

# SUELO-CALIDAD DE ESTACIÓN EN EL ÁREA EXPERIMENTAL FORESTAL MADERA, CHIHUAHUA.

Narváez Flores Raúl\*

## RESUMEN.

Para la presente investigación se emplearon métodos de regresión y correlación múltiple, con la técnica de regresión por pasos (step-wise), para determinar las interrelaciones entre las características del suelo y del arbolado.

Se probaron 50 variables del sitio (suelo-topografía), en relación con el índice de sitio de *Pinus durangensis* Martínez, que comprenden: volumen total; volumen de pino; diámetro promedio de la especie de pino dominante; incremento medio anual en volumen; diámetro de los árboles dominantes y codominantes.

Los modelos de regresión que mejor predicen la productividad del sitio son los referentes al índice de sitio de *Pinus durangensis* y al volumen de las especies de pino.

Se encontró que 69.4 % y 74.2% de la variación en los dos parámetros es explicada por variables edáficas y topográficas.

Entre las que destacan para el primer modelo: el pH y contenido de arcilla del horizonte A.

Para el segundo modelo: la profundidad total del suelo, lámina de agua aprovechable del horizonte B y exposición del terreno.

Palabras clave: Calidad de estación, pinos, suelos forestales, *Pinus durangensis*, ecología, Chihuahua.

\* Ingeniero Agrónomo Forestal. M.C. Jefe del Campo Experimental Madera. CIR-Norte Centro. INIFAP-SARH.

## ABSTRACT.

Regression methods and multiple correlation through step-wise procedures were used to determine the relationships between soil properties and site quality.

50 site variables (soil-topography) were tested regarding: site index; total volume; pine volume; average diameter of the dominant pine species; mean annual growth in volume; diameter of dominant and codominant trees.

The best regression models to predict station quality were site index and the volume of pine species.

It was found that 69.4 and 74.2% of the total variation in both parameters was explained by edafic variables.

Mainly soil pH and clay content from the A horizon for the first model.

And soil depth, available water in the B horizon and aspect for the second.

Key words: Site quality, pines, forest soils, *Pinus durangensis*, ecology, Chihuahua.

## INTRODUCCIÓN.

México es un país eminentemente forestal, ya que una superficie de 143 600 000 hectáreas (ha), se clasifican en esa categoría, que representa el 73.3% del territorio nacional.

De esa superficie, 27.0% (38 900 000 ha) corresponden a bosques y selvas<sup>1</sup>.

A pesar de contar con una gran riqueza forestal y de su importancia como satisfactor de bienes y servicios, el aprovechamiento y manejo de estos recursos no ha sido el adecuado, ocasionando el deterioro de los mismos.

Esto se debe principalmente a que el concepto de ecosistema no ha sido entendido como tal, ya que poco se consideran los factores del medio y su interrelaciones, de ahí que se han tenido muchos problemas de manejo.

---

<sup>1</sup> CNIDS. 1986. Los recursos forestales.

Dentro de los ecosistemas forestales de México, uno de los factores que menor atención ha recibido es el suelo, a pesar de ser de primaria importancia en el crecimiento y productividad de los bosques, al aportar humedad, nutrientes y espacio para el crecimiento y desarrollo de la planta.

Barnes<sup>2</sup> y colaboradores, proponen una clasificación ecológica del sitio, como base para un manejo de uso múltiple de los recursos en una región determinada, en la que se expresen las interrelaciones entre:

- Vegetación y fisiografía.
- Vegetación y suelos.
- Fisiografía y suelos.

Estos autores señalan que los factores fisiográficos y del suelo sólo adquieren su significado ecológico y silvícola cuando se entiende su relación con la vegetación, e indican que la vegetación, la fisiografía y el suelo, así como sus interrelaciones, sirven para distinguir más claramente a los ecosistemas locales.

Asimismo, mencionan que las características del suelo, como la humedad, los nutrientes y el pH tienen una influencia directa en la composición de plantas y animales, así como en su tamaño y productividad.

## **OBJETIVO.**

Tomando como base los conceptos anteriores, el presente trabajo procura contribuir al conocimiento de los suelos del área experimental forestal Madera, en Chihuahua, en relación con la vegetación y su productividad.

Se pretende además, que la información generada permita planear adecuadamente el manejo silvícola de las principales especies de pino y aprovechar mejor la capacidad productiva de los suelos, como parte del manejo integral del bosque.

---

<sup>2</sup> Barnes, B. V. *et al.* 1982. "Ecological forest site classification". pp. 493-498.

## ANTECEDENTES.

La productividad de los terrenos forestales se define, en gran parte, por la calidad de sitio, la cual se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado.

La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales, encaminada a la producción de varias combinaciones de productos forestales como:

- Madera.
- Agua.
- Forrajes.
- Recreación.
- Caza.

No es posible tomar decisiones válidas de tipo silvícola, si no se hace referencia a la calidad de sitio y a otras condiciones del mismo<sup>3</sup>.

Coile<sup>4</sup> y Carmean<sup>5</sup>, indican que el método más usado para estimar indirectamente la calidad de estación es la relación suelo-sitio; asimismo, señalan que las variables que están a menudo más estrechamente relacionadas a la calidad de sitio son:

- La profundidad del horizonte A.
- La profundidad total del suelo.
- Su textura.
- La distribución del espacio poroso y contenido de materia orgánica.
- El clima.
- Duración del día.
- Exposición.
- Pendiente.
- Geología.

Carmean, *op.cit.*, indica que la mayoría de este tipo de estudios, explican quizá del 65% al 85% de la variación en la altura del árbol o índice de sitio.

En países como Estados Unidos de Norteamérica se han realizado estudios de este tipo desde hace mucho tiempo; en México son pocos los estudios sobre suelos forestales, y más

<sup>3</sup> Daniel, P. W. *et al.* 1982. Principios de Silvicultura.

<sup>4</sup> Coile, T. S. 1952. "Soil and the growth of forests". pp. 329-398.

<sup>5</sup> Carmean, V. H. 1975. "Forest site quality evaluation in United States". pp. 209-269.

aún cuando se trata de correlacionarlos cuantitativamente con el crecimiento y productividad de las masas arboladas.

El primer trabajo en México es de Castaños<sup>6</sup>, quien evaluó la calidad de estación de *Pinus patula* Schl. et Cham., en el norte de Oaxaca, en masas vírgenes e incoetáneas, por medio de dos métodos:

- 1º Mediante el índice de sitio.
- 2º Con base a las propiedades edáficas y topográficas.

Encontró que la profundidad del suelo, la altitud y la exposición son las tres variables más correlacionadas con la calidad de estación.

Orantes y Musálem<sup>7</sup> (cfr. Revista Ciencia Forestal N° 35), establecieron una correlación alta entre la profundidad promedio de los horizontes y la calidad de sitio de *Pinus hartwegii* Lind., en Zoquiapan, México, pero no lo recomiendan, ya que no es una medida práctica para el dasónomo.

Rodríguez<sup>8</sup> indica que las propiedades edáficas que mayor influencia ejercen en el crecimiento en altura y que determinan las calidades de estación: rica, media y pobre en *Pinus montezumae* Lamb., son el pH y contenido de limo de la capa de suelo de 0 cm a 50 cm de profundidad.

Gómez-Tagle<sup>9</sup> y los coautores Chávez y Gómez-Tagle<sup>10</sup>, encontraron que los factores del suelo y topografía más relacionados con el incremento y desarrollo de las masas forestales en la región de Michoacán son:

- Pendiente.
- Profundidad del suelo.
- Espesor del horizonte B.
- Tamaño y distribución de las partículas del suelo.
- Láminas de agua aprovechable.
- Exposición.

<sup>6</sup> Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el norte de Oaxaca.

<sup>7</sup> Orantes G., F. R. y Musálem, M. A. 1982. "Determinación de calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lind., en Zoquiapan, México". pp. 3-20.

<sup>8</sup> Rodríguez F., C. 1982. Determinación de calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el C E F San Juan Tetla, Puebla.

<sup>9</sup> Gómez-Tagle R., A. F. 1985. Levantamiento de suelos del C E F Barranca de Cupatitzio y su relación con la vegetación de coníferas.

<sup>10</sup> Chávez H., M. Y. y Gómez-Tagle R., A. F. 1985. Principales interacciones entre los suelos forestales y las coníferas del cerro de la Cruz, Michoacán.

La importancia de los estudios sobre la relación suelo-sitio, radica en su uso para evaluar el potencial productivo de varias especies en terrenos forestales desnudos, en bosques vírgenes e incoetáneos, en áreas sobreexplotadas, en masas jóvenes o decadentes y densidades extremas, Coile *op.cit*, Carmean *Ibidem*.

Además, Daniel y coautores, *op.cit.*, indican que cuando el índice edáfico del sitio se correlaciona correctamente con el índice del mismo, las clases de sitio por su calidad pueden cartografiarse con rapidez.

El conocimiento de la productividad de los sitios o clases de calidad de estación, puede ser útil en la planificación de los trabajos silvícolas ya se trate de selección de especies, programas de reforestación, valoración de montes, monto de inversiones, usos comerciales más apropiados del arbolado, intensidades de corta, formulación de tablas de volúmenes o de estudios sobre predicción del crecimiento (Castaños, *op.cit.*).

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

### Localización.

El área de estudio se encuentra ubicada en el macizo montañoso de la Sierra Madre Occidental en la región noroeste del estado de Chihuahua, dentro del municipio de Madera, a 12 kilómetros al suroeste de la población del mismo nombre.

Su localización geográfica comprende las coordenadas 29° 06' 50" de latitud norte y 108° 11' 53" de longitud oeste del meridiano de Greenwich<sup>11</sup> (*cf.* Revista Ciencia Forestal N° 11).

---

<sup>11</sup> Sánchez C., J. y Chacón S., J. M. 1986. "Relación suelo-vegetación del área experimental forestal Madera". pp. 41-64.



**Figura N° 1.** Ubicación del área de estudio.

### **Clima.**

Por medio de las cartas climáticas del Centro de Estudios del Territorio Nacional<sup>12</sup> (CETENAL) y con base en el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García<sup>13</sup>, se determinó que el clima de esta región es C (w<sup>1</sup>) (b<sup>1</sup>) (e), que corresponde al grupo de climas templados subhúmedos.

<sup>12</sup> CETENAL. 1980. Cartas climáticas.

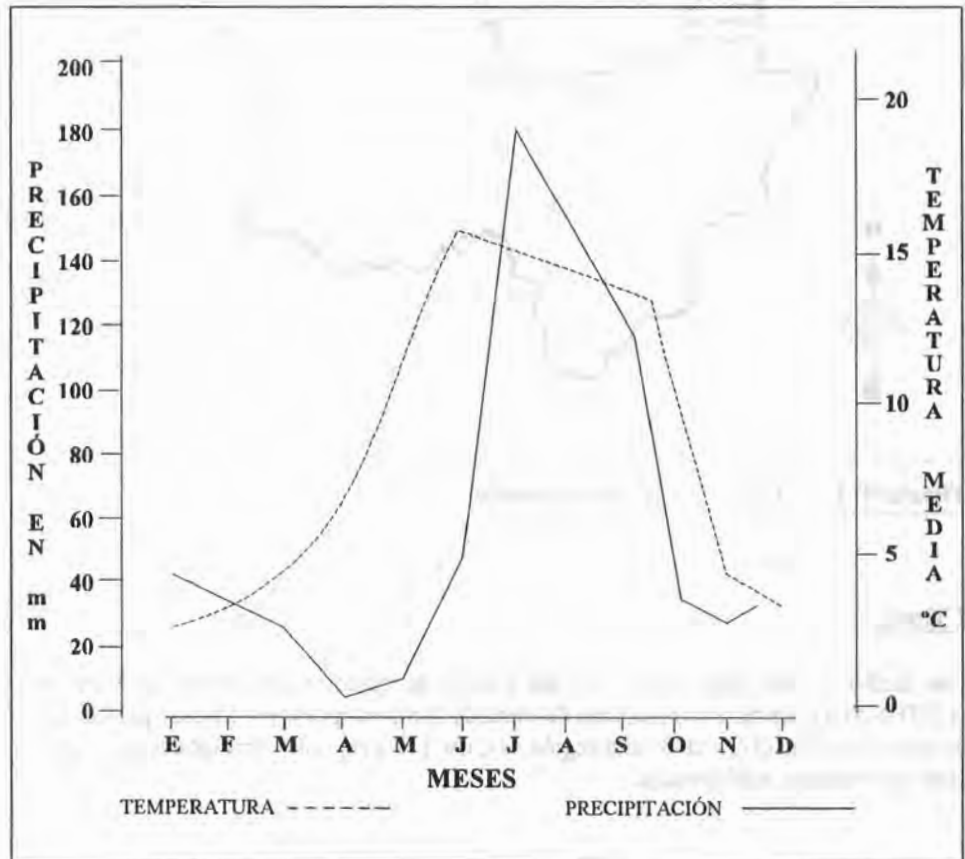
<sup>13</sup> García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática.

Con temperatura media del mes más frío de  $-3^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ , y la del mes más caliente, mayor de  $6.5^{\circ}\text{C}$ , con régimen de lluvias en verano.

La estación meteorológica denominada Campo 4, a 300 m del área en estudio, registra una precipitación promedio anual de 838 mm.

La temperatura media anual es de  $9.6^{\circ}\text{C}$ , siendo las mínimas de  $3.8^{\circ}\text{C}$  y las máximas de  $15.8^{\circ}\text{C}$  en promedio.

Los vientos dominantes de esta región provienen del oeste, con sus variaciones al noroeste y suroeste (Sánchez y Chacón, *op.cit.*).



**Figura N° 2.** Climograma de la estación meteorológica Campo 4, Madera, Chihuahua.

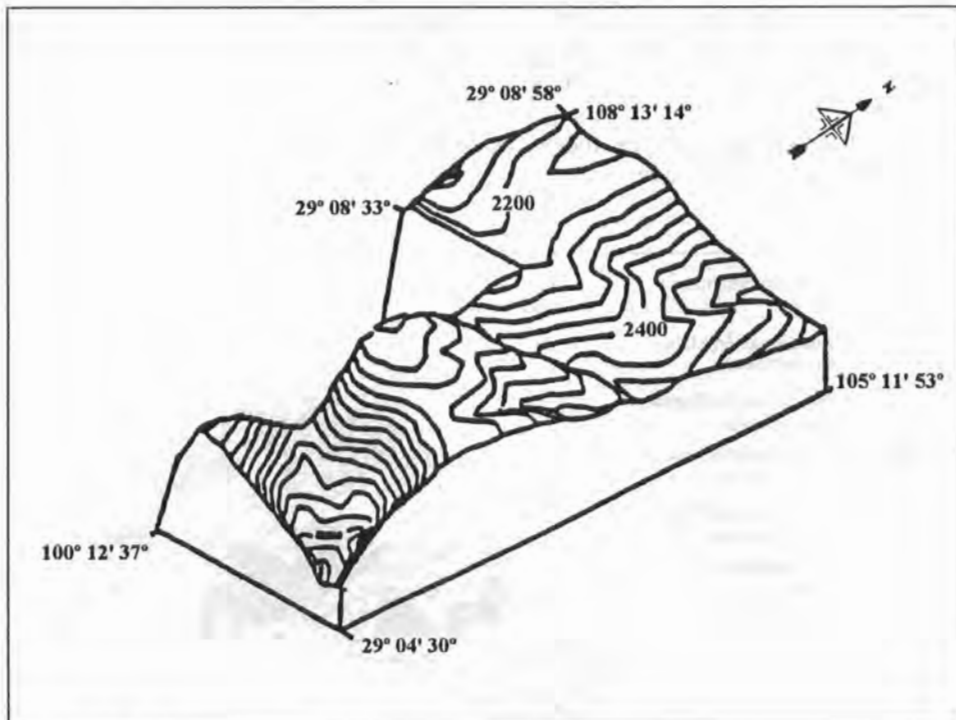


### Topografía.

El área experimental forestal Madera, cuenta con dos sectores planos, uno en el norte y otro en la parte media, rodeado por tres cañadas.

La parte sur del área tiene un relieve mucho más accidentado, con pendientes mayores de 50% (Sánchez y Chacón, *op.cit.*).

En cuanto a altitud, el área se encuentra entre las cotas altimétricas de 2 100 a 2 540 metros sobre el nivel del mar, (m s n m).



**Figura N° 3.** Topografía del área experimental Madera.

## Vegetación.

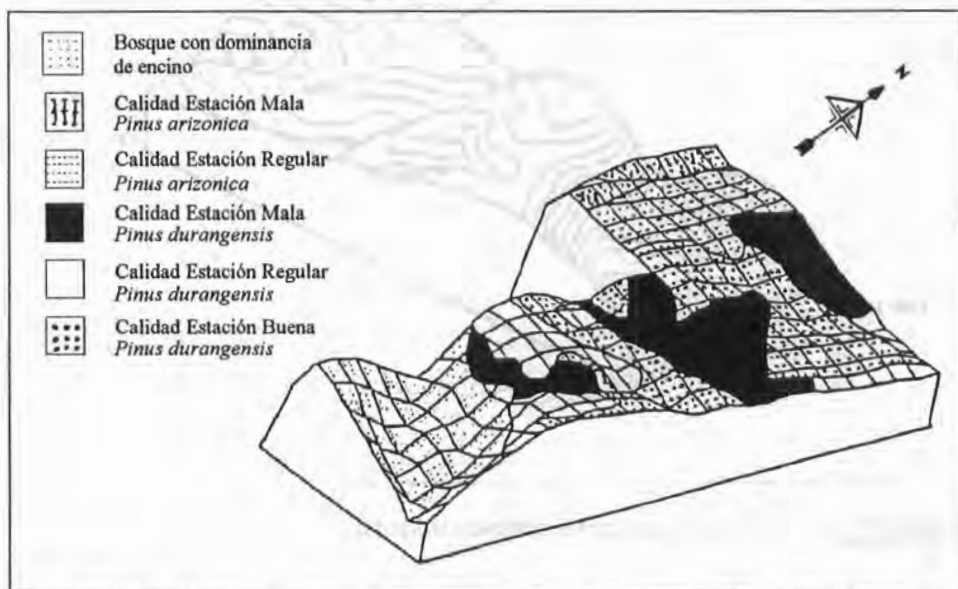
Con base en la fotointerpretación por exposición, pendiente y vegetación<sup>14</sup> los tipos de comunidades vegetales presentes en el área experimental Madera son:

- a) **Bosque de pino (P).**
- b) **Bosque de pino-encino (Pq).**
- c) **Bosque de encino-pino (Qp).**
- d) **Chaparral.**

### a) **Bosque de pino (P).**

Se encuentra en las partes noroeste y media del área; en la primera domina la especie *Pinus arizonica* Engelm y en la media *Pinus durangensis* Martínez; por otra parte, en algunas cañadas a la orilla de arroyos y con exposiciones al norte, la especie dominante es *Pinus ayacahuite* var *brachyptera* Shaw.

La superficie ocupada por estos rodales es de 107 ha, lo que representa 21,4% de las 500 ha que comprende el área.



**Figura N° 4.** Mapa de calidades de estación del área experimental Madera, Chihuahua.

<sup>14</sup> Cota, M. R. Inédito. Fotointerpretación del área experimental forestal Madera, Chihuahua.

### b) Pino-encino (Pq).

Este tipo de asociación vegetal es la más extensa del área, ya que cuenta con una superficie de 300.9 ha representando el 60.2% de la superficie total.

Las especies más frecuentes de pino son:

*Pinus durangensis.*  
*P. arizonica.*  
*P. ayacahuite var brachyptera.*  
*P. leiophylla* Shld & Cham.

Los encinos más comunes son:

*Quercus sideroxyla* Humboldt & Bonpland.  
*Q. arizonica* Sargent.  
*Q. fulva* Liebmann.  
*Q. rugosa* Née.

### c) Encino-pino (Qp).

Las especies más representativas que conforman este tipo de vegetación son:

*Quercus sideroxyla.*  
*Q. rugosa.*  
Algunos individuos del género *Pinus*.

Este bosque ocupa una superficie de 69.6 ha que son el 14% del área experimental.

Reséndiz<sup>15</sup>, de acuerdo con la FAO presenta las siguientes unidades de suelo:

En las mesas	Foetzem háplico/textura mediana.
En pendientes suaves	Luvisol órtico/textura media.
En terrenos muy quebrados	Litosol/textura media.

Sánchez y Chacón *op.cit.* por su parte, establecen para el área experimental Madera, las series de suelos, así como su respectiva correspondencia en bosques:

Arizónica	<i>Pinus arizonica</i>
Duranguensis	<i>P. durangensis</i>
Sirupa	<i>Quercus</i> spp.

<sup>15</sup> Reséndiz V., P. 1984. Resumen del inventario forestal de las Unidades de Administración Forestal del estado de Chihuahua.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **Selección de sitios.**

Se hizo la rodalización del área experimental Madera, en fotografías aéreas a color, escala 1:10 000, tomando como criterio la exposición y pendiente del terreno.

Posteriormente se subrodalizó considerando las características de la vegetación, Cota, *op.cit.* como:

- Géneros.
- Espesura.
- Altura.

Con base en la fotointerpretación del área y reconocimientos de campo, se seleccionaron 16 sitios de muestreo de 0.1 ha.

### **Caracterización dasométrica.**

Los datos que se obtuvieron de los sitios circulares de inventario de 0.1 ha para las especies dominantes o codominantes (*Pinus arizonica* y *Pinus durangensis*); son:

- Altura total (m).
- Diámetro normal (mm)
- Grosor de corteza (mm).
- Edad (años).
- Longitud de los 10 últimos anillos (mm) a 1.30 m de altura.
- Incremento medio anual en volumen y diámetro.

Al resto de los individuos comprendidos dentro del sitio de muestreo, únicamente se les determinó la especie, altura total, diámetro normal y grosor de corteza<sup>16</sup>. Además se obtuvo el área basal y volumen de cada sitio.

---

<sup>16</sup> González G., H. J. 1980. La aplicación de calidades de estación en el manejo silvícola.

### **Muestreo de suelos.**

En cada sitio se hizo la descripción de un perfil de suelo, de acuerdo con Hernández y Sánchez<sup>17</sup>.

Posteriormente se realizaron los análisis de rutina fisicoquímicos de las muestras de suelos, cuyos resultados se relacionan con las características de la vegetación, para determinar la calidad de sitio.

### **Determinación de índice de sitio.**

Para determinar el índice de sitio de *Pinus durangensis* se utilizó el modelo de crecimiento de altura total-edad a 1.30 m, obtenido por González *op.cit.*

La ecuación que representa la curva promedio de calidad de estación es la siguiente:

$$\text{Ln H} = 2.5520 - 72.3873 (1/E^{0.01})$$

donde:

Ln H = logaritmo natural de la altura total del árbol.

E = edad del árbol.

Las calidades de sitio definidas por González *op.cit.*, para *Pinus durangensis* contemplan los siguientes índices de localidad:

Buena > 20.45 m

Regular entre 17.45 y 20.45 m

Mala < 17.45 m.

### **Análisis estadístico.**

Se hicieron correlaciones simples entre las características dasométricas del arbolado que se consideraron indicadoras de la productividad del sitio, con el fin de conocer el grado de asociación que hay entre las mismas.

---

<sup>17</sup> Hernández S., R. y Sánchez J., C. 1973. Guía para la descripción de suelos de áreas forestales.

Las variables consideradas fueron:

- Índice de sitio de *Pinus durangensis* (I S)
- Diámetro promedio (D P)
- Volumen de las especies de pino (V P)
- Volumen total del sitio (V T)
- Incremento medio anual en volumen (I M A V)
- Incremento medio anual en diámetro de los árboles de pino dominante (I M A D).

También se hicieron correlaciones simples entre las características del arbolado y las del sitio (edáficas y topográficas), para las cuales el nivel mínimo de significancia considerado para estas relaciones fue de  $P < 0.05$  *vid., infra*, cuadro N° 1.

Para determinar las características del suelo y topografía que están correlacionadas con la calidad de sitio, se emplearon modelos de regresión y correlación múltiple con la técnica de regresión por pasos (step-wise).

Estadísticamente se denotaron como variables independientes, las características del sitio y como dependientes, las referidas al crecimiento del arbolado que se mencionan en el cuadro 1.

Para elegir las mejores ecuaciones de regresión, se consideró que tuvieran:

- Los más altos coeficientes de correlación (R)
- Los más altos coeficientes de determinación ( $R^2$ )
- El menor error estándar de estimación
- El menor cuadrado medio del residual del análisis de varianza, con una  $P < 0.05$

Con base en los análisis de suelo, mapa de índices de sitio de González *op.cit.*, y la fotointerpretación del área por exposición y pendiente, se elaboró el plano de productividad forestal del área experimental Madera.

$X_1$ = Arena horizonte A (%)	$X_{31}$ = Espacio poroso horizonte B (%)
$X_2$ = Liso horizonte A (%)	$X_{32}$ = pH horizonte B en $N_2O$
$X_3$ = Arcilla horizonte A (%)	$X_{33}$ = pH horizonte B en KCl
$X_4$ = Capacidad de campo horizonte A	$X_{34}$ = Materia orgánica horizonte B (%)
$X_5$ = Punto de marchitez permanente horizonte A	$X_{35}$ = Capacidad de intercambio catiónico del horizonte B (meq/100g)
$X_6$ = Humedad aprovechable horizonte A	$X_{36}$ = Saturación de bases horizonte B (%)
$X_7$ = Densidad aparente horizonte A	$X_{37}$ = Calcio horizonte B (meq/100g)
$X_8$ = Densidad real horizonte A	$X_{38}$ = Magnesio horizonte B (meq/100g)
$X_9$ = Espacio poroso horizonte A (%)	$X_{39}$ = Sodio horizonte B (meq/100g)
$X_{10}$ = Espesor del horizonte A (cm)	$X_{40}$ = Potasio horizonte B (meq/100g)
$X_{11}$ = pH de horizonte A en $N_2O$	$X_{41}$ = Fósforo horizonte B (ppm)
$X_{12}$ = pH de horizonte A en KCl	$X_{42}$ = Nitrógeno total horizonte B (%)
$X_{13}$ = Materia orgánica horizonte A (%)	$X_{43}$ = Lámina de agua aprovechable horizonte B (cm)
$X_{14}$ = Capacidad de intercambio catiónico del horizonte A en (meq/100g)	$X_{44}$ = Profundidad efectiva del suelo (cm)
$X_{15}$ = Saturación de bases de horizonte A (%)	$X_{45}$ = Profundidad total del suelo (cm)
$X_{16}$ = Calcio horizonte A (meq/100g)	$X_{46}$ = Profundidad del horizonte B (cm)
$X_{17}$ = Magnesio horizonte A (meq/100g)	$X_{47}$ = Pendiente dominante (%)
$X_{18}$ = Sodio horizonte A (meq/100g)	$X_{48}$ = Lámina agua aprovechable total (cm)
$X_{19}$ = Potasio horizonte A (meq/100g)	$X_{49}$ = Altitud sana
$X_{20}$ = Fósforo horizonte A (ppm)	$X_{50}$ = Grados de exposición (Azimut)
$X_{21}$ = Nitrógeno total horizonte A (%)	
$X_{22}$ = Lámina agua aprovechable horizonte A (cm)	$Y_1$ = Índice de sitio (altura total a la edad de 50 años)
$X_{23}$ = Arena horizonte B (%)	$Y_2$ = Diámetro promedio de <i>Pinus</i> en (cm)
$X_{24}$ = Liso horizonte B (%)	$Y_3$ = Volumen <i>Pinus</i> en $m^3 ha^{-1}$
$X_{25}$ = Arcilla horizonte B (%)	$Y_4$ = Volumen total en $m^3 ha^{-1}$
$X_{26}$ = Capacidad de campo horizonte B	$Y_5$ = Incremento medio anual en diámetro en $cm año^{-1}$
$X_{27}$ = Punto marchitez permanente horizonte B	$Y_6$ = Incremento medio anual en volumen en $m^3 año^{-1}$
$X_{28}$ = Humedad aprovechable horizonte B	
$X_{29}$ = Densidad aparente horizonte B	
$X_{30}$ = Densidad real horizonte B	

**Cuadro N° 1.** Variables dependientes (Y), e independientes (X), que se probaron en los análisis de regresión y correlación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Correlación simple de las características del arbolado.

Todas las características dasométricas del arbolado se encuentran correlacionadas entre sí, de manera significativa ( $P < 0.05$ ), a excepción del incremento medio anual en diámetro, que únicamente se correlaciona con el incremento medio anual en volumen.

Lo que concuerda en forma general con otros autores como Orantes y Musálem *op.cit.* y Chávez y Gómez-Tagle *Ibidem*.

Con base en lo anterior, se puede decir que la estimación de cualquier variable, implica de cierta manera a las otras variables que infieren en el crecimiento del arbolado.

Los coeficientes de correlación se presentan a continuación.

	IS	OP	VT	VP	IMAV
<b>Índice de sitio</b>					
<b>Diámetro promedio de <i>Pinus</i></b>	0.60*				
<b>Volumen total</b>	0.62*	0.61*			
<b>Volumen pino</b>	0.64**	0.64**	0.98**		
<b>Incremento medio anual volumen</b>	0.63**	0.52*	0.57*	0.50*	
<b>Incremento medio anual diámetro</b>					0.59*
(PS 0.05)*	(PS 0.01)**				

**Cuadro N° 2.** Coeficientes de correlación simple de las características dasométricas del arbolado.



### Correlación simple de las características edáficas y dasométricas.

Las principales correlaciones que se encontraron entre las características del suelo y del arbolado, se muestran en el cuadro N° 3.

En resumen, se puede decir que la profundidad y efectividad del suelo, así como el porcentaje de arcilla del horizonte A, fueron las cualidades que se encontraron más frecuentemente asociadas con las características dasométricas de las masas forestales.

	%ARCA	%ARE.A	pH A	LAAB	LAAT	PT	PE	%PEND
IS	.68**	.59**	.55*	.52*		.59*		
DP		.50**		.50*	.56*	.73**	.50*	
VT	.61*					.63**		
VP	.61*					.66**		
IMAV							.49*	
IMAD							.51*	.54*
	(PS 0.05) *	(PS 0.01) **						

IS = Índice de sitio

DP = Diámetro promedio de *Pinus*

VT = Volumen total

VP = Volumen *Pinus*

IMAV = Incremento medio anual volumen

LAAT = Lámina de agua aprovechable total

PE = Profundidad efectiva

ARCA = Arcilla del horizonte A

ARE.A = Arena del horizonte A

pH A = pH del horizonte A

LAAB = Lámina de agua aprovechable horizonte B

IMAD = Incremento medio anual en diámetro

PT = Profundidad total

PEND = Pendiente

**Cuadro N° 3.** Coeficiente de correlación simple entre las características edáficas y dasométricas del arbolado.

Las dos primeras representan un mayor volumen de suelo disponible para el almacenamiento de agua y nutrientes que la planta pueda aprovechar para satisfacer sus requerimientos; asimismo, el contenido de arcilla tiene una influencia directa en la retención de humedad, fertilidad del suelo y otras propiedades del sustrato.

Otra característica importante fue el pH, que juega un papel preponderante en la disponibilidad de nutrientes.

La lámina de agua aprovechable del horizonte B, así como la lámina de agua aprovechable total, manifiestan su relevancia en las condiciones de humedad del suelo.

### **Suelo-calidad de estación.**

La condición actual del arbolado es de masas mezcladas, debido al historial de manejo y aprovechamiento a los que han estado sujetos los rodales; lo que hace que se tengan diferencias importantes en los niveles de densidad y estructura de las masas.

Esta situación hace aún más difícil evaluar con precisión la productividad de estos sitios.

La ecuación de regresión que mejor predice los cambios en el índice de sitio de *Pinus durangensis* (Y1), señala que el pH en KCl y el porcentaje de arcilla del horizonte A fueron los factores de sitio más importantes.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue de 0.694 ( $P < 0.01$ ); es decir, el 69.4% de la variación en el índice de sitio es explicada por las variables indicadas.

El error estándar de estimación fue de 1.43 m con respecto al valor medio del índice de localidad (17.8 m) *vid., infra* cuadros 4 y 6.

La influencia de ambos factores se manifiesta en la retención de humedad y fertilidad de suelo en la zona primaria de las raíces (horizonte A).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores como Rodríguez *op.cit.* y Chávez y Gómez-Tagle *Ibidem*.

La ecuación para predecir el diámetro promedio de *Pinus* (Y2), está en función de la profundidad del suelo; el modelo presenta un valor de  $R^2 = 0.51$  con una  $P < 0.01$ ; el error estándar de estimación para el valor medio del diámetro de *Pinus* (29.2 cm) fue de 5.48 cm.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	VALOR P
Regresión	2	73 6414	36 8207	18 0163	0 0002
Error	13	26 5686	2 04374		
Total	15	100 2100			

El modelo para Y1 es:

$$IS = -25.784 + 0.553 X_3 + 6.529 X_{12}$$

IS= Índice de sitio de *Pinus durangensis*

X3= Porcentaje de arcilla del horizonte A

X12= pH en KC1 del horizonte A

$$R = 0.833$$

$$R^2 \text{ ajustada} = 0.694$$

$$\text{Error estándar estimación} = 1.429$$

$$\text{Estadístico Durbin-Watson} = 1.870$$

#### **Cuadro N° 4.** Análisis de varianza para Y1.

El volumen de las especies de pino (Y3), se puede pronosticar en un 74.2% con base a la profundidad del suelo, lámina de agua aprovechable del horizonte B o capa subyacente al A, y el coseno de la exposición (azimut), con una  $P < 0.01$  y un error estándar de estimación de  $50.822 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respecto al volumen promedio ( $164.379 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) *vid.*, cuadro 5.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	VALOR P
Regresión	3	119 460.0	39 820.1	15 4168	0 0002
Error	12	30 994.8	2 582.9		
Total	15	150 454.8			

El modelo para Y3 es:

$$VP = 53.779 + 1.994 X 43 + 79.106 X 50$$

VP = Volumen de *Pinus* en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

X45 = Profundidad total del suelo en cm

X43 = Lámina de agua aprovechable del horizonte B  
o capa subyacente al horizonte A

Estadístico Durbin-Watson = 2.108

$$R = 0.861$$

$$R^2 \text{ ajustada} = 0.742$$

Error estándar estimación = 50.822

X50 = Consumo de la exposición  
(azimut)

### **Cuadro N° 5.** Análisis de varianza para Y3.

Los mejores volúmenes se presentaron en los suelos más profundos, con exposiciones hacia el norte.

La relación con la lámina de agua aprovechable fue inversa, lo que coincide con otros autores como, Chávez y Gómez-Tagle *op.cit.*, Gómez-Tagle *Ibidem* y Coile en 1984 *cit.pos.* Castaños *op.cit.*; situación que es atribuida por el último autor a aireaciones deficientes en subsuelos con altos porcentajes de agua disponible.

La ecuación que mejor predice el volumen total del sitio (Y3), incluye la profundidad total del suelo, potasio del horizonte B y lámina de agua aprovechable total, con un valor de  $R^2 = 0.70$  ( $P < 0.01$ ) y un error estándar de estimación de 52.5093 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respecto a la media del volumen total (194.897 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

	R	R2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
$IS = -25.784624 + 0.553315X3 + 6.529565 X12$	0.83311	0.69408	0.01
$D = 20.131983 + 0.112299 X45$	0.71414	0.51003	0.01
$VP = 53.779599 + 1.994733 X45 - 9.487216 X43 + 79.106169 X50$	0.86167	0.74249	0.01
$VT = 47.505021 + 1.968254 X45 + 67.296803 X40 - 5.861673 X48$	0.83797	0.70223	0.01
$IMAV = 0.05032 + 0.000551 X44 - 0.069703 X7$	0.57201	0.32719	0.05
$LOG IMAD = -7.580574 + 0.002791 X49 + 0.006272 X44$	0.7764	0.60275	0.01

IS = Índice de sitio (altura total a la edad de 50 años)

D = Diámetro promedio de *Pinus* en cm

VP = Volumen de *Pinus* en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

VT = Volumen total del sitio en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

IMAV = Incremento medio anual en volumen en (m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>)

IMAD = Incremento medio anual en diámetro (cm año<sup>-1</sup>)

X3 = Porcentaje de arcilla del horizonte A

X7 = Densidad aparente del horizonte A en g/ml

X12 = pH en KCl del horizonte A

X40 = Potasio en meq/100g del horizonte o capa subyacente al horizonte A

X43 = Lámina de agua aprovechable del horizonte B o capa subyacente al horizonte A

X44 = Profundidad efectiva del suelo en cm

X45 = Profundidad total del suelo en cm

X48 = Lámina de agua aprovechable total en cm

X49 = Altitud sobre el nivel del mar en m

X50 = Coseno de la exposición (azimut)

#### **Cuadro N° 6.** Ecuaciones de regresión y correlación múltiple.

En lo que se refiere al incremento medio anual en volumen (Y5), la ecuación resultante no es significativa, ya que sólo el 32% de la variación en el IMAV es explicada por la profundidad efectiva del suelo y densidad aparente.

El modelo para estimar el incremento medio anual en diámetro (Y6) transformado a

logaritmo, incluye la altitud y la profundidad efectiva del suelo, con un  $R^2 = 0.60$  y una  $P < 0.01$ .

Se determinó que las mejores ecuaciones para pronosticar la calidad de sitio, son las relacionadas al índice de sitio y volumen de las especies de pino, con base en:

- Coeficientes de correlación
- Coeficientes de determinación
- Valor de los residuales
- F calculada
- Nivel de significancia.

Además representan en si, el volumen potencial de madera que se puede obtener de los sitios,

Debe observarse que los modelos elegidos, incluyen variables tan importantes como:

- pH del horizonte A
- Contenido de arcilla del horizonte A
- Profundidad del suelo.
- Lámina de agua aprovechable.
- Potasio del subsuelo.
- Exposición del terreno.
- Altitud.

Que son características edáficas y topográficas muy relacionadas a la aireación, humedad y fertilidad del suelo.

El mapa por calidades de sitio del área experimental Madera se aprecia en la figura 4 *vid., supra*.

## CONCLUSIONES.

Con base en los antecedentes y en los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye lo siguiente:

1. Se encontró que los factores edáficos y topográficos influyen de manera determinante en el crecimiento del arbolado, en el área experimental Madera.
2. Las ecuaciones de regresión múltiple en las cuales las variables del suelo

pronosticaron con mayor precisión la productividad del sitio, son las referidas al índice de sitio y volumen de *Pinus*, ya que presentaron los más altos coeficientes de determinación (0.742 y 0.694); menor error estándar de estimación y una  $P < 0.01$ .

3. El 69,4% de la variación en el índice de sitio fue explicada por el pH en KC1 y contenido de arcilla del horizonte A; y el 74.2% de la variación en el volumen de las especies de pino, fue explicada por la lámina de agua aprovechable del subsuelo, profundidad total y coseno de la exposición (azimut).

Dichas propiedades están muy relacionadas con la humedad y fertilidad del suelo, que proporcionan el hábitat adecuado para el desarrollo de las especies arbóreas del área de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera H., N.; McLeran, D. y Hernández R., S. 1962. "Suelos, problemas básicos de silvicultura". Seminario y viaje de estudios de coníferas latinoamericanas. Pub. Esp. Nº 1, I N I F. S A G. F A O. México. 108-131 p.
- Anónimo. 1960. Carta geológica mexicana. comp. Comité de la carta geológica de México.
- Barnes, B. V.; Pregitzer, K. S.; Spies, T. A. and Spooner, V. H. 1982 "Ecological forest site classification". Society of American Foresters. Journal of Forestry. Nº 80. pp. 493-498.
- Carmean, V. H. 1975. "Forest site quality evaluation in United States". Adv. Agronomy. Nº 27. pp. 209-269.
- Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el norte de Oaxaca. I N I F. Boletín Técnico. Nº 2. 32 p.
- CETENAL. 1970. Cartas climáticas. Instituto de Geografía. U N A M. México.
- Chávez H., M. Y. y Gómez-Tagle, R. A. F. 1985. Principales interacciones entre los suelos forestales y las coníferas del cerro de la Cruz, Michoacán. I N I F. Boletín Técnico. Nº 10. 32 p.
- CNIDS. 1986. Los Recursos Forestales. Memoria económica 1985-1986. Cámara Nacional de la Industria Derivada de la Silvicultura. México. 81 p.

- Coile, T. S. 1952. "Soil and the growth of forests". Advances in Agronomy IV. Ed. A.G. Norman. Am. Soc. of Agronomy. Madison, Wisconsin. pp. 329-398.
- Cota M., R. S. F. Fotointerpretación del área experimental forestal Madera, Chihuahua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. S A R H.
- Daniel, P. W.; Helms, E.U. y Baker, S. F. 1982. Principios de Silvicultura. Ed. Mc.Graw Hill. México. 490 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática. Instituto de Geografía. U N A M. 2º ed. México. 246 p.
- Gómez-Tagle R., A. F. 1985. Levantamiento de suelos del Campo Experimental Forestal Barranca de Cupatitzio y su relación con la vegetación de coníferas. Tesis Maestría. F. Ciencias. U N A M. México. 135 p.
- González G., H. J. 1980. La aplicación de calidades de estación en el manejo silvícola. Memoria del X Aniversario de la Investigación Forestal en el estado de Chihuahua. Chihuahua-C I F A P. I N I F A P. S A R H.
- Hernández S., R. y Sánchez, J. C. 1973 Guía para la descripción de suelos de áreas forestales. Bol. Div. N° 32. I N I F. S F F. S A R H. 87 p.
- Orantes G., F. R. y Musálem S., M. A. 1982. "Determinación de calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lind. en Zoquiapan, México". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. S A R H. Revista Ciencia Forestal. Vol. 7 N° 35. pp. 3-20.
- Reséndiz, V. P. 1984. Resumen del inventario forestal de las Unidades de Administración Forestal del estado de Chihuahua. I N I F. S F F. S A R H. Bol. Div. N° 65. 53 p.
- Rodríguez F., C. 1982. Determinación de calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el C E F San Juan Tetla, Puebla. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 134 p.
- Sánchez C., J. y Chacón S., J.M. 1986. "Relación suelo-vegetación del área experimental forestal Madera". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. S A R H. Revista Ciencia Forestal. Vol. 11. N° 59. pp. 41-64.