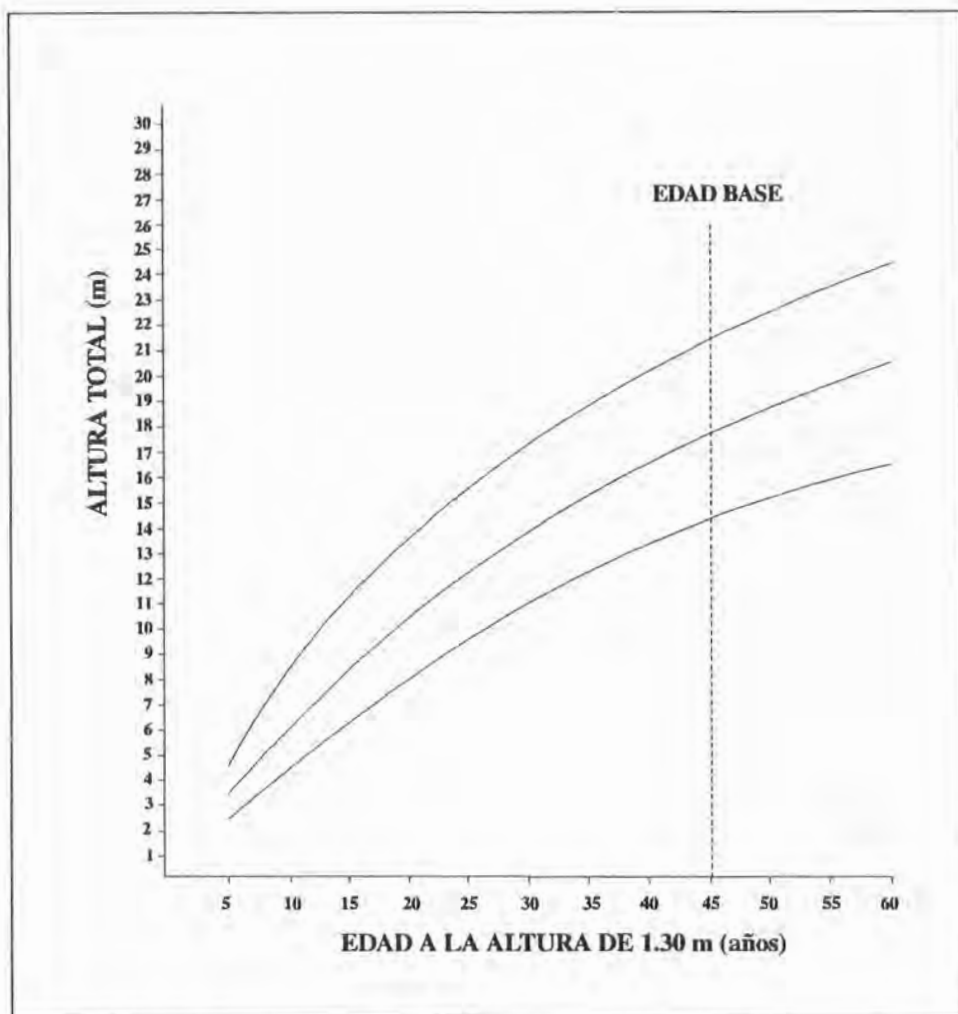


Figura N° 2. Curvas de índice de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede.

Calidad de sitio.

Para este trabajo, se utilizan en la determinación de la calidad, las curvas de índices de sitio de la especie *Pinus michoacana cornuta* Martínez, por ser la especie de mayor

distribución en el área, tener un tamaño de muestra más aceptable, y porque las tres curvas de índices de sitio del *Pinus oocarpa* Schiede pueden comprenderse dentro de la curva inferior del I S 19.89, del *Pinus michoacana cornuta* Martínez.

Además, es preferible manejar una sola familia de curvas; se definieron tres calidades, denominadas: excelente, buena y regular, y el I S al cual corresponden es como sigue:

Calidad	I	Excelente	I S	31.89
Calidad	II	Buena	I S	25.89
Calidad	III	Regular	I S	19.89

En la definición de la calidad de sitio del área, se emplearon los árboles tomados de las parcelas temporales, mismos que habían reportado datos de edad y altura.

A cada observación de la parcela le fue señalada la calidad; en el caso de haber discrepancia se tomaron los árboles dominantes (vigor 1) y de mayor edad.

El índice de sitio de cada observación para estimar la calidad, se obtuvo con la siguiente expresión matemática:

$$S = \exp' [a + (\ln H - a) (E/EB)^k]$$

donde:

- S = índice de sitio
- a, k = parámetros de la ecuación del cuadro 2 (vid., supra)
- ln = logaritmo natural base e
- H = altura de la observación
- E = edad de la observación
- EB = edad base (45 años).

Al conocer los rangos entre las calidades a la edad base de 45 años, se precisa en qué calidad ubicar la observación.

De los 202 sitios de muestreo, en 13 se tuvieron problemas para fijar su calidad, debido a que estaban desprovistos de vegetación, o a que no se encontraron las especies estudiadas.

En los casos en que no se tenía vegetación, se analizaron los datos de pedregosidad, pendiente, erosión y exposición. Para lo cual fue fijado un criterio de clasificación; cuando los sitios eran pedregosos, erosionados y con pendientes fuertes, se consideraron de calidad regular.

8 de los 13 sitios se ubicaron en la clasificación regular; un sitio adicional se clasificó como excelente, al presentar exposición zenital, sin pendientes, suelo no pedregoso y sin erosión, además contiguo a él, había sitios excelentes.

Los otros 4 sitios presentaban vegetación de pino pero de otras especies. Se optó por tomarles la calidad en base a los datos edad-altura, 2 sitios correspondieron a la clasificación de excelente y otros 2 a la calidad buena.

Las calidades definidas por sitio fueron agrupadas en un mapa por rodales (*vid.* figura 3), conforme a su homogeneidad.



Figura N° 3. Plano de las tres calidades de sitio del Área Demostrativa Forestal Tapalpa.

Cada sitio de muestreo abarca 4 hectáreas, por lo que para fines de manejo es factible utilizar las calidades, tal y como se presentan.

CONCLUSIONES.

1. El modelo de Schumacher [$\ln H = a + b 1/E^k$], es recomendable por ser simple y confiable en la predicción del crecimiento en altura, con la ventaja de ser factible su desarrollo por medio de calculadoras de bolsillo.

2. El mejor valor de "K" de índice de sitio para el *Pinus michoacana cornuta* Martínez, fue de 0.33 y de 0.19, para el *P. oocarpa* Schiede.

3. Se determinaron 3 calidades con base en el índice de sitio a una altura base de 45 años, utilizando la edad a la altura de 1.30 m, con un intervalo de 6 m que fueron clasificadas de la siguiente manera:

Calidad I. Denominada como excelente; corresponden a ella, aquellos árboles mayores de 28.89 m de altura.

Calidad II. Denominda como buena; corresponden a ella todos los árboles localizados en el rango de 22.89 m a 28.89 m.

Calidad III. Denominada como regular y corresponden a ella todos los árboles con altura inferior de 22.89 m.

4. La definición de las calidades preliminares fue congruente con las calidades logradas en gabinete.

5. Asimismo, es posible utilizar el plano que presenta las calidades de sitio para fines de manejo del bosque.

BIBLIOGRAFÍA.

Aguirre, C. O. A. 1984. Estimación de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en la región de Iturbide, Nuevo León. Tesis Profesional. Especialista en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. México. 71 p.

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. Estudios F A O, Roma, Italia. Vol N° 2. 197 p.
- Bailey, R. L. and Clutter, J. L. 1974 "Base-age invariant polymorphic site curves". Forest Science. 20 (2). pp. 15 - 159.
- Clutter, J. L; Fortson, J. C; Pienaar, L. V; Brister, G. H. and Bailey, R. L. 1983. Timber management; a quantitative approach. Ed John Wiley. New York. U S A. 333 p.
- Curtis, R. O. 1964. "A stem-analysis approach to site-index curves". Forest Science. 10 (2). pp. 241-256.
- Daniel, T. W; Helms, J. A. and Baker, F. S. 1982. Principios de Silvicultura. Ed McGraw-Hill. México. 492 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. Ed Larrios. México.
- Hägglund, B. 1981. "Evaluation of forest site productivity". Commonwealth Forestry Bureau. Forestry Abstracts. 42 (11). pp. 515-527.
- Jones, R. J. 1969. Review and comparison of site evaluation methods. U S D A. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Research Paper Rm-51. 27 p.
- Spurr, R. H. y Barnes, B. V. 1982. Ecología Forestal. Ed A G T. México. 690 p.