

INDICE DE SITIO PARA *Pinus montezumae* Lamb
Y SU ASOCIACION CON VARIABLES DEL CLIMA,
FISIOGRAFIA, FISICO-QUIMICAS DEL SUELO Y
VEGETACION EN CD. HIDALGO, MICHOACAN.

RUBEN CARLOS FRANCO AVILA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.



Universidad Autónoma Agraria

"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

JUNIO DE 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ÍNDICE DE SITIO PARA *Pinus montezumae* Lamb. Y SU ASOCIACIÓN CON
VARIABLES DEL CLIMA, FISIOGRAFÍA, FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO Y
VEGETACIÓN EN CD. HIDALGO, MICHOACÁN.

TESIS

POR


RUBEN CARLOS FRANCO AVILA

Elaborado bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y
aprobada como requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:

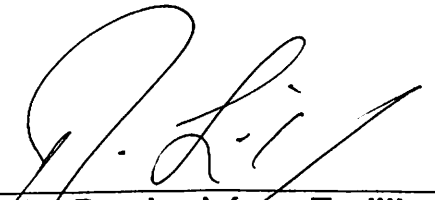

Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

Asesor


M.C. Salvador Valencia Manzo

Asesor


Dr. José Angel Villareal Quintanilla


Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio de 2001

DEDICATORIA

A mis padres

Por alentarme, y apoyar a su hijo en todo momento.

A mi esposa

Por el apoyo y comprensión que siempre me ha brindado.

A mis hermanos

Por las palabras de aliento y apoyo que me han dado.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo por la dirección de este trabajo, sus consejos y apoyo para la mejor realización de este trabajo y por su gran amistad.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por los consejos que siempre me ha dado para mejorar mi formación profesional y personal.

Al Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla por las sugerencias brindadas para la realización de este trabajo y su valiosa colaboración en la identificación de los materiales botánicos colectados.

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" por darme la oportunidad de cursar la maestría en sus aulas.

A mis maestros y compañeros de la maestría por brindarme sus conocimientos y amistad.

Al M.C. José Armando Nájera Castro por brindarme su amistad y apoyo durante mi estancia en esta Universidad.

A la Asociación de Permisionarios Forestales del Oriente de Michoacán por la valiosa colaboración para la realización de este trabajo.

A la Comisión Federal de Electricidad y Comisión Nacional del Agua, del Estado de Michoacán por los apoyos brindados para la realización de este trabajo.

Al personal del Departamento de Suelos de la U.A.A.A.N. por el apoyo y sugerencias brindadas para las realización de este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna forma participaron en la elaboración de este trabajo. Gracias.

COMPENDIO

Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. y su asociación con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación en Cd. Hidalgo, Michoacán.

POR

Ruben Carlos Franco Avila

MAESTRIA EN CIENCIAS

CIENCIAS FORESTALES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNIO 2001

Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo.–Asesor–

Palabras clave: Índice de sitio, *Pinus montezumae*, Componentes principales, Variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar el índice de sitio de *Pinus montezumae* Lamb. en Cd. Hidalgo, Mich. y determinar su asociación con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y la vegetación.

En la región de Cd. Hidalgo, Mich. la práctica de la resinación es muy común y antigua, por lo que es difícil encontrar árboles dominantes no resinados. Para conocer el efecto que tiene la resinación sobre el crecimiento en altura de los árboles de *Pinus montezumae* se realizó una prueba de comparación de medias entre los incrementos en altura de árboles resinados y no resinados, los resultados no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las dos condiciones. Por lo que se decidió realizar los análisis troncales para determinar el índice de sitio con árboles resinados ya que es la condición mas común y los árboles más altos están resinados.

Para estimar el índice de sitio se utilizó el método de la curva guía probándose tres modelos matemáticos Schumacher, Gompertz y Chapman-Richards. El modelo de Chapman-Richards resultó ser el mejor ($R^2 = 0.87$; C.M.E. = 17.17) ya que presentó un mejor ajuste con respecto a los datos de altura observados.

Para determinar la asociación de variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y la vegetación con el índice de sitio se realizaron análisis de componentes principales, se generaron dos bases de datos, una de ellas contenía variables relacionados con características del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo, en otra base datos se tenía características propias de la vegetación como densidad y cobertura de las especies presentes en los sitios muestreados. Se realizó un análisis de componentes principales (comp.) con cada una de las bases de datos para identificar las variables de mayor importancia. En el análisis de la vegetación del sotobosque, cinco componentes principales explicaron el 36 por ciento de la

importancia. En el análisis de la vegetación del sotobosque, cinco componentes principales explicaron el 36 por ciento de la variación total. Las especies más relacionadas en cada uno de los cinco componentes fueron: *Verbesina montanoifolia* (comp. 1), *Ilex toluicana* (comp. 2), *Senecio toluicensis* (comp. 3), *Stevia eupatoria* (comp. 4) y *Salvia sp* (comp. 5).

Para las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo con cinco componentes se logró explicar el 60 por ciento de la variación total. Las variables más relacionadas en cada uno de los componentes seleccionados fueron: arena y pH del horizonte B1 (comp. 1), contenido de materia orgánica en el horizonte A1 (comp. 2), arena del horizonte A1 (comp. 3), espesor del horizonte orgánico O1 (comp. 4) y por último, la profundidad total (comp. 5). Por otra parte, las variables más correlacionadas de cada componente ($r \geq 0.5$) se utilizaron para generar una ecuación para predecir la productividad por medio de regresión múltiple (paso a paso). Los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica del horizonte B1, la profundidad total, la pendiente y el índice de productividad de Paterson predicen mejor el índice de sitio. El modelo ayuda a explicar un 66 por ciento la variación del índice de sitio ($P = .0001$).

ABSTRACT

Site index for *Pinus montezumae* Lamb. and its association with climate, physiography, physical-chemical soil variables, and vegetation

RUBEN CARLOS FRANCO AVILA

MASTER IN FOREST SCIENCES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUN 2001

Eladio H. Cornejo Oviedo, Ph.D. -Advisor-

Keys words: Site index, *Pinus montezumae*, Principal component, Climate, Physiography, Physical-chemical soil variables and vegetation

The objectives of this work were to determine the site index for *Pinus montezumae* Lamb. in Cd. Hidalgo, Mich. and to determine its association with climate, physiography, physical-chemical soil variables, and vegetation.

The practice of turpentine is very common and ancient in Cd. Hidalgo, Mich. It is difficult to find dominant and codominant trees without turpentine. To know the effect of turpentine in the height increment of *Pinus montezumae* trees, a t-Student test was done to compare the height increment between turpentine trees and not turpentine trees. There was no significant difference between those types of trees. Therefore stem analyses were conducted on turpentine trees to determine the site index.

To determine the site index, the guide curve method was used. Three models were tested, Schumacher, Gompertz and Chapman-Richards. The Chapman-Richards model was the best ($R^2=0.87$; C.M.E.=17.17). The model had a better fit with respect to the observed height.

To determine the association between climate, physiography, physical-chemical soil variables, and vegetation with site index two data sets were developed. The first included climate, physiography, and physical-chemical soil variables. The second had density and coverage of the vegetation. A principal component analysis was performed for each of those data sets.

Five principal components explained 36 percent of total variation in the vegetation data set. The species with the highest relationship in each of five components were: *Verbesina montanoifolia* (comp. 1), *Ilex toluhana* (comp. 2), *Senecio toluhanensis* (comp. 3), *Stevia eupatoria* (comp.4) and *Salvia* sp (comp. 5).

For climate, physiography, and physical-chemical soil variables, five components explained 60 percent of the total variation. The variables with the highest relationship in each of the five components were: sand and pH of the horizon B1 (comp. 1), the content of organic matter of the horizon A1 (comp. 2), sand of the horizon A1 (comp. 3), the depth of the organic horizon O1 (comp. 4), and the total depth (comp. 5).

Climate, physiography, and physical-chemical soil variables with correlation coefficient values $r \geq 0.5$ were used to obtain a regression model (stepwise) to predict site index. The content of organic matter of the horizon B1, total depth, slope, and Paterson's index productivity predicted best the site index.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pagina
ÍNDICE DE CUADROS	Xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	Xv
 INTRODUCCIÓN GENERAL	 1
 ÍNDICE DE SITIO PARA <i>Pinus montezumae</i> Lamb. EN CD. HIDALGO, MICHUACÁN	 5
Introducción	5
Materiales y métodos	8
Descripción del área de estudio	8
Recorridos preliminares	12
Análisis troncales	14
Procesamiento de los pares de valores de edad y altura	16
Determinación del índice de sitio	18
Resultados y discusión	21
Efecto de la resinación en el crecimiento en altura	21
Selección del modelo de crecimiento	25
Curvas anamórficas de índice de sitio	28
Conclusiones	34
Recomendaciones	35
Literatura citada	36
 ASOCIACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb. CON VARIABLES DEL CLIMA, FISIOGRAFÍA, FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO Y VEGETACIÓN EN CD. HIDALGO MICHUACÁN	 41
Introducción	41

Materiales y métodos	45
Descripción del área de estudio	45
Diseño de muestreo	49
Forma y tamaño de los sitios de muestreo	49
Caracterización del sitio	50
Medición de la vegetación	51
Estrato arbóreo	51
Estrato arbustivo y herbáceo	52
Cálculos derivados de la vegetación arbustiva y herbácea	53
Muestreo del suelo	54
Variables climatológicas	55
Análisis estadístico	57
Análisis de componentes principales	59
Modelo de regresión	61
Resultados y discusión	63
Análisis de componentes principales	63
Modelo de regresión	72
Conclusiones	79
Recomendaciones	81
Literatura citada	83
DISCUSIÓN GENERAL	88
CONCLUSIONES GENERALES	92
LITERATURA CITADA	94
APÉNDICES	102

ÍNDICE DE CUADROS

No.		Pagina
1.	Principales características del clima que se presentan en el área de estudio	11
2.	Modelos matemáticos probados para la estimación de la curva guía de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	17
3.	Altura y edad los árboles muestreados de <i>Pinus montezumae</i> , en Cd. Hidalgo, Mich.	23
4.	Estadísticos considerados para comparar el ajuste de los modelos Schumacher, Chapman-Richards y Gompertz para las relaciones edad – altura de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	25
5.	Alturas estimadas por índice de sitio y categoría de edad para <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	30
6.	Calidad de estación e índice de sitio de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	32
7.	Principales características del clima que se presentan en el área de estudio	48
8.	Variables físico-químicas del suelo y los métodos utilizados en su determinación	55
9.	Variación explicada por cinco componentes principales de las especies de vegetación herbácea y arbustiva en Cd. Hidalgo, Mich.	63
10.	Prueba de reducción de componentes por medio de la regresión lineal para la vegetación en <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	65
11.	Pesos ajustados de la vegetación con sus componentes en <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	66
12.	Variación explicada por cinco componentes principales para las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo en <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.....	66

13.	Prueba de reducción de componentes por medio de regresión lineal para las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo en <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich	68
14.	Pesos ajustados o coeficientes de correlación de las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo con los primeros cinco componentes	69
15.	Parámetros estimados del modelo elegido para explicar las variaciones del índice de sitio de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	71
16.	Valores promedio de las variables que predicen el índice de sitio de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		Pagina
1.	Ubicación del área de estudio para índice de sitio de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo Mich.	9
2.	Incremento corriente y medio anual en altura de <i>Pinus montezumae</i> de árboles resinados y no resinados	22
3.	Diagrama de dispersión de la relación edad – altura y el ajuste de los modelos Schumacher, Chapman-Richards y Gompertz, para <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	27
4.	Curvas de incremento en altura y edad base de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	29
5.	Curvas anamórficas de índice de sitio para <i>Pinus montezumae</i> a una edad base de 25 años en Cd. Hidalgo, Mich.	31
6.	Ubicación del área de estudio para asociación de variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación con el índice de sitio en Cd. Hidalgo, Mich.	46
7.	Varianza explicada (%) por los componentes principales del valor de importancia de la vegetación en Cd. Hidalgo, Mich.	64
8.	Varianza explicada (%) por los componentes de las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo en Cd. Hidalgo, Mich.	67
9.	Diagramas de dispersión de las variables asociadas al índice de sitio de <i>Pinus montezumae</i> en Cd. Hidalgo, Mich.	73

INTRODUCCIÓN GENERAL

En la planeación de un programa de manejo forestal, la evaluación y conocimiento de los niveles de productividad de las áreas forestales es indispensable. De acuerdo con el artículo 13°, Fracc. II del Reglamento de 1998 de la Ley Forestal, se propone una zonificación de los terrenos forestales en producción, con base a la cobertura de copa de los árboles y en la altura promedio de los árboles dominantes de los rodales.

En los bosques de coníferas existen zonas cuya capacidad productiva se diferencia por la combinación de factores bióticos, edáficos y climatológicos. Dichas zonas, pueden ser diferenciadas a través de la calidad de estación (González, 1988). La calidad de estación se refiere a la producción potencial de madera de un sitio, para una especie en particular o para un tipo de bosque (Clutter *et al.*, 1983).

Ante la imposibilidad de estimar la productividad de un sitio se ha recurrido, al empleo de índices o indicadores que expresen el estado de tal productividad (Zepeda y Rivero, 1984).

Tradicionalmente en México se ha estimado la calidad de estación a través del método del índice de sitio por ser más práctico y consistente. El método se fundamenta en la relación de la altura de árboles dominantes y codominantes con la edad (Castaños, 1962).

La altura dominante del rodal se utiliza como índice de productividad, ya que es independiente de la densidad del rodal y del manejo, siempre y cuando los aclareos y las podas no sean intensas (Alder, 1980). Por otra parte, la altura de los árboles, se relaciona más con la capacidad de producción de madera que cualquier otro parámetro del rodal (Spurr y Barnes, 1982).

El índice de sitio es un método práctico y que permite conocer el crecimiento en altura de una especie con respecto a su edad de acuerdo al sitio donde se desarrolla (Rivera, 1996). En las prácticas silvícolas y de ordenación se debe considerar la calidad de estación a fin de mejorar el tipo de aprovechamiento de los bosques acorde a la productividad del mismo (Castaños, 1962).

La producción de un rodal es resultante de la suma de los factores bióticos y físicos del sitio donde se desarrolla, dichos factores influyen a nivel regional y local. La profundidad del suelo, su textura, nutrientes y humedad, las características de sus perfiles, su composición mineral, la topografía, la exposición, altitud, el microclima y las especies que interactúan en ese sitio son factores que influyen en la productividad (Daniel *et al.*, 1982).

Una de las formas de obtener un índice de adaptación de una especie en una zona y de evaluar su productividad, es estudiar el efecto de los diversos factores del ambiente, sobre el crecimiento de los árboles (Hangglund, 1981).

Los factores fisiográficos como el relieve, la pendiente, la exposición, altitud y propiedades del suelo afectan significativamente la productividad de un sitio (McNab, 1989, 1992). Los suelos con pendientes elevadas y de forma convexa tienden a estar más expuestos a la acción del viento y la erosión, por lo tanto, presentan un menor contenido de humedad. Los suelos con pendientes bajas y de forma cóncava, tienden a estar más protegidos de los vientos y presentan acumulación de nutrientes (Spurr y Barnes, 1982).

La estimación de la productividad a través de características del suelo, ha arrojado buenos resultados, debido a que la calidad de sitio, en gran medida, depende de la capacidad que tiene el suelo para aportar a las raíces de los árboles humedad y nutrientes (Pritchett, 1986).

En la actualidad es necesario desarrollar metodologías acordes con las condiciones de crecimiento, tipo de especies y aprovechamiento que permitan manejar de manera adecuada los bosques en México.

Una alternativa de manejo es conjuntar metodologías y herramientas de trabajo que respondan a estas necesidades, en donde se aproveche mejor la

capacidad productiva del terreno forestal. Es indispensable determinar la capacidad productiva actual a través del índice de sitio y determinar los factores ambientales que condicionan dicha productividad. De manera que se tengan bases sólidas para manejar de forma correcta e integral los bosques de pino en Cd. Hidalgo, Mich.

Por lo tanto, los objetivos fueron los siguientes:

- Determinar el índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb.
- Determinar la asociación del índice de sitio con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación.

Cada uno de estos objetivos se presenta como un trabajo independiente; el primero se denomina "Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en Cd. Hidalgo, Michoacán" . El segundo se denomina "Asociación del índice de sitio de *Pinus montezumae* Lamb. con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación en Cd. Hidalgo Michoacán. Al final se presenta la discusión general y las conclusiones generales, respectivamente.

ÍNDICE DE SITIO PARA *Pinus montezumae* Lamb. EN CD. HIDALGO, MICHOACÁN.

Introducción

La calidad de estación se define como una cualidad distintiva que indica en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar, bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación. Además se refiere a la producción potencial de madera del sitio para una especie en particular. Los métodos que existen para la determinación solamente son indicadores y no métodos que permitan conocer exactamente la calidad de estación (Clutter *et al.*, 1983).

Para la evaluación práctica y efectiva de la calidad de estación se han desarrollado diferentes técnicas para su cualificación, los métodos se clasifican en métodos directos e indirectos; los primeros consisten en estimaciones basadas en registros históricos de la producción, en datos del volumen del rodal y de la altura del rodal (índice de sitio); los segundos, son estimaciones a partir de las relaciones interespecíficas del estrato arbóreo, vegetación del sotobosque y evaluación por factores edáficos, climáticos y topográficos (Clutter *et al.*, 1983).

El índice de sitio a partir de la relación edad - altura se ha utilizado como indicador de la calidad de estación por ser más práctico y consistente. Una de las ventajas del método en el empleo para la cuantificación de la producción, es que su medición es fácil y está libre de la influencia de la densidad del rodal además de ser una expresión numérica (Curtis, 1964).

Un índice de sitio se define como la altura promedio de los árboles dominantes y/o codominantes en rodales de edades uniformes de coníferas a una edad base (Daniel *et al.*, 1982).

La altura dominante y/o codominante más ampliamente aceptada es la altura promedio de los 100 árboles con mayor diámetro dentro de una hectárea. El motivo por el que no se utiliza la altura promedio de todos los árboles del rodal es por ser sensible a la densidad del rodal (Alder, 1980).

Para aplicar la técnica del índice de sitio, se requiere que los árboles a medir, por su crecimiento en altura siempre se hayan mantenido en los niveles superiores del bosque. Estos árboles se encuentran más disponibles en rodales coetáneos regularmente densos, no perturbados por cortas recientes, incendios o pastoreo intensivo (Gómez, 1989).

El índice de sitio es un método que se utiliza para generar curvas de crecimiento en altura, que representan el comportamiento de esta variable durante la vida del rodal, en diferentes sitios (Bojorges *et al.*, 1991). Además,

las curvas de índice de sitio de los rodales identificados por un número, se asocian con la curva para poder distinguir las calidades de estación (Clutter *et al.*, 1983)

Para describir la relación entre la altura y la edad de un rodal o árbol individual, se han utilizado diferentes métodos y técnicas tales como: a) Método de la curva guía; b) Método de la diferencia algebraica; y c) Método de la predicción del parámetro (Clutter *et al.*, 1983).

Uno de los métodos más utilizados en México para determinar el índice de sitio es el método de la curva guía. Esta técnica ajusta una curva promedio, en todo el rango de observaciones altura-edad representando el crecimiento en altura dominante que se supone sigue, en promedio, un conjunto de rodales coetáneos (Clutter *et al.*, 1983 ; Zepeda y Rivero 1984).

Por lo que, el objetivo general de este trabajo es determinar el índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. para la región de Ciudad Hidalgo, Michoacán a través de la metodología de análisis troncales.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra comprendida por un bosque de coníferas, en donde se distribuye *Pinus montezumae*. El área está ubicada en la provincia del Eje Neovolcánico y subprovincia de Mil Cumbres en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán (Ucodefo-2, 1994). El área de estudio la comprenden cuatro localidades que son Gerahuario, Huajumbaro, Pucuató y Agostitlán en cuyos lugares se distribuye naturalmente la especie en estudio (Figura 1). Las localidades tienen una ubicación geográfica entre las coordenadas 100° 20' a 100° 50' de longitud Oeste y 19° 35' a 20° 20' de latitud Norte (CETENAL, 1977 d,e,f).

El área presenta altitudes que van de 2100 a los 3000 msnm. Así como con pendientes que van del 5 por ciento al 40 por ciento. En las áreas de estudio predominan las exposiciones Norte, Noroeste, Suroeste y Oeste. Ocurre un relieve contrastante en el que se distinguen mesetas, lomeríos y sierras (CETENAL, 1977d,e,f).

La geología está representada principalmente por rocas ígneas extrusivas de la era Cenozoica, del periodo Terciario Superior; prevaleciendo el tipo de rocas como reolita de color verde, formando cuerpos compactos medianamente alterados (CETENAL, 1979 a,b,c).

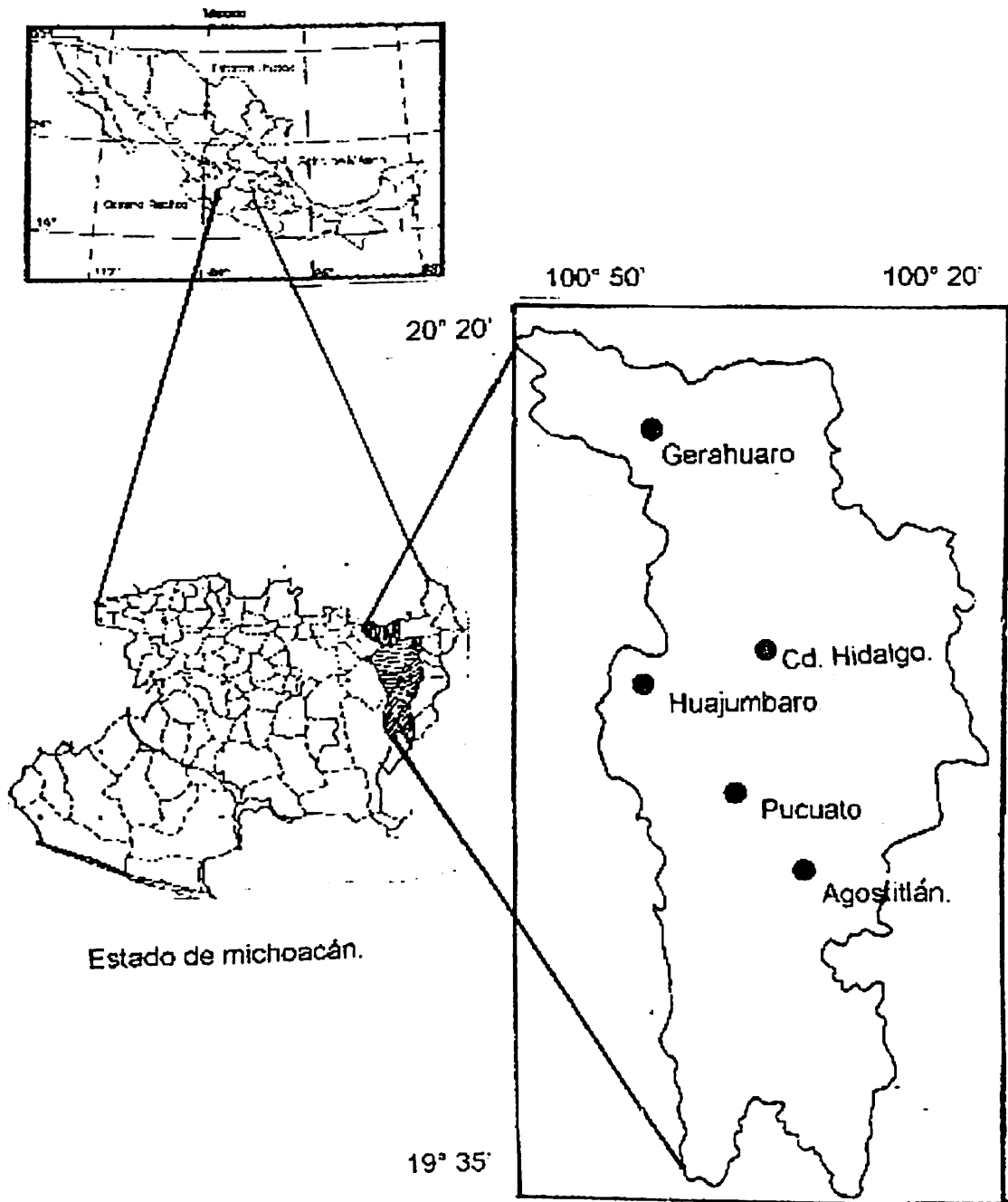


Figura 1. Ubicación del área de estudio para índice de sitio de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo Mich.

En el área de estudio también se encuentran andesitas de color rosa compactada, la cual subyace a otra andesita de fracturamiento intenso y de color gris (DETENAL, 1979 a,b,c).

Los suelos que predominan en el área son del tipo andosol, con textura media. El drenaje de dichos suelos es clasificado como bueno y de profundidad media (CETENAL, 1977 a,b,c).

El área de estudio la dividen dos regiones hidrológicas, la región RH-18 Río Balsas y la región RH-12 Río Lerma. La mayor parte del área de estudio se encuentra en la RH-18 Río Balsas, dentro de la cuenca hidrológica G Río Cutzamala (Ucodefo-2, 1994).

En el área de estudio ocurre un clima húmedo; templado con verano fresco y largo; subhúmedo intermedio en cuanto a humedad con lluvias en verano; con menos de 5 por ciento de lluvia invernal; isotermal con poca oscilación entre las temperaturas menor a 5°C y con el mes más caliente del año antes de junio (García, 1973) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales características del clima que se presentan en el área de estudio.

Localidad (nombre).	Temperatura (°C)			Prec. Media (mm)	Periodo libre de heladas. (días).	Fórmula climática.
	Media	Máxima	Mínima			
Agostitlán	14.1	24.8	3.9	1,263.3	180	C b(w2) w i
Gerahuario	12.2	31.0	3.2	1,171.0	120	C b(w1) w l
Huajumbaro	17.2	29.9	4.5	1,383.8	180	C b(w1) w i g
Pucuito	14.2	25.3	3.2	1,294.4	120	C b(w2) w i

Periodo libre de heladas son temperaturas por arriba de 4.5 °C (García, 1986).

Fuente: CONAGUA, 1999. Prec. = precipitación.

La vegetación que ocurre en el área de estudio es un bosque de clima templado constituido por *Pinus herrerae* Mart., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. michoacana* Mart., *P. leiophylla* Schl. & Cham. *Abies religiosa* Schl., *Quercus castanea* Neé, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., *Q. obtusata*, *Q. microphylla* Neé, *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Alnus firmifolia* Fern., *A. arguta* Spach., *Crataegus mexicana* Moc. & Sessé, y *Arbutus xalapensis* H.B.K. La cubierta arbustiva la conforman especies como *Terpstroemia pringlei*, *Baccharis conferta* H.B.K., *Dodonaea viscosa* (L) Jacq., *Urtica dioica* Willd., *Arctostaphylos longifolia*, *Rubus pringlei*, *Solanum nigrum* L., *Eupatorium glabratum* H.B.K. y *Buddleia sessiliflora* H.B.K. El estrato herbáceo lo constituyen elementos como *Alchemilla procumbens* Rose, *Arenaria lanuginosa* Rohrb., *Eryngium palmeri*, *Geranium seemanni* Peyr., *Muhlenbergia robusta* (Fourn.) Hitchc., *Oxalis alpina* Rose, *Panicum bulbosum* H.B.K. y *Stipa virens* H.B.K. (CETENAL, 1977 ; Martínez et al., 1987).

Recorridos preliminares

Se realizaron 3 recorridos de campo para conocer el área de estudio y tomar decisiones respecto a la metodología del trabajo. Los objetivos del primer recorrido fueron:

- 1) Recorrer el área de estudio.
- 2) Observar las áreas con mayor y menor productividad.
- 3) Elegir la especie sujeta al estudio, de acuerdo con los intereses de la Unidad Forestal No.2 Hidalgo - Zinapécuaro y la distribución de la especie elegida en la región.
- 4) Decidir sobre la escala de trabajo, con respecto a la subcuenca, microcuenca o a nivel de predio.
- 5) Visitar las áreas bajo aprovechamiento para observar la presencia de árboles dominantes.

Se eligieron cuatro áreas con base a los siguientes criterios; a) áreas en las que se distribuye *Pinus montezumae*; y b) que se observan diferencias en la calidad de sitio. Las áreas fueron Gerahuario, Huajumbaro, Pucuató y Agostitlán.

En el recorrido se observó que la resinación es una práctica común en los bosques de la región y muchos de los árboles sobre todo los dominantes del rodal se encuentran sobre resinados.

Se realizó un segundo recorrido de campo con los siguientes objetivos:

- 1) Determinar la presencia de árboles dominantes no resinados en el área de distribución de *P. montezumae*.
- 2) Obtener rodajas de árboles dominantes resinados y no resinados para realizar análisis troncales.
- 3) Medir la altura total y determinar la edad total de 120 árboles dominantes; 60 resinados y 60 no resinados.

Únicamente se obtuvo información de 117 árboles dominantes a los que se les determinó su altura total por medio de un clinómetro Sunnto y la edad por medio de un taladro de Pressler. De los 117 árboles, 54 árboles fueron resinados y 63 no resinados. Con el análisis de los datos obtenidos se determinó el comportamiento del crecimiento en altura de los árboles dominantes resinados y no resinados de las áreas seleccionadas. Además, se decidió muestrear los árboles dominantes del rodal, independientemente si estaban resinados o no resinados.

Posteriormente, se realizó un tercer recorrido. El objetivo de este tercer recorrido fue: Obtener rodajas de 30 árboles de *P. montezumae*, para realizar análisis troncales de árboles resinados y no resinados.

En total se consiguieron rodajas de 28 árboles, 15 árboles resinados y 13 árboles no resinados, de las cuatro localidades, Gerahuaro, Agostitlán, Pucato y Huajumbaro.

Análisis troncales

Respecto a la selección de los árboles para realizar los análisis troncales se consideró lo siguiente:

- 1) Árboles que fueran dominantes o codominantes con respecto al crecimiento de sus copas con sus árboles vecinos.
- 2) Árboles libres de daños por incendio, plagas o enfermedades.
- 3) Árboles que no estuviesen despuntados.

Debido a que la práctica de la resinación es común y constante en la región, la mayoría de los árboles dominantes y codominantes candidatos para el análisis troncal estaban resinados, se decidió a seleccionar estos árboles y determinar el índice de sitio para esta condición.

La metodología que se siguió para la medición y conteo de los anillos de crecimiento fue de acuerdo a lo propuesto por Klepac (1976), pero utilizando longitudes de troza de 2.54 m o medida comercial de trozas en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

En las localidades seleccionadas y en áreas con permiso de aprovechamiento forestal, se procedió a derribar los árboles a una altura de corte de 0.25 m hasta 0.35 m (altura del tocón). Se seccionó el árbol a lo largo del fuste a una longitud de 2.54 m hasta el final del fuste; se obtuvieron rodajas de cada altura de corte. La rodaja se identificó con base en la localidad, número de árbol y altura de corte.

Una vez obtenidas las rodajas se trasladaron al laboratorio de Silvicultura del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Posteriormente, las rodajas se sometieron a un proceso de secado y pulido. Para este último proceso se utilizó un pulidor eléctrico. Para observar mejor los anillos de crecimiento.

Se realizó el conteo total de los anillos de crecimiento en las rodajas para determinar la edad, por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Edad a la altura de corte} = n_a + n_p + 2$$

Donde:

n_a = número de anillos en la sección
 n_p = número de anillos de la sección posterior
 mas 2 que corresponden a la edad de la altura del tocón (altura de 30 cm).

La altura que se utilizó en el análisis troncal fue la altura de corte de la sección.

Con la finalidad de determinar el efecto de la resinación en el incremento en altura se determinó, el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual en altura (IMA) con base a las siguientes fórmulas.

$ICA = \text{Diferencia en altura} / \text{diferencia en edad}.$

$IMA = \text{Altura} / \text{edad}.$

Una vez estimados estas variables se realizó una prueba de comparación de medias de *t*-Student de la condición resinados y no resinados. La comparación se hizo por categorías de edades de 10 en 10 años, usando los valores del ICA e IMA como variables respuesta. Se usaron los pares de valores de edad y altura del análisis troncal de 15 árboles resinados y 13 no resinados constituyendo una base de datos de 460 pares de valores edad-altura.

Una vez que se decidió determinar el índice de sitio a partir de árboles resinados, se procedió a ajustar los modelos de crecimiento.

Procesamiento de los pares de valores de edad y altura

Se probaron tres modelos matemáticos (Cuadro 2), para la relación edad-altura con la finalidad de seleccionar el modelo que mejor se ajuste a dicha relación.

Cuadro 2. Modelos matemáticos probados para la estimación de la curva guía de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Nombre	Modelo
Schumacher	$A = e^{\beta_0 + \beta_1/E}$
Chapman - Richards	$A = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 E}]^{\beta_2 - 1}$
Gompertz	$A = \beta_0^{-e^{\beta_1 - \beta_2 E}}$

A=altura; E=edad; β =parámetros; e= base natural de los logaritmos.

Para la selección y prueba de los tres modelos, se utilizó la metodología propuesta por Sit y Poulin-Costello (1994). Primeramente, se procedió a graficar los pares de valores (268) de árboles resinados, para observar su comportamiento en un diagrama de dispersión. Para la elección de los parámetros (coeficientes de regresión) se comparó el diagrama de dispersión con las diferentes formas de los tres modelos matemáticos, de acuerdo con los diferentes valores que sus parámetros pueden adoptar. Se eligieron los parámetros iniciales que reprodujeran una curva lo más parecida al diagrama de dispersión. Los parámetros del modelo definitivo se estimaron mediante el procedimiento PROC NLIN del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System versión 6.12). La elección entre los tres modelos se fundamentó en los siguientes criterios: a) Valor mínimo del CME y b) Valor máximo del coeficiente de determinación (R^2). Otro criterio de comparación fue, analizar gráficamente la fidelidad con que los modelos representaran los valores observados, trazando cada modelo sobre las observaciones y comparando su ajuste (Quiñones, 1995; Sit y Poulin-Costello, 1994).

Dado que el procedimiento NLIN de paquete estadístico SAS no proporciona el coeficiente de determinación este fue calculado de la siguiente forma (Myers, 1990; Sit y Poulin-Costelo, 1994):

$$R^2 = 1 - SS(\text{RESIDUAL}) / SS(\text{TOTAL})$$

Donde:

R^2 = Coeficiente de determinación.

SS(RESIDUAL)= Suma de cuadrados residual.

SS(TOTAL)= Suma de cuadrados total.

Determinación del índice de sitio

Con el modelo elegido se estimó la curva de crecimiento en altura con la cual se calcularon los valores de incremento corriente y medio anual (ICA e IMA) para determinar la edad base a la cual se estimaron los índices de sitio. La edad base a utilizar fue aquella edad donde la curva del ICA se interceptó con la curva del IMA (Zepeda y Rivero, 1984).

Para la generación de las curvas de índice de sitio se utilizó el método de la curva guía propuesto por Clutter *et al.* (1983). Donde el parámetro β_0 es dependiente de la capacidad productiva del sitio, por lo que este parámetro es diferente en cada curva de índice de sitio. En este caso el crecimiento representado por $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ permanecen constantes.

Para la obtención de las curvas anamórficas de índice de sitio. Se realizó una serie de despejes del modelo de Chapman-Richards. Con la finalidad de obtener una ecuación independiente de β_0 y determinar la altura en función de la edad (Clutter *et al.* 1983; Quiñones, 1995).

La ecuación de Chapman-Richards es:

$$A = B_0 [1 - e^{-\beta_1 (E)}]^{\beta_2}$$

Donde:

A= Altura del árbol

E= edad del árbol

β_0 , β_1 y β_2 parámetros a estimar.

Ajustando esta expresión a los datos se generó la curva guía. Cuando la edad (E) es igual a 25 años (edad base) el valor de altura es igual a 17.74 m, esta curva guía es la curva de índice de sitio promedio con un valor de 17.74 m a una edad base de 25 años.

Por otra parte, si la edad (E) se hace igual a la edad base (E_0), entonces la altura (A) será igual al índice de sitio (IS), es decir:

$$IS = B_0 [1 - \exp^{-\beta_1 E_0}]^{\beta_2}$$

Entonces:

$$B_0 = IS [1 - \exp^{-\beta_1 E_0}]^{-\beta_2}$$

Con esta ecuación se generan las curvas de crecimiento en altura para cada índice de sitio deseado. La ecuación es:

$$A = IS \frac{[1 - \exp(-\beta_1 E)]^{\beta_2}}{[1 - \exp(-\beta_1 E_0)]^{\beta_2}}$$

Para la predicción del índice de sitio a partir de una altura y edad, se realizó el siguiente despeje del índice de sitio en lugar de la altura.

$$IS=A \left[\frac{1-\exp(-B_1 E_0)}{1-\exp(-B_1 E)} \right]^{B_2}$$

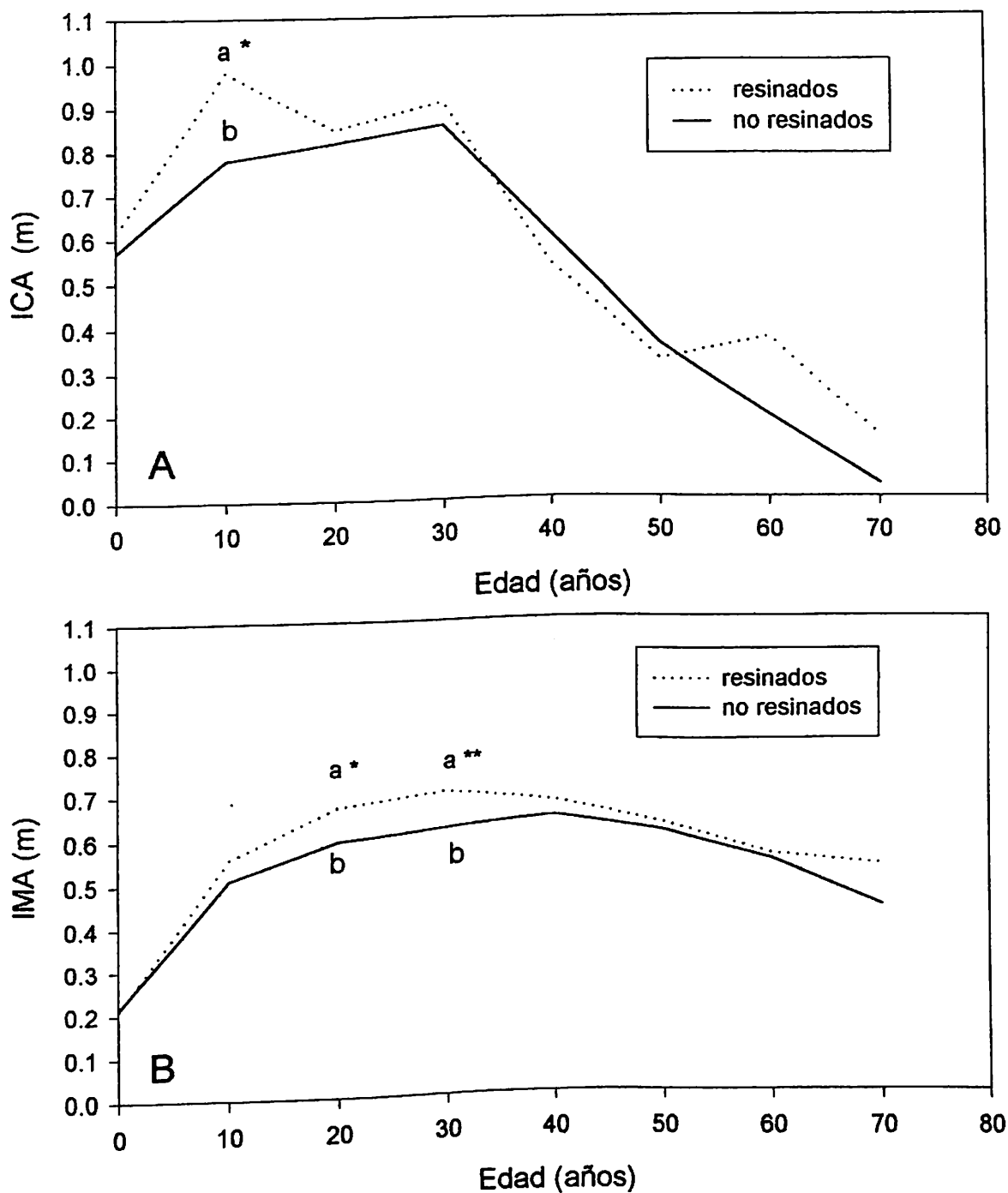
Para definir el número de curvas y la equidistancia entre ellas se tomó en cuenta el rango del diagrama de dispersión a la edad base. La equidistancia se obtuvo dividiendo el rango de dispersión a la edad base por el número de clases de calidad que se desea y es posible generar. Se utilizaron 5 clases de calidad de estación, cuya amplitud no fue menor de tres metros, ya que clases con amplitudes menores resultarían problemáticas al tratar de estimar la calidad de sitio de un lugar (Zepeda y Rivero, 1984).

Resultados y discusión

Efecto de la resinación en el crecimiento en altura

La prueba de comparación de medias de *t*-Student que se realizó para la variable incremento corriente (ICA) y medio anual (IMA) en altura de los árboles resinados y no resinados, por categorías de edad de 10 años (Figura 2 y Apéndice 1) arrojó un comportamiento inconsistente en ambos tipos de incremento para ambas condiciones. Se encontraron únicamente diferencias significativas ($P = 0.03$) en los valores de ICA a la edad de 10 años (0.98 m año^{-1} para resinados y 0.78 m año^{-1} para no resinados) (Figura 2 A).

Por otra parte, se encontró diferencias significativas ($P = 0.04$) a la edad de 20 años y diferencias altamente significativas a la edad de 30 años ($P = 0.009$) en el IMA (Figura 2 B). Los valores de IMA resultaron ser más altos para la condición resinados que para los no resinados (0.66 y 0.70 m año^{-1} , respectivamente). La curva del IMA de la condición resinados permanece por encima de la condición no resinados y sin cruzarse a lo largo del tiempo.



* Significativo.

** Altamente significativo

Figura 2. Incremento corriente y medio anual en altura de *Pinus montezumae* de árboles resinados y no resinados.

Debido a que la práctica de la resinación es común y consistente en los bosques de pino de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, se presentó una gran dificultad para encontrar árboles dominantes no resinados. Generalmente, los árboles no resinados se encontraron como árboles codominantes dentro de los rodales. Los árboles resinados seleccionados fueron más altos y dominantes dentro de los rodales muestreados exhibiendo mayores crecimientos en altura (Cuadro 3).

Por lo anterior, los árboles resinados seleccionados presentaron mayores incrementos en altura en las primeras etapas de su vida antes de ser resinados. Por lo que, los valores de ICA en altura fueron mayores en esta condición lo cual se evidencia por los tamaños de los árboles muestreados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Altura y edad de los árboles muestreados de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Localidad	Árboles	Árboles resinados							
		#	Media	Altura (m)	máxima	mínima	Media	Edad (años)	máxima
Gerahuaro	4	19.43	44.38	29.30	39.32	100	65		
Pucuato	6	20.82	42.17	28.40	31.84	83	35		
Huajumbaro	3	17.63	34.69	27.78	23.31	52	44		
Agostitlán	3	17.78	35.62	27.21	31.93	89	60		
Promedio		19.35			31.26				
		Árboles no resinados.							
Gerahuaro	7	17.49	36.05	29.05	31.26	78	55		
Pucuato	-	-	-	-	-	-	-		
Huajumbaro	4	16.21	31.80	27.78	21.76	52	41		
Agostitlán	1	17.57	32.96	32.96	30.38	53	53		
Promedio		17.13			29.15				

La media de la altura de los árboles resinados presentaron un rango de 17.63 m en la localidad de Huajumbaro a 20.82 m en la de Pucuat, con un promedio de 19.35 m. Las mayores alturas se encontraron en la localidad de Gerahuaro con 44.38 m y las menores alturas en Agostitlán 27.21 m.

Con respecto a la altura de los árboles no resinados, en general presentaron menores alturas con un promedio de 17.13 m. De igual forma que la condición resinados. Por otra parte, los árboles de menor altura pertenecen a la localidad de Huajumbaro. No se presentan datos para la localidad de Pucuat debido a que no se encontraron árboles dominantes o codominantes no resinados en esa localidad

Para el caso de la edad, los árboles de la condición resinados fueron en promedio más viejos (31 años) que los no resinados (29 años). Se encontraron árboles hasta de 100 años en la localidad de Gerahuaro, por otra parte, los más jóvenes se encontraron en la localidad de Huajumbaro. Lo anterior indica que los árboles no resinados fueron árboles codominantes que estuvieron creciendo en competencia con sus demás árboles vecinos y quizás bajo algún árbol dominante durante algún tiempo.

González (1992) al realizar un estudio sobre el efecto de la resinación en el crecimiento de *Pinus hartwegii* Lindl en Zoquiapan, México, encontró resultados similares a los obtenidos en este trabajo. Mediante análisis troncales

de árboles resinados (n=4) y no resinados (n=4) realizó una comparación de medias de ICA de altura de árboles resinados (0.20 m) y no resinados (0.21 m) e IMA (0.25 m para ambas condiciones), no encontrando diferencias significativas entre ambas condiciones (P=0.05).

Selección del modelo de crecimiento

En forma general los tres modelos presentan un buen ajuste respecto a los valores observados (Cuadro 4). Sin embargo, los modelos de Gompertz y Chapman-Richards tienen un ajuste superior al modelo de Schumacher debido al menor cuadrado medio del error (CME) y los valores más altos del coeficiente de determinación (R^2). Para el caso del modelo de Schumacher la contribución con la variable dependiente disminuye de manera sensible.

Cuadro 4. Estadísticos considerados para comparar el ajuste de los modelos Schumacher, Chapman-Richards y Gompertz para la relaciones edad-altura de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Modelo	Versión	C.M.E	R^2 ajustada
Schumacher	Anamórfica	17.97	0.86
Chapman –Richards	Anamórfica	17.17	0.87
Gompertz	Anamórfica	17.08	0.87

Sin embargo, esto no indica que los tres modelos representen adecuadamente la forma general de la relación entre las variables edad y altura observadas.

Al sobreponer los valores observados de la edad y la altura con el ajuste de los tres modelos probados (Figura 3). Se observa que el modelo de Schumacher subestima la altura en las edades de 2 a 10 años y sobre estima la altura en las edades de 70 a 100 años. En el caso del modelo de Gompertz sobrestima la altura en las edades de 2 a 10 años, en cambio el modelo de Chapman–Richards se mantiene por en medio del diagrama de dispersión y de los modelos de Schumacher y Gompertz a lo largo del crecimiento en altura de *Pinus montezumae*.

Para una edad de 100 años los modelos probados predicen diferentes valores de altura. El modelo de Chapman-Richards estima un valor de altura de 35.8 m manteniendo una diferencia por arriba de 0.92 m, con respecto del modelo de Gompertz y 2.2 m por debajo de la altura predicha del modelo de Schumacher. El modelo de Chapman-Richards representará en forma más adecuada la tendencia de los valores observados.

Stiff *et al.* (1989), Bojorges *et al.* (1991) y Franco (1997) al ajustar el modelo de Chapman-Richardss en su versión anamórfica en *Pinus oocarpa*, *Abies religiosa* y *Pinus rudis* respectivamente y al compararlo con el

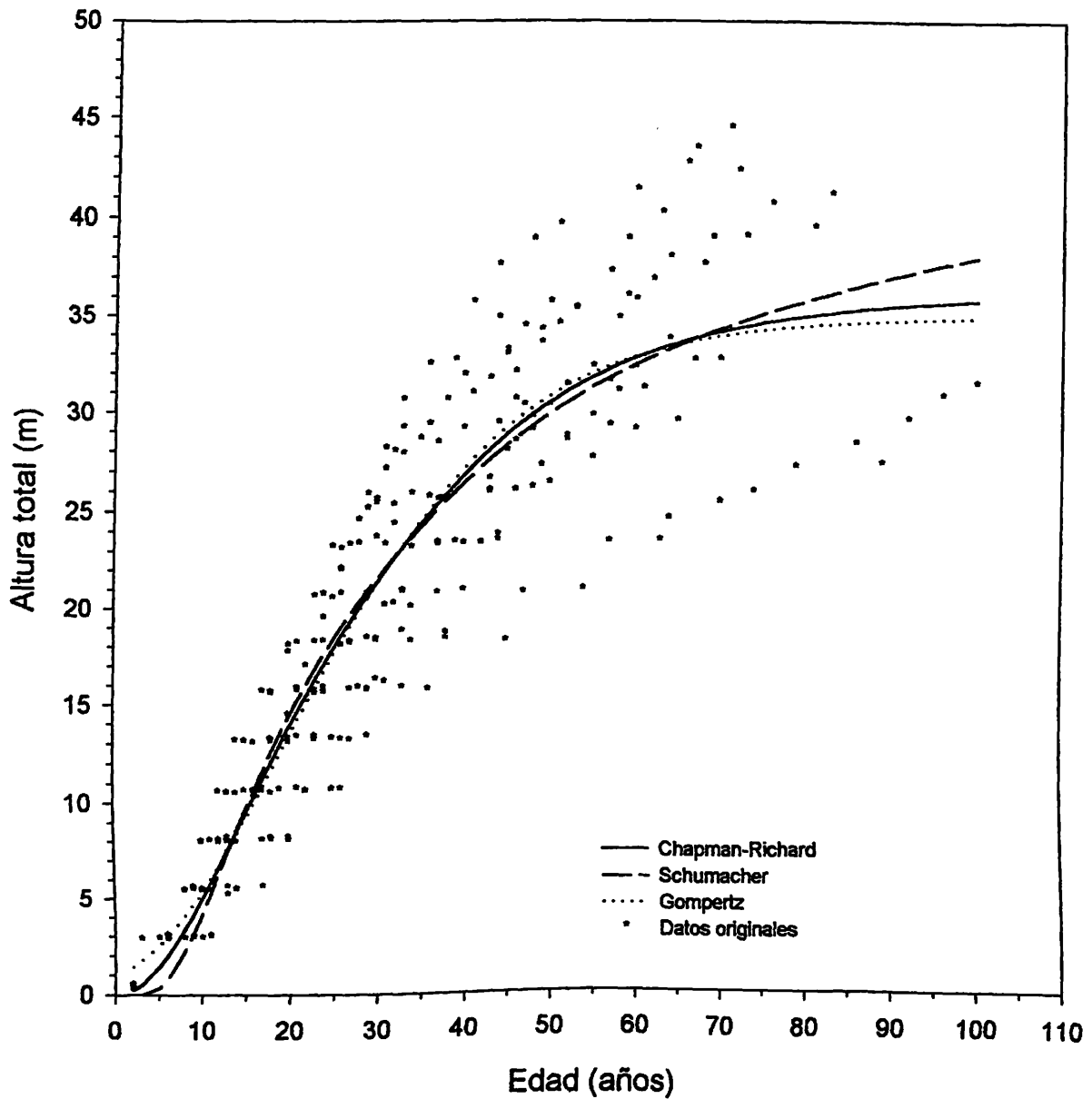


Figura 3. Diagrama de dispersión de la relación edad-altura y el ajuste de los modelos Schumacher, Chapman-Richards y Gompertz, para *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

modelo de Schumacher obtuvieron los mayores valores de R^2 y los menores de CME, seleccionando el modelo de Chapman-Richards por presentar un mejor ajuste. El modelo representó mejor los valores observados con la curva de ajuste y / o valores predichos.

Curvas anamórficas de índice de sitio

La edad base elegida fue de 25 años (Figura 4). El modelo no lineal seleccionado fue:

$$\text{Altura} = 36.31681599 (1 - e^{0.05041191/\text{edad}})^{2.14828541}$$

e = base de los logaritmos naturales.

La ecuación que se utilizó para construir el sistema de curvas de índice de sitio, a partir del modelo de Chapman-Richards fue:

$$A = IS \left[\frac{1 - \exp(-0.05041191(E))}{1 - \exp(-0.05041191(E_0))} \right]^{2.14828541}$$

Donde:

A = Altura

E = Edad.

E_0 = Edad base.

IS = Índice de sitio.

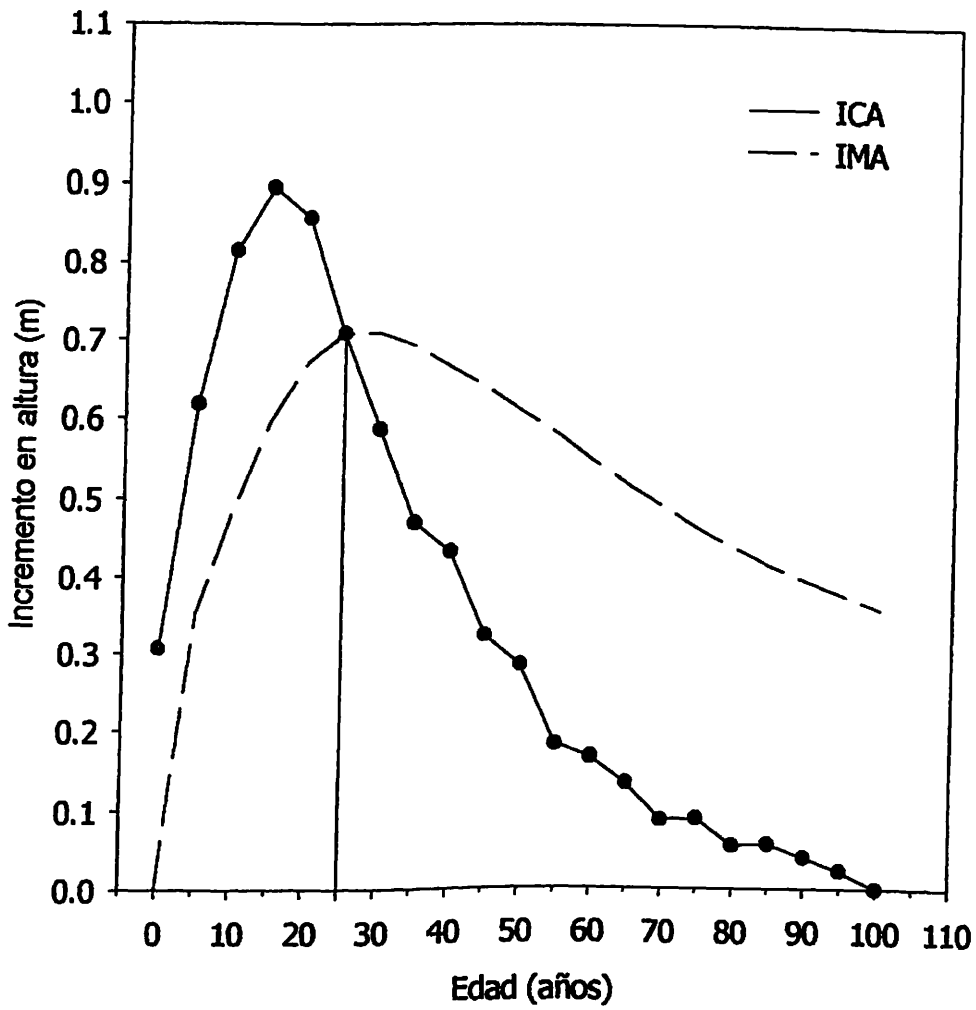


Figura 4. Curvas de incremento en altura y edad base de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo Mich.

Las curvas se trazaron para 5 diferentes índices de sitio 23.7, 20.7, 17.7, 14.7 y 11.7 m a una edad base de 25 años (Cuadro 5). De esta manera se conformaron una familia de 5 curvas anamórficas que representan el mismo número de calidades de estación I, II, III, IV y V, respectivamente (Figura 5 y Cuadro 6).

Cuadro 5. Alturas estimadas por índice de sitio y categoría de edad para *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Edad (años)	Índice de sitio en (m)				
	11	14	17(guía)	20	23
5	0.95	1.20	1.44	1.69	1.93
10	3.28	4.12	4.96	5.80	6.64
15	6.16	7.73	9.30	10.88	12.45
20	9.06	11.38	13.70	16.01	18.33
25	11.74	14.74	17.74	20.74	23.74
30	14.08	17.67	21.27	24.87	28.47
35	16.05	20.15	24.25	28.36	32.46
40	17.38	22.20	26.72	31.24	35.75
45	19.01	23.86	28.72	33.58	38.43
50	20.07	25.20	30.33	35.46	40.59
55	20.92	26.27	31.61	36.96	42.31
60	21.59	27.11	32.63	38.15	43.67
65	22.13	27.78	33.43	39.09	44.74
70	22.54	28.30	34.06	39.83	45.59
75	22.87	28.72	34.56	40.40	46.25
80	23.13	29.04	34.95	40.86	46.77
85	23.33	29.29	35.25	41.21	47.17
90	23.48	29.48	35.49	41.49	47.49
95	23.61	29.64	35.67	41.70	47.73
100	23.70	29.76	35.81	41.87	47.93

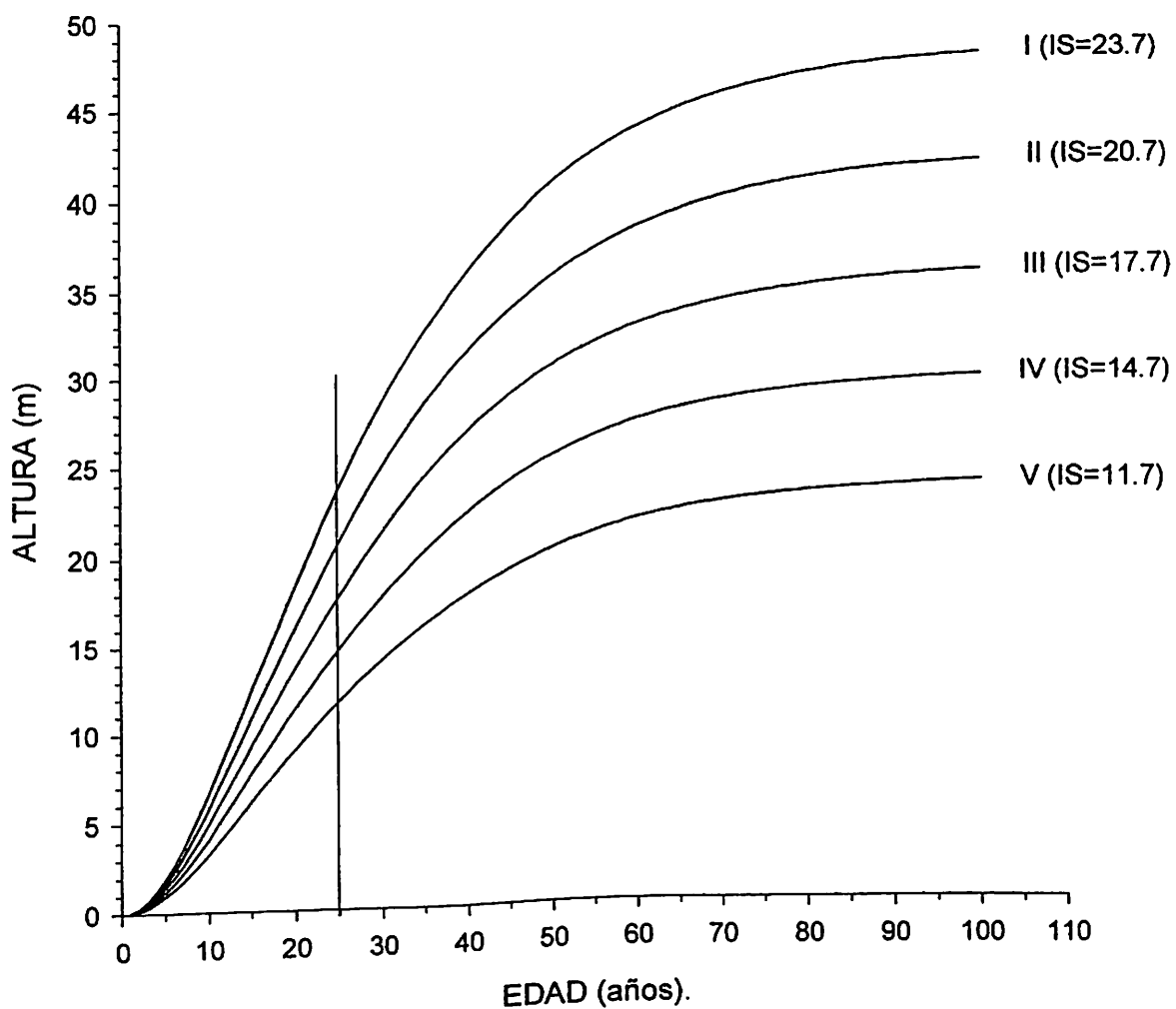


Figura 5. Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. a una edad base de 25 años, en Cd. Hidalgo, Michoacán.

Cuadro 6. Calidad de estación e índice de sitio de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Condición	Calidad de estación	Índice de sitio (m)	Amplitud del is (m)
Muy Buena	I	23.74	22.24-25.24
Buena	II	20.74	19.24-22.24
Regular	III	17.74	16.24-19.24
Mala	IV	14.74	13.24-16.24
Muy mala	V	11.74	10.24-13.24

Los valores de altura para cada índice de sitio se presentan en categorías de edad de 5 años hasta 100 años, la cual fue la edad máxima observada.

Fierros y Ramírez (1990) estimaron el índice de sitio en una plantación para *Pinus caribea* var. *hondurensis* en La Sabana, Oaxaca. Utilizaron 104 árboles para realizar análisis troncales. Utilizaron el método de la diferencia algebraica, así como los modelos de Chapman-Richards y Schumacher en su versión anamórfica y polimórfica. El modelo de Chapman-Richards en su versión anamórfica presentó un mejor ajuste ($R^2 = 0.95$).

Al comparar los resultados obtenidos con otros autores se encontró que Moreno (1996) determinó el índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la región de Cd. Hidalgo Michoacán, mediante 51 análisis troncales. El autor utilizó los métodos de predicción de parámetros y de la diferencia algebraica, así como los modelos de Chapman-Richards y Schumacher. El autor encontró que con el método de la predicción del parámetro y usando el modelo de

Chapman-Richards obtuvo un ajuste estadístico aceptable $R^2 = 0.97$ y una mejor representación de la tendencia de los valores observados.

Franco (1997) estimó el índice de sitio para *Pinus rudis* Endl. en la Sierra de Arteaga, Coahuila, mediante análisis troncales de 32 árboles. A través de la metodología de la curva guía se construyeron 3 curvas anamórficas y se compararon los modelos de Schumacher y de Chapman-Richards, este último modelo presentó un mejor ajuste a los datos observados ($R^2=0.92$).

Conclusiones

- 1) No existió diferencias significativas en el crecimiento en altura de árboles resinados y no resinados de *Pinus montezumae*.
- 2) El modelo de Chapman-Richards se ajusta satisfactoriamente y predice el crecimiento en altura de *Pinus montezumae* de forma más adecuada cuando la altura es función de la edad. Su curva tiene una asintota a partir de los 68 años.
- 3) A partir de las diferencias del rango de dispersión de la relación edad y altura se determinaron 5 curvas de índice de sitio y calidad de estación a una equidistancia de 3 m entre curvas.
- 4) El incremento corriente y medio anual permitió predecir la edad base de 25 años a la cual se estimaron las curvas anamórficas de índice de sitio.
- 5) Por medio de los análisis troncales, se cuenta con información necesaria para generar modelos de predicción que permitan conocer la relación edad-altura para determinar los índices de sitio.

Recomendaciones.

- 1) Utilizar arbolado joven (con diámetros de 25 a 40 cm) para determinar el efecto de la resinación en el crecimiento en altura por medio de análisis troncales.
- 2) Determinar la relación edad-diámetro con la finalidad de conocer la edad a la que los árboles alcanzan un diámetro de 30 cm, diámetro al que se comienza a instalar las caras de resinación en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. A fin de dirigir estudios que se enfoquen a determinar el efecto de la resinación en el incremento en diámetro, área basal, altura y volumen.
- 3) Utilizar el método de la curva guía ya que es más sencillo y práctico para determinar los índices de sitio, además de que se obtiene buenos ajustes con las observaciones.
- 4) Aumentar el número de árboles muestra para realizar los análisis troncales y distribuirlos en toda el área de estudio.
- 5) Utilizar los índices de sitio obtenidos para *Pinus montezumae* ya que es una herramienta útil para elaborar los planes de manejo y considerar las intensidades de corta más adecuadas en cada una de las áreas por aprovechar en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

Literatura citada

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. FAO. Roma, Italia. Vol. 2. 177 p.
- Arteaga M., B., J. D. Etchevers y H. V. Volke. 1988. Influencia de las características fisiográficas y edáficas en el crecimiento de *Pinus radiata* en Ayotoxtla, Guerrero. *Agrociencia*. 72: 109-121.
- Bojorges S, J. A., H. Ramírez M. y A. M. Fierros, G. 1991. Índice de sitio para oyamel en Zoquiapan, México. *Revista Chapingo*. XV (75): 158-161.
- Cruz de L., J. 1999. El ancho de los anillos de crecimiento como indicador de la calidad de la madera de *Pinus pringlei* Shaw. en Villa Madero, Michoacán. Resumen: IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Durango Dgo. pp 110-111 .
- Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el Norte de Oaxaca, México. *Bol. Tec. INIF. México*. No 2. 32 p.
- CETENAL.1977a. Carta Edafológica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977b. Carta Edafológica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977c. Carta Edafológica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977d. Carta Topográfica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977e. Carta Topográfica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977f. Carta Topográfica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.

- Clutter, J.L., J. C., Forston, L. V., Pienar y G. H. Brister. 1983. Timber Management: a quantitative approach. Wiley & Son Co. New York. 410 p.
- Corral, S., J. Navarro y F. Fernández. 1999. Índices de sitio para cinco pináceas de la región de El Salto, Durango, México. En: Resúmenes : IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Durango Dgo. pp 72.
- CONAGUA. 1999. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Michoacán. Distrito de riego 045 "Tuxpan". Unidad "Hidalgo".
- Curtis, R. O. 1964. A stem-analysis approach to site-index curves. Forest Science. 16:403-414.
- DETENAL. 1979a. Carta Geológica E14A24 Tzitzio. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979b. Carta Geológica E14A15 Maravatío. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979c. Carta Geológica E14A25 Cd Hidalgo. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- Daniel T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Mc Graw – Hill. México. 462 p.
- Fierros, A. y H. Ramírez. 1990. Índice de sitio para *Pinus caribea* var. *hondurensis* en La sabana, Oaxaca, México. En: manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunion IUFRO. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Guatemala: 459-471.
- Franco A., R. C. 1997. Tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 104 p.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- García, E. 1986. Apuntes de climatología. Facultad de ciencias. UNAM. México. 155 p.
- Gómez G., A. 1989. Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con los índices de sitio y de terreno de dos coníferas. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría. Montecillo, México. 113 p.
- González G., H. J. 1988. Determinación de calidades de estación para *P. arizonica* Engelm. y *P. durangensis* Martínez en el área Experimental Forestal Madera, Chihuahua. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. 70 p.
- González B., F. 1992. Efecto de la resinación en el incremento diamétrico de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, México. Tesis Profesional. UACH. Chapingo, México. 59p.
- Hangglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry*. 42 (11):515-527.
- Hawley, R. C. y D. M. Smith. 1972. Silvicultura práctica. Omega. España. 544 p.
- Hernández, A. T. y S. A. Ortiz. 1988. Estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México. *Agrociencia*. 72. 229-244.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. E.N.A. UACH. México. 365 p.
- Mas P., J. y A. Prado. 1981. Comparación del método de resinación de pica de corteza con estimulantes contra el método francés. INIF. Bol. Tec. No. 35. 47.

- Martínez, M. E., C. G. Ibarra, V. A. Hernández y F. Lorea-Hernández. 1987. Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región de los Azufres, Michoacán. *Revista Trace*. No. 12: 22-37.
- McNab, W.H. 1989. Terrain shape index: quantifying effect of minor landforms on tree height. *Forest Science*. 35 (1): 91-94.
- McNab, W.H. 1993. A topographic index quant the effect of mesoscale landform on site productivity. *Canadian Journal of Forest Research*. 23:1100-1107.
- Moreno Ch., J. 1996. Comparación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la región Hidalgo-Zinapécuaro de Michoacán. Tesis profesional. UACH. Chapingo, México. 68 p.
- Myers, H.R. 1990. Classical and modern regresion with applications. Second edition. PWS-KENT. USA. 488 p.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México. 634 p.
- Prodan, R., F. Peters y P. Real. 1997. Mensura forestal. Proyecto IICA/GTZ, sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible. San José de Costa Rica. 561 p.
- Quiñones, C. A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del Salto Durango, México. Tesis de Maestría en Ciencias. UACH. Chapingo, México. 129 p.
- Rivero B, D. P. y E. M. Zepeda B. . 1990. Principios básicos de regulación forestal. UACH. División de Ciencias Forestales. Serie de apoyo académico. Chapingo, México. 42. 262 p.
- Salmon, M. J. y C. E. Flores. 1991. Influencia de la precipitación invernal en el crecimiento en altura de pinos del grupo ponderosa de Chihuahua. *Revista Chapingo*. (75):106-110.

- Sit, V. y Poulin-Costello, M. 1994. Catalog of curves for curve fitting. Biometrics Information Handbook Series. Ministry of Forests. No. 4. Victoria, B. C. Canada. 110 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. A.G.T. Editor. México. 690 p.
- Stiff, C.T., D. N. Perez, y F. D. Johnson. 1989. Site index and height growth curves for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras. Turrialba. 39(2):247-253.
- Ucodefo-2. (Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No 2). 1994. Organización de la Unidad Ciclo 1994-1995. Cd. Hidalgo, Michoacán. 21 p.
- Zepeda B., E. M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: Ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal. 9 (51): 3-38.

Asociación del índice de sitio de *Pinus montezumae* Lamb. con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación en Cd. Hidalgo, Michoacán.

Introducción

La opinión que se tiene de la deforestación se relaciona generalmente con el crecimiento de la población humana, lo cual ocasiona una presión mayor en los bosques y selvas. La deforestación podría relacionarse con diferentes causas, tales como la expansión de la frontera agrícola, crecimiento urbano, manejo inadecuado e irracional de los bosques, incremento en el clandestinaje y mayores vías de comunicación e incidencia de incendios, esta última limitada por las condiciones fisiográficas de las zonas forestales en el país (Valencia, 1995).

En forma particular, en México el aprovechamiento del estrato arbóreo de los bosques de forma inadecuada constituye un medio de deforestación importante. Lo cual se traduce en una disminución de la diversidad, entendida en su sentido de riqueza como el número total de especies que viven juntas, siendo un indicador ecológico importante del buen o mal manejo de los bosques a través del tiempo (Valencia, 1995).

Por lo anterior, es indispensable que el forestal cuente con conocimientos y medios que le permitan distinguir entre localidades ricas y pobres con la

finalidad de tomar mejores decisiones de manejo. En las prácticas silvícolas y de ordenación se deben de considerar las clases de calidad de estación e índice de sitio a fin de justificar un aprovechamiento intensivo (condición rica) ó extensivo (condición pobre) (Castaños, 1962).

De aquí la necesidad que existe de probar y conocer métodos que permitan la definición de unidades de manejo o calidades de estación, tomando en cuenta los atributos físico-químicos y biológicos del ambiente. Para aprovechar mejor la capacidad productiva de los terrenos (Arteaga, 1988).

Los estudios de las relaciones causa y efecto en los ecosistemas forestales, destacan la relación de las variables fisiográficas y edáficas con variables indicativas del índice de sitio como la altura media, altura dominante y producción de madera (Carmean, 1975). Este tipo de estudios permiten entender mejor la influencia de los factores del ambiente en la productividad forestal (Gómez, 1993).

Los estudios con métodos indirectos han sido los mas empleados para estimar la producción del sitio forestal en relación al ambiente-sitio, donde las variables más correlacionadas con la calidad de estación son la profundidad del suelo, profundidad del horizonte A, la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, variables climáticas, exposición y pendiente (Carmean, 1975).

En México, los estudios sobre clasificación y ordenación de variables de comunidades vegetales, relacionado con variables del ambiente y vegetación

con carácter cuantitativo, son mínimos debido a la implicación de un alto número de variables en el análisis. En estos casos la aplicación de técnicas de análisis multivariado han resultado ser una alternativa viable por ofrecer estudios efectivos y rápidos (Hernández, 1992).

El análisis de componentes principales se ha utilizado principalmente en estudios ecológicos, cuando se tienen una gran cantidad de especies vegetales, la caracterización del sitio por topografía, suelo y se desea conocer su relación. El análisis tiene como propósito básico tomar un gran número de variables correlacionadas y reducirla a un menor número de variables significativas y no correlacionadas que son los componentes principales (Díaz, 1992).

Por otra parte, una forma común de relacionar la producción forestal con las variables del sitio es la regresión múltiple. Se emplea en relaciones alométricas, así como en modelo complejos de ajuste lineal o no lineal, en su fase aplicativa como herramienta de trabajo o como actividad científica de quienes atienden relaciones de plantas con su medio físico, ya sea suelo o atmósfera (Valencia, 1995).

A través de un modelo lineal Arteaga *et al.* (1988) obtuvieron una ecuación que explicó el 76por ciento de la variación del crecimiento en altura de *Pinus patula* Schl. *et* Cham. en Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Incluye siete variables que asociadas con la altura como profundidad del horizonte A1, la posición del árbol en la pendiente, la exposición y la interacción exposición-pendiente.

Rodríguez *et al.* (1988) estimaron el crecimiento de la altura de *Pinus montezumae*, en el campo experimental forestal en San Juan Tetla, Puebla a través de 6 factores inherentes al suelo del lugar. Realizó un modelo lineal con la finalidad de predecir el crecimiento en altura. Los factores relacionados fueron: pH, contenido de arcilla y de limo en la capa del suelo de 0 a 50 cm de profundidad y contenido de arcilla de 50 a 70 cm y 70 a 100 cm de profundidad.

Por lo que, el objetivo del trabajo es asociar el índice de sitio de *Pinus montezumae* con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación.

Materiales y métodos.

Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra comprendida por un bosque de coníferas, en donde se distribuye *Pinus montezumae*. El área está ubicada en la provincia del Eje Neovolcánico y subprovincia de Mil Cumbres en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán (Ucodefo-2, 1994). El área de estudio la comprenden cuatro localidades que son Gerahuario, Huajumbaro, Pucuató y Agostitlán en cuyos lugares se distribuye naturalmente la especie en estudio (Figura 1). Las localidades tienen una ubicación geográfica entre las coordenadas 100° 20' a 100° 50' de longitud Oeste y 19° 35' a 20° 20' de latitud Norte (CETENAL, 1977 d,e,f).

El área presenta altitudes que van de 2100 a los 3000 msnm. Así como con pendientes que van del 5 por ciento al 40 por ciento. En las áreas de estudio predominan las exposiciones Norte, Noroeste, Suroeste y Oeste. Ocurre un relieve contrastante en el que se distinguen mesetas, lomeríos y sierras (CETENAL, 1977d,e,f).

La geología está representada principalmente por rocas ígneas extrusivas de la era Cenozoica, del periodo Terciario Superior; prevaleciendo el tipo de rocas como reolita de color verde, formando cuerpos compactos medianamente alterados.

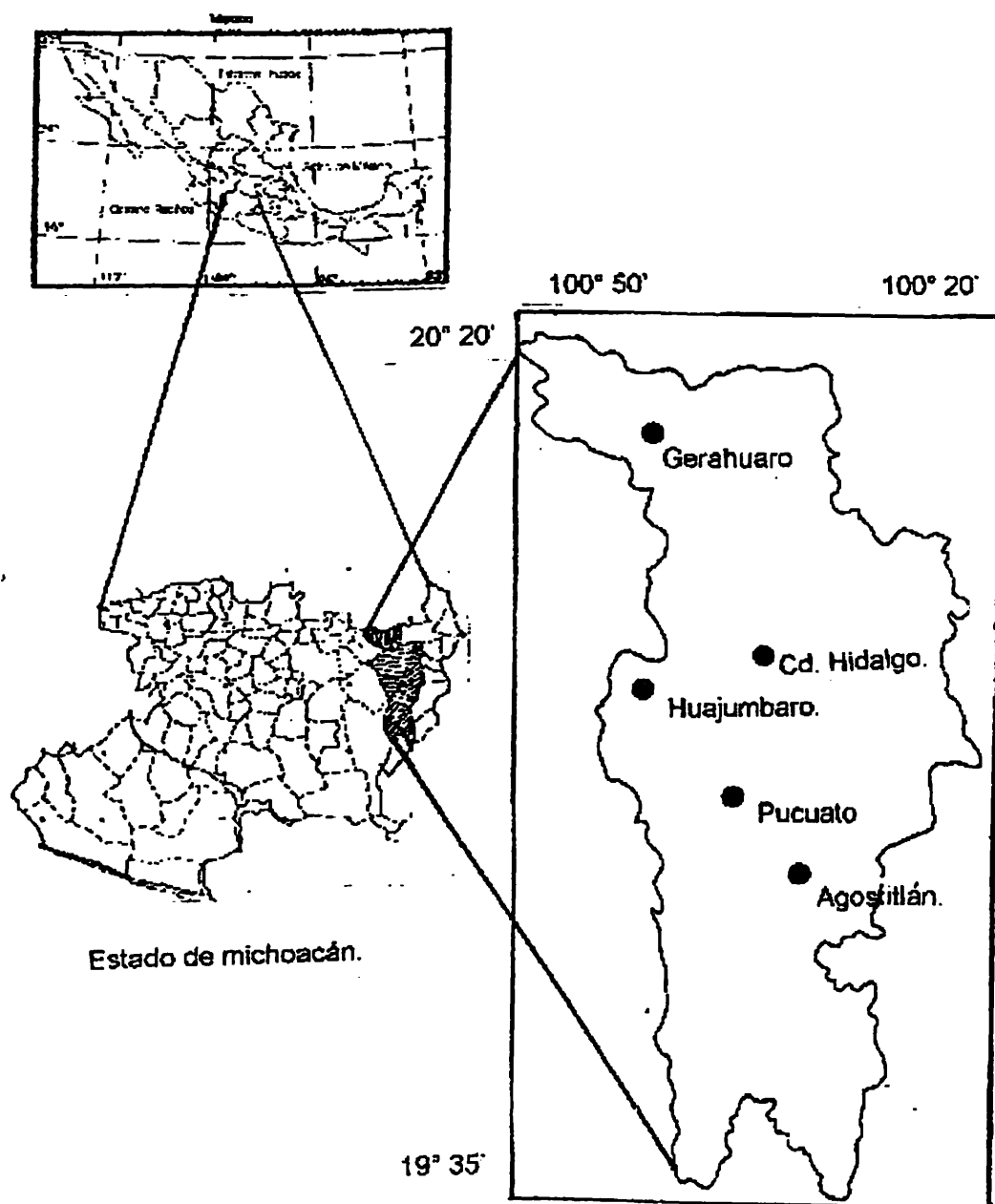


Figura 6. Ubicación del área de estudio para asociación de variables del clima, fisiografía, fisico-químicas del suelo y vegetación con el índice de sitio en Cd. Hidalgo, Mich

En el área de estudio también se encuentran andesitas de color rosa compactada, la cual subyace a otra andesita de fracturamiento intenso y de color gris (DETENAL, 1979 a,b,c).

Los suelos que predominan en el área son del tipo andosol, con textura media. El drenaje de dichos suelos es clasificado como bueno y de profundidad media (CETENAL, 1977 a,b,c).

El área de estudio la dividen dos regiones hidrológicas, la región RH-18 Río Balsas y la región RH-12 Río Lerma. La mayor parte del área de estudio se encuentra en la RH-18 Río Balsas, dentro de la cuenca hidrológica G Río Cutzamala (Ucodefo-2, 1994).

En el área de estudio ocurre un clima húmedo; templado con verano fresco y largo; subhúmedo intermedio en cuanto a humedad con lluvias en verano; con menos de 5 por ciento de lluvia invernal; isotermal con poca oscilación entre las temperaturas menor a 5°C y con el mes más caliente del año antes de junio (García, 1973) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Principales características del clima que se presentan en el área de estudio.

Localidad (nombre).	Temperatura (°C)			Prec. Media (mm)	Periodo libre de heladas. (días).	Formula climática.
	Media	Máxima	Mínima			
Agostitlán	14.1	24.8	3.9	1,263.3	180	C b(w2) w l
Gerahuario	12.2	31.0	3.2	1,171.0	120	C b(w1) w l
Huajumbaro	17.2	29.9	4.5	1,383.8	180	C b(w1) w i g
Pucato	14.2	25.3	3.2	1,294.4	120	C b(w2) w l

Periodo libre de heladas son temperaturas por arriba de 4.5 °C (García, 1986).

Fuente: CONAGUA, 1999. Prec. = precipitación.

La vegetación que ocurre en el área de estudio es un bosque de clima templado constituido por *Pinus herrerae* Mart., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. michoacana* Mart., *P. leiophylla* Schl. & Cham., *Abies religiosa* Schl., *Quercus castanea* Neé, *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. obtusata*, *Q. microphylla* Neé, *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Alnus firmifolia* Fern., *A. arguta* Spach., *Crataegus mexicana* Moc. et. Sessé, y *Arbutus xalapensis* H.B.K. La cubierta arbustiva la conforman especies como *Terpstroemia pringlei*, *Baccharis conferta* H.B.K., *Dodonaea viscosa* (L) Jacq., *Urtica dioica* Willd, *Arctostaphylos longifolia*, *Rubus pringlei*, *Solanum nigrum* L., *Eupatorium glabratum* H.B.K. y *Buddleia sessiliflora* H.B.K.. El estrato herbáceo lo constituyen elementos como *Alchemia procumbens* Rose, *Arenaria lanuginosa* Rohrb., *Eryngium palmeri*, *Geranium seemanni* Peyr., *Muhlenbergia robusta* (Fourn.) Hitchc., *Oxalis alpina* Rose, *Panicum bulbosum* H.B.K. y *Stipa virens* H.B.K. (CETENAL, 1977 ; Martínez et al., 1987).

Diseño de muestreo

Con apoyo de fotografías aéreas y cartografía escala 1:50,000 de las localidades de Gerahuaro, Pucuat, Agostitlán y Huajumbaro se realizó una rodalización con base en la distribución del *Pinus montezumae* en cada una de las localidades seleccionadas. Dentro de la rodalización de distribución de la especie se hizo una subrodalización que comprende cada una de las exposiciones del terreno. después se trazó el diseño de muestreo en las fotografías aéreas y en una plantilla de la carta topográfica.

Con el objetivo de contar con información de las cinco calidades de estación determinadas para *Pinus montezumae* en la región se utilizó un diseño de muestreo selectivo. Se dirigió el muestreo a áreas de mayor y menor productividad así como la condición intermedia, respectivamente. El diseño consistió en trazar líneas a lo largo de las laderas en diferentes exposiciones de la distribución de *Pinus montezumae*, utilizando planos topográficos de escala 1:25,000 de la región. Los caminamientos se realizaron en forma perpendicular a la pendiente.

Forma y tamaño de los sitios de muestreo

Para el estrato arbóreo se ubicaron puntos de muestreo en medio de las laderas del terreno donde se distribuye el *Pinus montezumae*, perpendicularmente a la pendiente y en la misma dirección que la ladera. La

distancia entre cada punto de muestreo fue de 200 m. El largo de las líneas de muestreo estuvieron sujetas por la extensión de las laderas o en su caso por la presencia de la especie. Se muestrearon los cuatro árboles dominantes o codominantes que estuvieran a una distancia del punto de muestreo menor o igual a 50 m.

Para el caso de la vegetación arbustiva y herbácea se utilizó un sitio circular de 100 m² dentro del punto de muestreo que se utilizó para medir el estrato arbóreo. El sitio fue ubicado en aquel lugar donde estuviera presente la vegetación representativa del área.

Caracterización del sitio

En cada uno de los sitios muestreo se determinaron variables fisiográficas, la metodología empleada para la determinación de la exposición, pendiente, posición en la pendiente y altitud fue en base a lo propuesto por Siebe *et al.* (1996).

La exposición se determinó de acuerdo a los rumbos magnéticos, medidos a partir del Norte utilizando para ello una brújula Sunnto. En caso de terrenos con pendientes menores a 15 por ciento se considero zenital. Se determinó la pendiente en por ciento usando una pistola Haga. Por otra parte, se determinó la altitud con un altímetro y se consideró la posición del terreno en

donde se ubicó el sitio de muestreo con respecto a la parte mas baja del terreno.

Medición de la vegetación

En el registro de la vegetación se diferenciaron los estratos verticales arbóreo, arbustivo y herbáceo en base a la altura y forma de vida.

Estrato arbóreo

En el caso del estrato arbóreo la información dasométrica recavada consistió en la medición de la altura y edad de los árboles dominantes o codominates seleccionados.

Se eligieron árboles que estuvieran sanos, bien conformados, no despuntados y libres de plagas y enfermedades. Los árboles seleccionados fueron árboles resinados ya que en la región de Cd. Hidalgo, Mich. la resinación de los árboles es una práctica común y es difícil encontrar árboles dominantes no dañados por esta práctica.

La cantidad de árboles a los que se les determinó la altura y edad por sitio estuvo sujeta a la presencia de los árboles dominantes y codominates de la especie. La altura total se midió con el clinómetro Sunnto y la pistola Haga, utilizando una distancia horizontal conocida del

píe del árbol al pie del observador, medida con una cuerda de plástico de 30 m. La altura se registró con una aproximación al metro.

Se determinó la edad a 1.30 m con un taladro de Pressler, de los árboles dominantes y codominantes del sitio. Al número total de anillos contados en la viruta se le agregaron 4 anillos para obtener la edad total. Los cuatro anillos que se agregaron corresponden al tiempo que la regeneración tarda en crecer 1.30 m de altura.

Una vez que se determinó la altura y edad de los cuatro árboles dominantes seleccionados se ubicó el índice de sitio en el que se encontraba cada punto de muestreo. Para después asociar el índice de sitio con cada una de las variables del suelo, clima, fisiografía y vegetación.

Estrato arbustivo y herbáceo

Para la definición de la vegetación herbácea y arbustiva, se consideró la altura y forma de vida de los individuos. El estrato arbustivo consideró aquellos individuos menores de 2.0 m de altura y mayores de 0.5 m con una forma de vida erecta y leñosa. Para el estrato herbáceo se definió para individuos con altura menor a 0.5 m de altura con forma de vida erecta, suculenta y rastrera . La medición consistió en determinar el nombre común, la cobertura (diámetro mayor y menor de la copa), la

altura (altura de la planta en cm) y la densidad (número de individuos de cada especie dentro del sitio) esta información se registró para ambos estratos.

se utilizó un formato en el que se anotó cada una de las características de las especies dentro del sitio. Las muestras desconocidas, se etiquetaron y se prensaron, para su identificación en el Laboratorio de Botánica de la UAAAN.

Cálculos derivados de la vegetación arbustiva y herbácea

Para la vegetación arbustiva y herbácea se utilizó el valor de importancia en el análisis estadístico. En este caso el valor de importancia fue modificado del propuesto por Cox (1972). Para este trabajo se calculó el valor de importancia de la siguiente manera:

Densidad = Número de individuos por especie / superficie muestreada.

Densidad relativa = Densidad de la especie / densidad total de todas las especies del sitio.

Dominancia = área basal (m²) / área muestreada.

Dominancia relativa = Dominancia de la especie / dominancia de todas las especies del sitio.

Valor de importancia por sitio = Densidad relativa + dominancia relativa.

Muestreo del suelo

Se realizaron 51 perfiles de suelo para medir las variables que se usaron para asociarlas al índice de sitio. Con la finalidad de dañar lo menos posible las raíces de los árboles y a su vez que estas no interfirieran en la excavación González (1994) propone realizar los perfiles de suelo por fuera del perímetro de los árboles seleccionados. Las dimensiones del perfil fueron de 1x1x1 m, sin embargo en algunos perfiles no se logró la profundidad de un metro debido a la ubicación de algún horizonte endurecido.

En cada perfil de suelo se diferenciaron tanto los horizontes orgánicos O₁ y O₂, como los horizontes A1 y B1. El espesor de estos horizontes se midió con una regla de madera graduada en centímetros. En el caso de los horizontes orgánicos el espesor se midió considerando el grado de descomposición de la hojarasca.

En cada perfil se consideró excavar a una profundidad fija de 1 m que es igual a profundidad total. Campos (1990) recomienda excavar a esta profundidad ya que se trata de encontrar la mayor densidad de raíces de los árboles cuyo aporte de nutrimentos y agua sea significativo, dado que este tipo de raíces se encuentran a una profundidad entre 0 y 1 m.

Posteriormente, se procedió a obtener una muestra de 500 g de suelo de cada horizonte, para realizar un análisis físico y químico de la misma. De las

muestras tomadas de los horizontes A1 y B1, se consideraron siete variables físico-químicas. Se consideraron dichas variables ya que reflejan el estado de la humedad del suelo, de los nutrientes y de la aeración (Prittchet, 1986) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Variables físico-químicas del suelo y los métodos utilizados en su determinación.

Variable	Método
Textura (%)	Hidrómetro de Boyoucos
Clase textural (%)	Triángulo de texturas (U.S.D.A)
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
pH	Estimador del pH digital
Nitrógeno (%)	Estimado
Densidad aparente (gr cm^{-3})	De la pipeta
CIC (meq/100g)	Estimado

Variables climatológicas

Las variables climatológicas que se utilizaron en este caso fueron la precipitación media mensual, temperatura media, máxima y mínima mensual. Estas variables fueron proporcionas por la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad de las estaciones meteorológicas de Agostitlán, Cd. Hidalgo, Pucuto y Maritaro.

También se calculó la radiación global ($\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) para cada uno de los sitios de las cuatro localidades. Para su determinación se utilizó el trabajo realizado por Buffo *et al.* (1972) en el cual se proporciona la radiación global recibida en lugares que se ubiquen de 0 a 60 grados de latitud Norte . En dicho

trabajo se proporcionan valores de radiación global a intervalos de 10 grados de latitud y de acuerdo a su exposición así como grados de pendiente. La información de la radiación se interpoló para lugares con latitudes intermedias.

Debido a que la temperatura, precipitación y luz son tres de los elementos más importantes para los procesos de la vida de las plantas (Paterson, 1978). Se consideró combinar estas variables, con el período de crecimiento, con la finalidad de asociarlas con el índice de sitio de la especie en la región.

La combinación de las variables climáticas se realizó mediante la utilización del índice de productividad propuesto por Paterson (1978). Para este trabajo tal índice se determinó únicamente para el período de crecimiento de la región, considerando este período como el número de meses cuya temperatura mínima mensual supera los 4°C (Kaufman, 1982). El índice de Paterson se determinó de la siguiente manera:

$$I\ c.v.p. = \frac{G * T_v * P * E}{12 * T_a * 100}$$

Donde:

I c.v.p. = Índice de productividad de Paterson modificado.

G = Número de meses con temperaturas mínimas > a 4°C.

T_v = Temperatura media del mes mas cálido (°C), del período de crecimiento.

T_a = Diferencia de la temperatura del mes mas cálido y del mes mas frío (°C).
del período de crecimiento

P = Precipitación mensual (mm), del período de crecimiento.

E = Radiación global (cal cm⁻² día⁻¹) del período de crecimiento.

Análisis estadístico

Una vez determinados los datos de campo y laboratorio se capturaron en una hoja de cálculo (Excell). En el caso de la vegetación se obtuvo el valor de importancia por sitio. A cada especie se le consideró su valor de importancia de acuerdo a su presencia en cada uno de los 51 puntos de muestreo. En total se generaron 74 diferentes variables considerando a la vegetación herbácea y arbustiva como variables, de acuerdo a su valor de importancia dentro del sitio.

Posteriormente, se uniformizó la base de datos de los diferentes tipos de variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y de la vegetación a 51 observaciones. Debido a que en cada perfil de cada sitio se contó con información para los horizontes A1 y B1. En los sitios de la vegetación el número de especies por sitio fue variable al igual que la presencia de las especies en los sitios

Cuando las variables están medidas en distintas unidades o escalas es necesario realizar una transformación de variables o estandarización de datos (Rodríguez, 1995). En el caso de las variables ambientales se realizó una estandarización, la cual se hizo a media cero y con varianza unitaria. Esto significa que el conjunto de datos a partir de los cuales se generaron los componentes principales se otorgaron la misma importancia a todas a las variables observadas (Pla, 1986). La estandarización se realizó de la siguiente manera (Ramírez, 1972):

$$Z_{ij} = X_{ij} / S_j$$

Donde:

Z_{ij} = Nuevo valor estandarizado.

X_{ij} = Valor con que se representa la variable j en la observación i .

S_j = Desviación típica o estándar de los valores de la variable j .

La base de datos de la vegetación herbácea y arbustiva presentan una gran cantidad de valores de importancia cero. Debido principalmente a la ausencia de alguna especie en un sitio en particular, entonces su valor de importancia era igual a cero. Cabe mencionar que este valor esta referido en porcentaje.

Para transformar fracciones o porcentajes se utilizó una transformación angular. La transformación angular permite alcanzar una distribución normal (Rodríguez, 1995). La transformación angular que se realizó en este trabajo fue utilizada por Pla (1986) en el análisis de componentes principales y se realizó de la siguiente manera:

$$X^\circ = \text{Sen}^{-1} \sqrt{x + 1}$$

Donde:

X° = Indica el valor transformado.

X = El valor original en porcentaje en un rango de 0 a100.

Sen^{-1} = Inversa del seno.

Entonces, el valor X° es el ángulo cuyo seno inverso es la raíz cuadrada de $(x + 1)$. El valor 1 se utilizó para eliminar la gran cantidad de valores 0 que

existían en la base de datos original, los cuales dificultan el cálculo de los valores y vectores propios (Pla, 1986).

Una vez que se transformaron los datos se realizó el análisis de componentes principales utilizando por separado un análisis para cada base de datos (clima, fisiografía, químico-físicas del suelo y de vegetación) debido a la naturaleza de los datos y por la conversión distinta para cada base de datos.

Análisis de componentes principales

Este procedimiento se realizó con el paquete estadístico (S.A.S.) Statistical Analysis System versión 6.12, por medio del procedimiento PROC PRINCOMP.

Debido a la estandarización de los datos en el análisis por componentes se utilizó la matriz de correlación. La elección de los componentes principales se utilizaron los métodos sugeridos por Dillon y Goldskin (1984) y el de reducción de componentes (S.A.S., 1996). El primer método consiste en graficar el porcentaje de la variación explicada por cada componente en las ordenadas y los componentes en orden decreciente en las abcisas. De la observación y análisis del gráfico se consideraron los componentes anteriores al punto de inflexión de la curva.

Pla (1986) menciona que al seleccionar un grupo de componentes, se debe de tomar en cuenta si se utilizaran en análisis posteriores para sintetizar todo un conjunto de datos. Entonces al pasar de un punto de inflexión a otro hay un cambio de magnitud en las varianzas, por lo que se recomienda mantener la totalidad o ninguno de los componentes de una onda.

El segundo método consistió en realizar un procedimiento de regresión entre la variable dependiente (Y = índice de sitio) y los componentes principales generados, seleccionando aquellos componentes cuyo valor de probabilidad de t – Student sea menor o igual a $\alpha=0.01$.

Con el objetivo de utilizar la mayor proporción de la varianza explicada en un análisis posterior se seleccionaron los 5 primeros componentes, los cuales corresponden con los dos primeros puntos de inflexión de la curva de la varianza explicada por cada componente.

Por otra parte, para la elección de variables más correlacionadas para cada componente, se determinó la relación de las variables con los componentes principales, también denominados pesos ajustados, los cuales indican el grado de influencia de la variable en el componente principal (Dillon y Goldskin, 1984). La determinación de los pesos

ajustados se realizó por medio de la ecuación propuesta por Walker y Wehrhahn (1971). Para ello se calcularon anteriormente los valores propios y vectores propios de los componentes, por medio del procedimiento PROC PRINCOM del paquete estadístico S.A.S.

$$S_{ij} = V_{ij} \sqrt{\lambda_i}$$

Donde:

V_{ij} = son los pesos ajustados de i -ésima variable y, el j -ésimo componente (vector propio).

λ_i = Es la varianza total explicada por el j -ésimo componente (valor propio)

S_{ij} = El peso ajustado para la i -ésima variable en el j -ésimo componente.

Los pesos ajustados son coeficientes de correlación con los cuales se pueden interpretar los componentes resultantes, inspeccionando los coeficientes de correlación de los componentes seleccionados (Walker y Wehrhahn, 1971).

Una vez estimados los pesos ajustados se seleccionaron aquellas variables de cada componente cuyo valor de S_{ij} fuese mayor o igual a 0.5.

Modelo de regresión

Las variables seleccionadas se utilizaron para la predicción del modelo funcional entre el índice de sitio y las variables del clima,

Resultados y discusión

Análisis de componentes principales

Los resultados de los análisis de componentes principales se presentan para las variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y para las especies de la vegetación herbácea y arbustiva.

En análisis de componentes principales para la vegetación, explicó el 36 por ciento de la variación original de los datos con cinco componentes (Cuadro 9). Los cuales representan las primeras dos ondas de la variación explicada por los componentes (Figura 7).

Cuadro 9. Variación explicada por cinco componentes principales de las especies de vegetación herbácea y arbustiva en Cd. Hidalgo, Mich.

Componente Principal	Valor propio	Proporción de la varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	3.604	0.081	0.08
2	3.473	0.078	0.16
3	3.341	0.075	0.24
4	2.971	0.067	0.30
5	2.434	0.055	0.36

Se seleccionaron los primeros cinco componentes, tres de ellos, componentes 2, 4 y 5 por ser significativos ($P < 0.05$) y los componentes 1 y 3

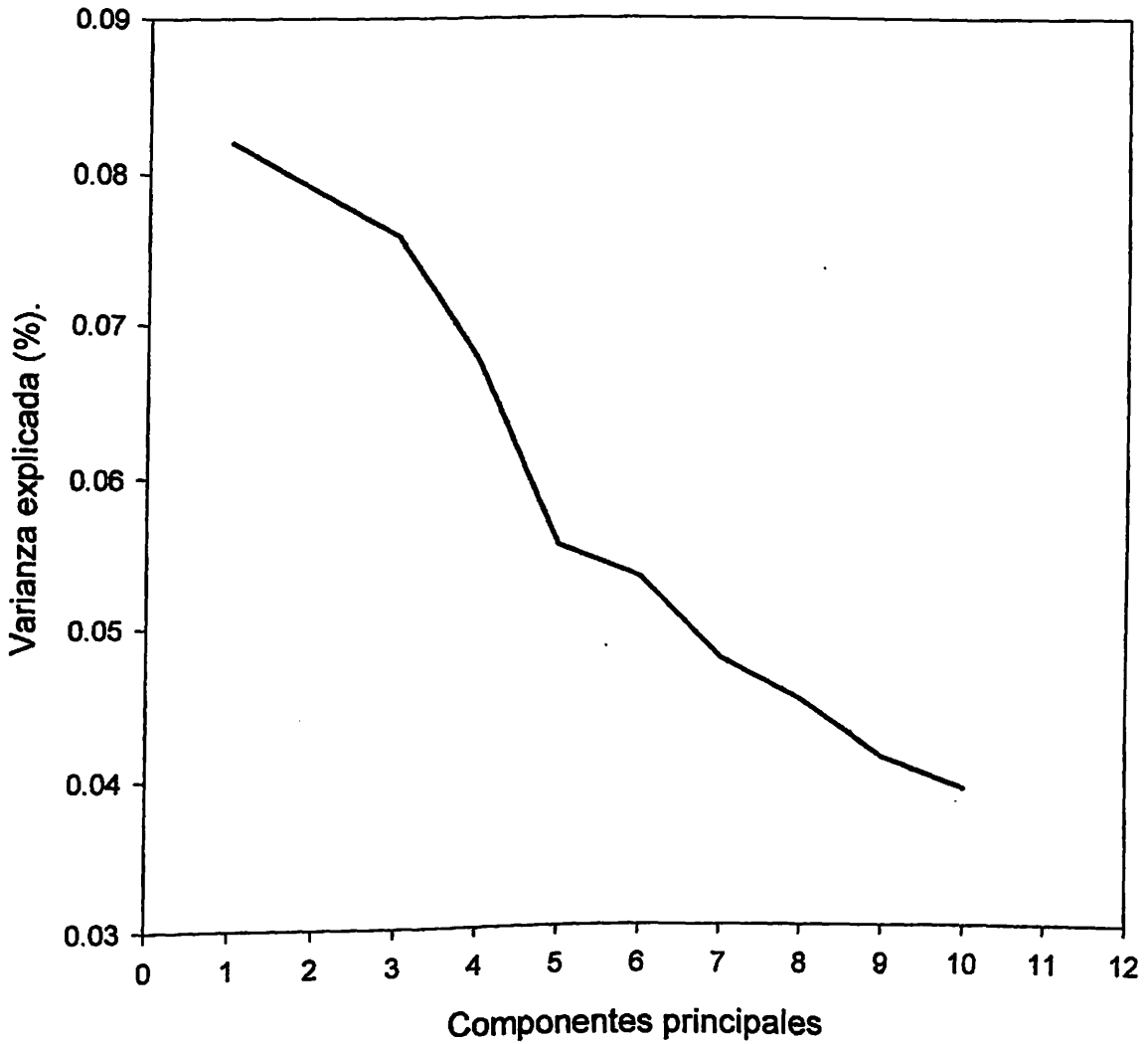


Figura 7. Varianza explicada (%) por los componentes principales del valor de importancia de la vegetación en Cd. Hidalgo, Mich.

por pertenecer a las primeras dos ondas de la magnitud de la varianza (Cuadro 10) ya que el criterio es escoger todos o ningún componente de una onda de la varianza cuando se realiza un análisis posterior (Pla, 1986) (Figura 7).

Cuadro 10. Prueba de reducción de componentes por medio de la regresión lineal para la vegetación en *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Prob> T
Intercepto	18.161	0.297	0.0001
Componente 1	0.236	0.158	0.1419
Componente 2	0.481	0.161	0.0047
Componente 3	-0.125	0.164	0.4491
Componente 4	-0.911	0.174	0.0001
Componente 5	0.489	0.192	0.0148
Componente 6	0.562	0.196	0.0066
Componente 7	0.065	0.207	0.7551
Componente 8	0.307	0.213	0.1567
Componente 9	0.124	0.223	0.5809
Componente 10	-0.334	0.228	0.1514

Únicamente 14 especies de la vegetación herbácea y arbustiva presentan un coeficiente de correlación mayor a 0.5 (Cuadro 11) (Apéndice 2). El valor más alto de correlación correspondió a *Ilex toluicana* (-.76) en forma negativa en el componente 2, indicando que aquellos sitios con un valor de importancia pequeño se relacionan con valores altos en este componente. Por otra parte, la especie *Stevia epatoria* presenta un coeficiente de correlación de 0.60, donde se entiende que los sitios con valores de importancia altos están relacionados de la misma forma con el valor del componente. Las relaciones de las especies y sus componentes se pueden explicar de la misma forma.

Cuadro 11. Pesos ajustados de la vegetación con sus componentes en *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Especies seleccionadas.	Peso ajustado	Componente número
<i>Arctostaphylos</i> sp.	.60	4
<i>Artemisa ludoviciana</i>	-.53	4
<i>Bromus carinatus</i>	-.51	3
<i>Verbesina montanoifolia</i>	.60	1
<i>Cestrum</i> sp	.62	5
<i>Cirsium</i> sp	.58	1
<i>Galium</i> sp	.62	5
<i>Salvia</i> sp	.54	1
<i>Ilex toluhana</i>	-.76	2
<i>Styrax ramirezii</i>	-.63	2
<i>Matricaria chamomilla</i>	.60	4
<i>Salvia mexicana</i>	-.52	3
<i>Senecio toluhensis</i>	.63	3
<i>Stevia eupatoria</i>	.66	4

En el caso de las variables del clima, fisiografía y físico- químicas del suelo, con cinco componentes fue posible explicar hasta un 60 por ciento de la variación total de los datos originales (Cuadro 12). Los cuales representan las dos primeras ondas de variación (Figura 8).

Cuadro 12. Variación explicada por cinco componentes principales para las variables del clima, fisiografía y físico- químicas del suelo en Cd. Hidalgo, Mich.

Componente Principal	Valor propio	Proporción de la varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	5.43	0.18	0.18
2	4.16	0.14	0.33
3	3.05	0.10	0.43
4	2.75	0.09	0.53
5	2.12	0.07	0.60

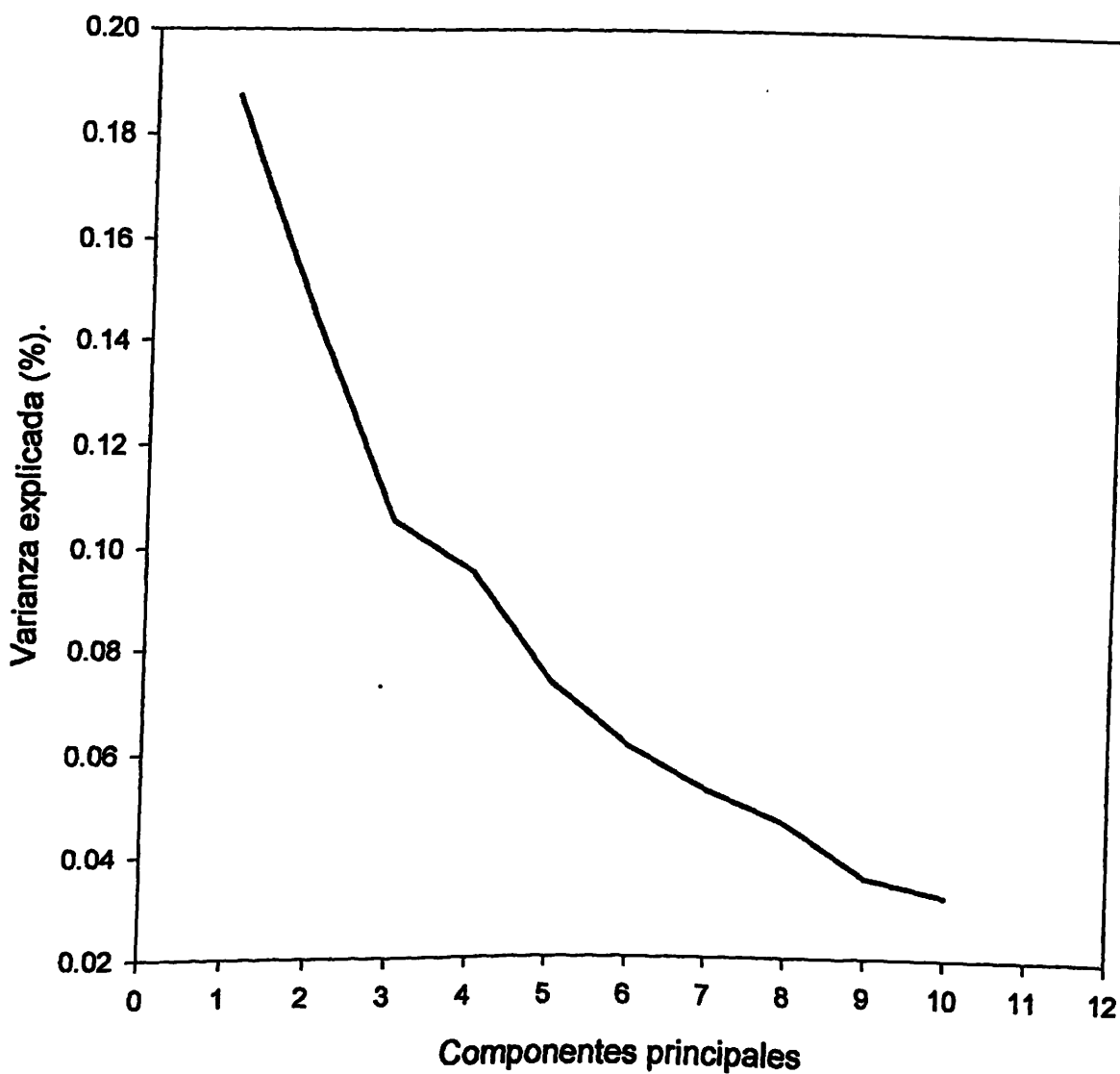


Figura 8. Varianza explicada (%) por los componentes de las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo en Cd. Hidalgo, Mich.

De acuerdo a la prueba de reducción de componentes se seleccionaron los primeros cinco componentes (Cuadro 13). Se seleccionó hasta el quinto componente ya que son altamente significativos ($P < 0.01$), y pertenecen a las dos primeras ondas de magnitud de la varianza (Figura 8).

Cuadro 13. Prueba de reducción de componentes por medio de regresión lineal para las variables del clima, fisiografía y físico-químicas del suelo en *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Variable	Parámetro estimado	Error standar	Prob> T
Intercepto	18.219	.270	0.0001
Componente 1	.374	.117	0.0026
Componente 2	.377	.133	0.0074
Componente 3	.471	.156	0.0044
Componente 4	.618	.164	0.0005
Componente 5	.999	.187	0.0001
Componente 6	-.289	.205	0.1655
Componente 7	.411	.220	0.0692
Componente 8	-.322	.235	0.1788
Componente 9	.026	.267	0.9208
Componente 10	.518	.281	0.0729

Las variables más relacionadas en cada uno de los componentes seleccionados fueron pH, Capacidad de intercambio catiónico, arena, arcilla y clase textural del horizonte B1, además de la pendiente y radiación (comp.1); itrógeno de los horizontes A1 y B1, materia orgánica de los horizontes A1 y B1 y Capacidad de intercambio catiónico del horizonte A1(comp.2); pH, arena y limo del horizonte A1 (comp.3); espesor del horizonte orgánico O1 y índice de productividad (c.v.p.) (comp.4) y profundidad total (comp.5) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Pesos ajustados o coeficientes de correlación de las variables del clima, fisiografía y físico- químicas del suelo con los primeros cinco componentes.

Variables	Componente principal.				
	1	2	3	4	5
Nitrógeno total A1	-.20	.83	-.14	-.34	.14
Nitrógeno total B1	.02	.70	.00	.47	-.35
pH A1	.43	.05	.57	.19	-.20
pH B1	.78	.08	.04	-.14	-.11
Densidad aparente A1	.20	-.45	.36	.35	-.08
Densidad aparente B1	.03	-.39	.23	-.16	.14
Materia orgánica A1	-.18	.86	-.13	-.31	.14
Materia orgánica B1	.03	.72	-.01	.47	-.32
Capacidad de intercambio cationico A1	-.49	.58	.17	-.29	.02
Capacidad de intercambio cationico B1	-.73	.14	.01	.47	.37
Espesor de O1	-.15	-.20	-.03	-.59	.07
Espesor de O2	-.38	-.10	-.22	-.19	-.19
Espesor A1	.16	.43	.26	.26	.20
Espesor B1	.48	.15	.39	-.05	.31
Arena A1	.50	.14	-.72	.14	.21
Arena B1	.78	-.03	-.26	-.24	-.28
Arcilla A1	-.43	-.40	.42	.09	-.09
Arcilla B1	-.73	-.22	.01	.23	.53
Limo A1	-.33	.17	.68	-.32	-.23
Limo B1	-.28	.39	.47	.06	-.35
Clase textural A1	.21	-.02	-.39	.32	.23
Clase textural B1	.50	.00	-.02	.25	-.19
Profundidad total	.46	.09	.34	-.06	.58
Posición topográfica	.34	.32	-.15	.24	-.01
Exposición	-.10	.33	-.29	.32	.28
Pendiente	-.53	-.10	-.25	.38	-.38
Altitud	.25	.28	.45	.36	.22
Radiación	.55	.11	.37	-.06	.39
Indice de productividad	-.53	.08	.04	.54	.16

(c.v.p.).
Los coeficientes en negrillas son las variables seleccionadas para el modelo de regresión.

Por otra parte, el componente 1 explicó el 18 por ciento de la variación total de los datos originales. Este componente está caracterizado por el pH, CIC, arena y arcilla del horizonte B1, además por la pendiente y la radiación. El peso ajustado de -0.73 que tiene la variable del contenido de arcilla del horizonte B1, en el primer componente indica que los sitios con un alto contenido de arcilla en el horizonte B1 se asocian con valores pequeños en este componente.

El peso ajustado de 0.78 del contenido de arena en este componente se interpreta que aquellos sitios con mayor contenido de arena se relaciona con valores elevados del primer componente. Las variables con signos positivos y negativos se pueden explicar en forma similar.

El segundo componente está asociado de manera principal por propiedades químicas del suelo como la materia orgánica de los horizontes A1 y B1, el nitrógeno total de los horizontes A1 y B1, la capacidad de intercambio catiónico de horizonte A1 con signo positivo. Lo que quiere decir que conforme la cantidad de estas variables aumenten, el valor del componente será mayor.

El tercer componente recoge información del horizonte A1 y está caracterizado por el pH, el limo y se relacionan negativamente con la arena del horizonte.

El cuarto componente está caracterizado por el horizonte orgánico O1 en forma negativa y el índice de productividad de Paterson modificado c.v.p. de manera positiva. Los sitios donde aumente el valor del índice de productividad estarán relacionados con un aumento en el valor del cuarto componente. Por último, el quinto componente se caracteriza por una variable física del suelo (profundidad total) en forma positiva.

Por lo tanto, se seleccionaron 12 variables físico-químicas del suelo, una variable fisiográfica y dos variables climáticas. Por otra parte, no se encontró relación gráfica entre los cinco componentes utilizados, al tratar de encontrar alguna agrupación clara entre las diferentes calidades de estación (Apéndice 3).

Modelo de regresión

Las variables del clima, fisiografía, físico- químicas del suelo y de vegetación con coeficiente de correlación o pesos ajustados iguales o mayores a 0.5 fueron utilizados para la generación del modelo funcional (Cuadro 15).

Cuadro 15. Parámetros estimados del modelo elegido para explicar las variaciones del índice de sitio de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Variable	Parámetro	Prob>F	R ²	α
Intercepto	11.302	.0001	.66	.0001
Mat. Orgánica B1	0.844	.0293		
Profundidad total	1.130	.0004		
Pendiente	-1.421	.0001		
Índice de productividad (C.V.P.)	0.825	.0032		

El resultado del análisis de regresión paso a paso se presenta en la siguiente ecuación:

$$Y = 11.302 + 0.84436377x_1 + 1.13018022x_2 - 1.42165931x_3 + 0.82547133x_4$$

Donde:

Y = Índice sitio

X₁ = Materia orgánica del horizonte B1.

X₂ = Profundidad total

X₃ = Pendiente.

X₄ = Índice de productividad de Paterson (c.v.p.)

La ecuación presentada explica el 66 por ciento de la variación del índice de sitio de *Pinus montezumae* por medio de tres factores del suelo y un climático. En el caso de las especies de la vegetación herbácea y arbustiva no resultaron tener asociación con el índice de sitio.

Por otra parte, el contenido de materia orgánica en el horizonte B1 tiene un efecto positivo sobre el índice de sitio lo que se traduce que en un mayor contenido de materia orgánica en este horizonte el índice de sitio es alto. Puede explicarse que al existir más acumulación de materia orgánica (humus) en este horizonte existe una mayor disponibilidad de nutrientes para las raíces de los árboles. De igual forma se mejoran las condiciones de humedad del suelo, teniendo mayor disponibilidad de agua (Figura 9A).

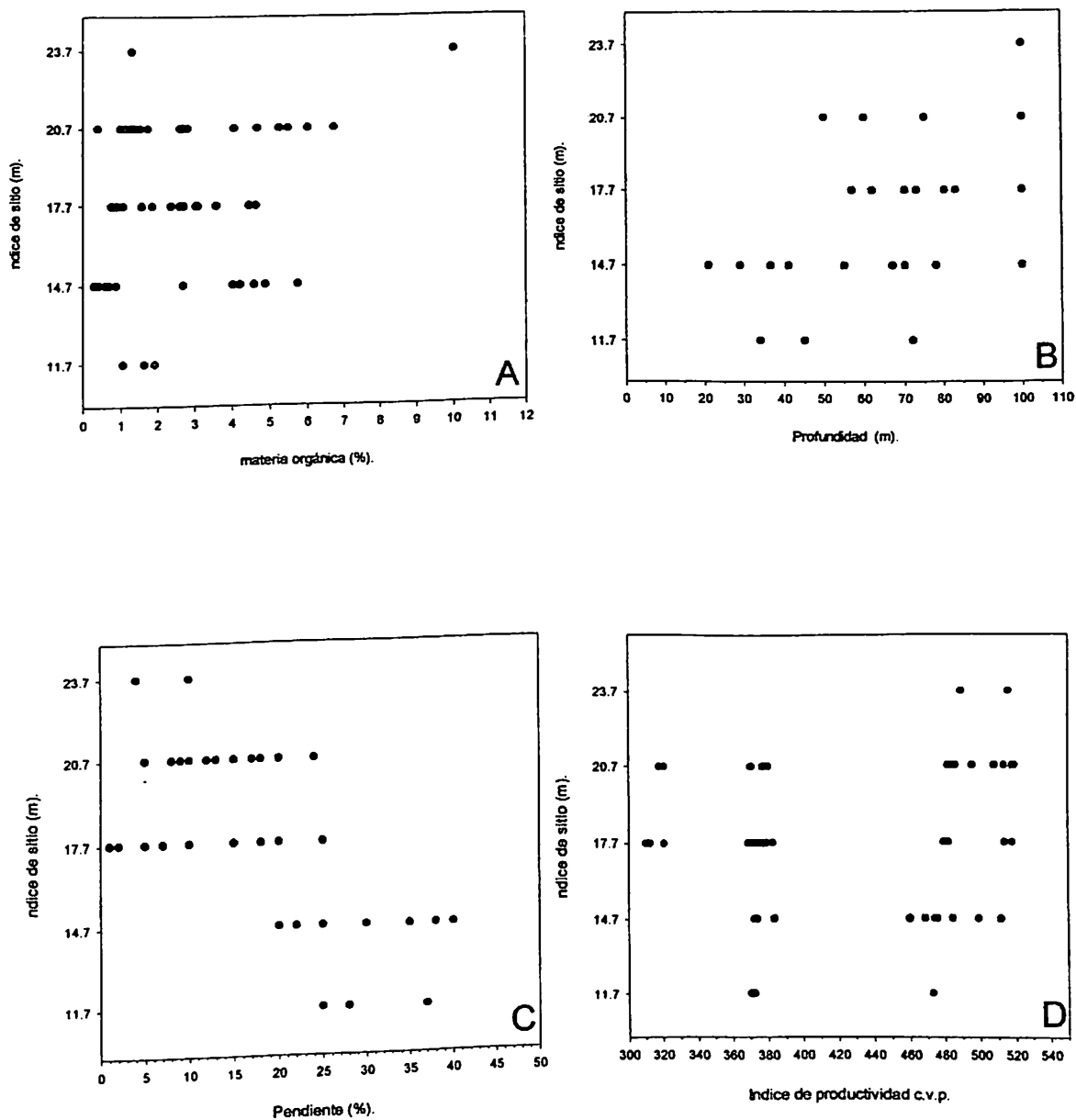


Figura 9. Diagramas de dispersión de las variables asociadas al índice de sitio de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Por su parte, Mader (1976) encontró que en los sitios donde mejor se desarrolla el *Pinus strobus* L. en Massachussets, Estados Unidos, tienen mayor cantidad de materia orgánica en el horizonte B1, esto indica una favorable disponibilidad de nitrógeno para *Pinus strobus* en esa región.

Castellanos *et al.* (2000) mencionan que la materia orgánica es una importante fuente de azufre y fósforo y esencialmente la única fuente de nitrógeno. Además, la materia orgánica realiza varias funciones importantes en el suelo como mejorar la estructura del suelo, aumentar la porosidad y la capacidad de retención de humedad, así como la ventilación del mismo.

La profundidad total contribuye de manera positiva en el modelo para predecir el índice de sitio (Figura 9B). Se puede explicar que en lugares con mayor desarrollo edafogenético tienen mejores condiciones de crecimiento para los árboles. Esta condición puede orientar al forestal al momento de decidir el ciclo de corta de los aprovechamientos forestales, en lugares con suelos someros o delgados el crecimiento será más lento y limitado. Dado que el crecimiento de los árboles está influenciado por el volumen del suelo que puedan explorar las raíces (Pritchet, 1986).

Clifford y Van Deusen (1960) encontraron una relación entre la profundidad del suelo por arriba del horizonte C con el índice de sitio de *Pinus ponderosa* Laws. al Sur de Dakota y Wyoming en los Estados Unidos. El modelo generado explicó el 67 por ciento de la variación del índice de sitio.

En México, Castaños (1962) encontró una relación lineal de la profundidad total del suelo con el índice de sitio, siendo este factor el más importante para predecir la altura de *Pinus patula* Schl. et Cham. en Oaxaca, con un coeficiente de correlación múltiple de 0.72.

Gómez Tagle (1993) menciona que los factores mas limitantes del desarrollo de las coníferas en la barranca del Cupatitzio, Michoacán son la profundidad del suelo y la pendiente. Por otra parte, Waring y Schlesinger (1985) mencionan que las diferencias locales en la profundidad del suelo y la pendiente son causas restrictivas de la disponibilidad de agua y nutrimentos, por lo tanto influyen en la disminución de la producción primaria.

La pendiente contribuye en forma negativa en el modelo para predecir el índice de sitio (Figura 9C). Se puede interpretar que conforme aumenta el grado de la pendiente el índice de sitio disminuye. Se puede explicar que en suelos más inclinados hay un mayor escurrimiento y por lo tanto una menor infiltración de agua. Douchaufour (1984) menciona que la topografía modifica localmente las condiciones de drenaje y desempeña un papel importante en la formación del suelo. Existiendo un contraste entre la partes altas de las laderas y las depresiones en donde existe una mayor concentración de arcilla y desarrollo edafogenético.

Gómez Tagle (1993) utilizó un modelo de regresión para predecir la altura total de cuatro especies de coníferas en el campo experimental "Barranca

del Cupatitzio" en Michoacán para las cinco geoformas existentes. La pendiente dominante y la humedad aprovechable estuvieron más relacionadas con la variación en altura ($R^2=0.91$).

El índice de productividad de Paterson modificado para este trabajo (c.v.p) tiene un efecto positivo en el índice de sitio, permitiendo suponer que conforme aumenta el índice de productividad el índice de sitio (la productividad) es mayor (Figura 9D). Se puede interpretar que en los sitios con una mayor precipitación, temperatura, radiación y período de crecimiento tiene mejores índices de sitio. Por otra parte, el índice de productividad lo componen varios factores del clima. En los sitios donde exista mayor precipitación, pero menor temperatura y período de crecimiento más corto, el índice de productividad es menor por lo tanto, el índice de sitio disminuirá. En forma general, así se comportan las variables dentro del modelo que predice el índice de sitio en este trabajo.

Por su parte, Paterson (1978) menciona que los elementos del clima que determinan la existencia y la productividad de los bosques son la precipitación, la temperatura y la luz. Estos tres elementos son los más importantes para los procesos de vida de las plantas, a partir de ellos es posible obtener un valor que estime la habilidad del crecimiento de las plantas dentro del clima de una determinada región. A su vez, reciben la influencia en gran medida por la posición geográfica, la altitud, la pendiente y la exposición. Estas características interactúan y se compensan entre sí (Young, 1991). Broadfoot (1969) concluye

que para predecir con éxito el índice de sitio se debe considerar los factores que reflejen la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo durante la estación de crecimiento, la aireación del suelo y condiciones físicas incluyendo el espacio de crecimiento de las raíces (rizósfera) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Valores promedio de las variables que predicen el índice de sitio de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.

Calidad de estación	Índice de sitio (m)	Materia orgánica del B1 (%)	Profundidad total (m)	Pendiente (%)	Índice de productividad (c.v.p.)
1	23.7	5.69	100	7	503
2	20.7	2.78	94.52	13	460
3	17.7	2.49	88.33	12	387
4	14.7	2.64	63.40	29	456
5	11.7	1.54	50.33	30	405

Las calidades de estación 1 y 2 tienen los valores más altos del índice de productividad (c.v.p.) a su vez presentan la mayor profundidad y porcentaje de materia orgánica en sus horizontes y presentan pendientes moderadas (7 y 13 por ciento). Por otra parte, el valor de índice de productividad (c.v.p.) para las calidades 4 y 5 es alto, significa que existe una mayor precipitación, temperatura, radiación y periodo de crecimiento, sin embargo no es suficiente para mejorar su calidad de estación sino que influye las propiedades físicas y químicas del suelo así como la topografía del terreno que al combinarse determinan la productividad del sitio.

Hernández y Ortiz (1988) encontraron a través de modelos matemáticos generados por regresión, la influencia de algunos factores meteorológicos y ecológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México. El mejor modelo estimado para el índice de productividad (incremento corriente anual en volumen expresado en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) explicó la variación en un 74 por ciento a través de siete factores independientes: la pendiente, el número de días con niebla, la latitud, el porcentaje de ocoteo, la humedad relativa, la precipitación media anual y máxima anual así como la temperatura máxima extrema.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados presentados en este trabajo se concluye lo siguiente.

- 1) Con el análisis de componentes principales fue posible reducir de 73 variables determinadas a 33 variables del clima, fisiografía, físico- químicas del suelo y especies de la vegetación herbácea y arbustiva. Por lo que, el análisis de componentes principales es una herramienta útil y relativamente fácil de realizar.
- 2) Para las variables del clima, fisiografía y físico- químicas del suelo, cinco componentes principales explicaron el 60 por ciento de la variación total de los datos. El pH, la capacidad de intercambio catiónico, la arena y arcilla del horizonte B1 del suelo, así como la pendiente y la radiación son las variables de mayor peso en el componente uno el cual explica el 18 por ciento de la variación total.
- 3) En cinco componentes se explicó el 35 por ciento de la variación del valor de importancia de las especies de la vegetación muestreada. Doce especies caracterizan el total de la varianza con valores de correlación mayores al 0.5.
- 4) Mediante el modelo de regresión se obtuvo un modelo que explica el 66 por ciento de la variación del índice de sitio de *Pinus montezuame*.

- 5) Con el procedimiento de discriminación de variables paso a paso se seleccionó el modelo funcional mas apropiado. El modelo incluyó factores del sitio como : la profundidad del suelo, el contenido de materia orgánica, la pendiente y el índice de productividad (c.v.p.).
- 6) Determinar el índice de sitio con factores como el relieve, propiedades físicas y químicas del suelo, así como con la precipitación y temperatura dan una perspectiva más amplia de cómo afectan a la productividad en los sitios de calidad de estación alta, por otro lado, permiten identificar el factor limitante dentro de un sitio.
- 7) Mediante los resultados de este trabajo se pueden identificar las áreas con mayor potencial para los aprovechamientos y plantaciones forestales de *Pinus montezumae* en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

Recomendaciones

- 1) En posteriores trabajos se recomienda aumentar el número de observaciones, esto es, el número de sitios de vegetación y perfiles de suelo de donde se obtendrán las variables físico-químicas del suelo.
- 2) Se recomienda determinar las temperaturas, precipitación, radiación, por medio de instrumentos adecuados para ello y en el sitio donde se realiza el estudio.
- 3) Se recomienda el uso de otras técnicas de análisis multivariado, como relaciones canónicas.
- 4) Para aumentar la variación explicada por el modelo presentado en este trabajo se recomienda obtener información relacionada con la disponibilidad de agua en el suelo y el drenaje del mismo, la concentración de macro y micro nutrientes, así como la actividad microbiana en el suelo como la presencia de hongos y bacterias fijadoras de nitrógeno.
- 5) Se recomienda el uso de los resultados de este trabajo para la planificación de plantaciones forestales con la finalidad de obtener mejores resultados. seleccionar los lugares con menor pendiente, mayor profundidad del suelo, contenido de materia orgánica del B1 y mayores índices de productividad

(c.v.p.). Se pueden utilizar las cartas generadas por INEGI (edafológica y topográfica) así como la información de las estaciones meteorológicas.

Literatura citada

- Arteaga, M. B, J. D Etchevers. y H.V Volke. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. *Agrociencia*. 72. 121-131
- Buffo, J.P. L. J. Fritschen. y J.L. Murphy. 1972. Direct solar radiation on various slopes from 0 to 60 degrees north latitude. USDA. For. Serv. Res. Rep. PNW. Oregon, U.S.A. 74 p.
- Broadfoot, W. M. 1969. Problems in relating soil to site index for southern hardwoods. *For. Sci.* 15 (4): 354-364 .
- Campos A., J.J. 1990. Asociación del índice de sitio con variables ambientales. En: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunion IUFRO. Centro Agronómico tropical de Investigación y enseñanza, CATIE. Guatemala. pp 367-386.
- Carmean, W. H. 1975. Forest site quality evaluation in the United State. *Adv. Agrin.* 27: 209-269.
- Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el Norte de Oaxaca, México. *Bol. Tec. INIF. México.* No 2. 32 p.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A Aguilar-Santelesis. 2000. Memoria del Curso sobre Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. Jalisco, México. 188 p.
- Cox, W. G. 1972. Laboratory manual of general ecology. Biology series. Tulane University. U.S.A. 195 p.
- Clifford A., M. y J Van Deusen L.. 1960. Site index of ponderosa pine in the Black Hills from Soil and Topography. *Journal of Forestry.* 58 (7): 348-555

- CETENAL.1977a. Carta Edafológica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977b. Carta Edafológica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977c. Carta Edafológica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977d. Carta Topográfica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977e. Carta Topográfica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977f. Carta Topográfica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.
- CONAGUA. 1999. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Michoacán. Distrito de riego 045 "Tuxpan". Unidad "Hidalgo"
- DETENAL. 1979a. Carta Geológica E14A24 Tzitzio. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979b. Carta Geológica E14A15 Maravatío. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979c. Carta Geológica E14A25 Cd Hidalgo. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- Dillon W. R., y Goldskin M. 1984. Multivariate Analysis: Methods and Applications. New York. 587 p.
- Díaz S., H. 1992. Aplicación de técnicas multivariadas en el análisis de datos biológicos. UAAAN. Departamento de Recursos Naturales. Inédito. Saltillo, Coah. México. 67 p.

- Douchaufour, P. 1984 . Edafología. 1. Edafogénesis y Clasificación. Versión española. Barcelona, España. 493 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- García, E. 1986. Apuntes de climatología. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 155 p.
- Gómez, G., A. 1989. Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con los índices de sitio y de terreno de dos coníferas. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría. Montecillo, México. 113 p.
- Gómez Tagle R., A. 1993. Levantamiento de suelos del campo experimental forestal "Barranca de cupatitzio", y su relación con la vegetación de coníferas. SARH. INIF. Boletín técnico No. 11. México. 72 p.
- González C., G. 1994. Evaluación de la compactación del suelo en una huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en la Comarca Lagunera. Tesis de Maestría en Ciencias. U.A.A.A.N. Buenavista , Saltillo, Coah. México. 109 p.
- Hernández, A. T y C. A. Ortiz. S. 1988. Estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México. Agrociencia. 72: 229-244.
- Hernández R., P. 1992. Análisis de la vegetación y suelo en el rancho "Los Angeles" mediante dos técnicas de ordenación. UAAAN. Tesis Maestría en Ciencias. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 95 p.
- Kaufman, M. R. 1982. Evaluation of season, temperature, and water stress effects on stomata using a leaf conductance model. Plant Physiol 6: 1023-1026.

- Martinez, M. E., C. G Ibarra., V. A. Hernández, y F. Lorea-Hernandez. 1987. Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región de los Azufres, Michoacán. Revista Trace. No. 12: 22-37.
- Mader, D. L. 1976. Soil-site Productivity for Natural Stands of White Pine In Massachusetts. Soil Sci. Soc. Am. J., (40):112-115
- Paterson, S. S. 1978. The forest area of the world and its potential productivity. Benchmark papers in ecology (8) Pennsylvania, U.S.A. 240-247 p.
- Pla E., L. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. Departamento de Producción vegetal. Area de ciencias del Agro y del mar. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Falcón, Venezuela. 93 p.
- Pritchett W. L. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México. 634 p.
- Ramírez D., L. 1972 Aplicación de técnicas de ordenación: al análisis de componentes principales. Departamento de Ecología, Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 30 p.
- Rodríguez F., C., H. Ramírez M., G. Zarate L., A. Fierros G. y C. A. Ortiz S. 1988. Determinación de la calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el campo experimental San Juan Tetla, Puebla. Agociencia. 72: 87-94.
- Rodríguez Del A., J. M. 1995. Transformación de datos experimentales. Departamento de Estadística y Calculo. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 40 p.

- Martinez, M. E., C. G Ibarra., V. A. Hernández, y F. Lorea-Hernandez. 1987. Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región de los Azufres, Michoacán. *Revista Trace*. No. 12: 22-37.
- Mader, D. L. 1976. Soil-site Productivity for Natural Stands of White Pine In Massachusetts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, (40):112-115
- Paterson, S. S. 1978. The forest area of the world and its potential productivity. *Benchmark papers in ecology* (8) Pennsylvania, U.S.A. 240-247 p.
- Pla E., L. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. Departamento de Producción vegetal. Area de ciencias del Agro y del mar. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Falcón, Venezuela. 93 p.
- Pritchett W. L. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México. 634 p.
- Ramírez D., L. 1972 Aplicación de técnicas de ordenación: al análisis de componentes principales. Departamento de Ecología, Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 30 p.
- Rodríguez F., C., H. Ramírez M., G. Zarate L., A. Fierros G. y C. A. Ortiz S. 1988. Determinación de la calidad de estación de *Pinus montezumae* Lamb., a través de análisis troncales en el campo experimental San Juan Tetla, Puebla. *Agociencia*. 72: 87-94.
- Rodríguez Del A., J. M. 1995. Transformación de datos experimentales. Departamento de Estadística y Calculo. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 40 p.

- S.A.S. (Statistical Analysis System). 1996. Multivariate Statistical Methods. Practical Applications. Course notes. U.S.A. 639 p.
- Siebe C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de los suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación especial (4). Chapingo, México. 57 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. A.G.T Editor. México. 690 p.
- Valencia C., C. N. 1995. Impactos ecológicos en las zonas boscosas de Chihuahua a través de simulación. Disertación doctoral. UACH. Chihuahua, México. 210 p.
- Walker, H.B. y F. C Wehrhahn. 1971. Relationships between derived vegetation gradients and measured environmental variables in Saskatchewan Wetlands. Ecology. 52 (1):85-89.
- Waring, R.H., W.H. Schlesinger. 1985. Forest Ecosystems. Concepts and Management. Academic Press. U.S.A 340 p.
- Young, R. A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Limusa. México. 545 p.

DISCUSIÓN GENERAL

El efecto de la resinación en el crecimiento en altura de *Pinus montezumae*, no representó una diferencia significativa en el crecimiento en altura. Se atribuye a que los árboles resinados que se utilizaron para el análisis troncal fueron más altos por efecto de la edad (árboles más viejos) que los árboles no resinados (árboles más jóvenes). González (1992) encontró resultados similares al evaluar el efecto de la resinación en el incremento en altura de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, México. Los resultados se debieron a que los árboles muestreados fueron árboles que ya habían culminado su crecimiento en altura (árboles viejos).

Para determinar el índice de sitio con base a la curva de crecimiento en altura el modelo de Chapman-Richards presentó el mejor ajuste ($R^2=0.87$; C.M.E.=17.17) en comparación con el modelo de Gompertz ($R^2=0.87$; C.M.E.=17.08) y Schumacher ($R^2=0.86$; C.M.E.=17.97). El modelo de Chapman-Richards representó mejor la dispersión de los datos al no subestimar y sobreestimar la altura. Con dicho modelo se obtuvieron cinco calidades de estación a una edad base de 25 años.

Por otra parte, cuando se realizó el análisis de la vegetación del sotobosque, se encontró que cinco componentes principales explicaron el 36

el segundo el 14 por ciento y tercero 10 por ciento de la variación total. El primer componente está representado por características físico-químicas del horizonte B1 del suelo. Lo que indica que las propiedades de este horizonte son de importancia para el crecimiento del *Pinus montezumae*. Mader (1976) y Campos (1990) mencionan que el mayor número de raíces que nutren al árbol se encuentran en el horizonte B1 y a su vez está relacionado con un buen desarrollo de los árboles.

Los componentes dos y tres están caracterizados por las propiedades físico-químicas del horizonte A1, principalmente con las que tienen que ver con la nutrición del árbol (materia orgánica y nitrógeno) y disponibilidad de nutrientes (pH y capacidad de intercambio catiónico). Lo que indica que si no existe disposición de nutrientes en el horizonte A1 la cantidad de nutrientes en el horizonte B1 será menor.

El cuarto componente lo caracteriza el espesor del horizonte orgánico O₂, destacando la importancia que tiene la incorporación de materia orgánica hacia los horizontes minerales como fuente de nutrientes. En este mismo componente el índice de productividad (c.v.p.) es un buen indicador. La importancia de la cantidad de lluvia, como se distribuye a lo largo del año y la temperatura óptima del crecimiento vegetativo, juega un papel predominante para el desarrollo de la especie.

Por último, en el quinto componente se representa la profundidad del suelo. Esta variable está relacionada con la cantidad de suelo disponible que las raíces pueden explorar para obtener agua y nutrientes para el árbol. Gómez Tagle (1993) señala que la profundidad del suelo es una de los factores limitantes para el desarrollo de las coníferas en Michoacán.

CONCLUSIONES GENERALES

- 1) El modelo de Chapman-Richards se ajustó de forma más adecuada a la curva de crecimiento de altura de *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.
- 2) Se ajustaron cinco curvas de índice de sitio y se generaron cinco calidades de estación.
- 3) El método de la curva guía es práctico y relativamente fácil.
- 4) Con la metodología de los análisis troncales se genera información útil, no únicamente para los índices de sitios, sino para la obtención de otras variables como el incremento en diámetro, la relación edad-diámetro e incremento en volumen.
- 5) Con los índices de sitio generados se pueden clasificar las áreas forestales en donde se distribuye *Pinus montezumae* en Cd. Hidalgo, Mich.
- 6) Para el tratamiento de una gran cantidad de variables, el análisis de componentes principales resultó una herramienta estadística útil y práctica para sintetizar los resultados.

7) Al utilizar únicamente las variables de mayor peso de los componentes seleccionados en el análisis de regresión múltiple, permitió conocer las variables del clima, fisiografía y físico- químicas del suelo que tienen mayor efecto en la productividad de los sitios estudiados.

8) En el análisis de regresión múltiple ninguna especie de la vegetación del sotobosque resultó estar asociada con la productividad de los bosques de *Pinus montezumae* de Cd. Hidalgo, Mich.

LITERATURA CITADA

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. FAO. Roma, Italia. Vol. 2. 177 p.
- Arellano A., R., J. de D. Benavides S., E. Talavera Z. 1990. Estudio sobre plantas indicadoras de calidad de estación en la Sierra de Tapalpa, Jalisco. Rev. Ciencia Forestal en México. Num. 67. (15): pp 11.
- Arteaga, M. B, J. D Etchevers. y H.V Volke. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. et. Cham., en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Agrociencia. 72. 121-131
- Buffo, J.P. L. J. Fritschen. y J.L. Murphy. 1972. Direct solar radiation on various slopes from 0 to 60 degrees north latitude. USDA. For. Serv. Res. Rap. PNW. Oregon, U.S.A. 74 p.
- Bojorges S, J. A., H. Ramírez M. y A. M. Fierros, G. 1991. Índice de sitio para oyamel en Zoquiapan, México. Revista Chapingo. XV (75): 158-161.
- Broadfoot, W. M. 1969. Problems in relating soil to site index for southern hardwoods. For. Sci. 15 (4): 354-364 .
- Campos A., J.J. 1990. Asociación del índice de sitio con variables ambientales. En: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunion IUFRO. Centro Agronómico tropical de Investigación y enseñanza, CATIE. Guatemala. pp 367-386.
- Carmean, W. H. 1975. Forest site quality evaluation in the United State. Adv. Agrin. 27: 209-269.
- Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el Norte de Oaxaca, México. Bol. Tec. INIF. México. No 2. 32 p.

- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A Aguilar-Santelesis. 2000. Memoria del Curso sobre Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. Jalisco, México. 188 p.
- CETENAL.1977a. Carta Edafológica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977b. Carta Edafológica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977c. Carta Edafológica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977d. Carta Topográfica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977e. Carta Topográfica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL.1977f. Carta Topográfica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.
- Clifford A., M. y J Van Deusen L.. 1960. Site index of ponderosa pine in the Black Hills from Soil and Topography. *Journal of Forestry*. 58 (7): 348-555
- Clutter, J. L., J. C., Forston, L. V., Pienar y G. H. Brister. 1983. *Timber Management: a quantitative approach*. Wiley & Son Co. New York. 410 p.
- Corral, S., J. Navarro y F. Fernández. 1999. Índices de sitio para cinco pináceas de la región de El Salto, Durango, México. En: *Resúmenes : IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales*. Durango Dgo. pp 72.
- Cox, W. G. 1972. *Laboratory manual of general ecology*. Biology series. Tulane University. U.S.A. 195 p.
- CONAGUA. 1999. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Michoacán. Distrito de riego 045 "Tuxpan". Unidad "Hidalgo".

- Cruz de L., J. 1999. El ancho de los anillos de crecimiento como indicador de la calidad de la madera de *Pinus pringlei* Shaw. en Villa Madero, Michoacán. Resumen: IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Durango Dgo. pp 110-111 .
- Curtis, R. O. 1964. A stem-analysis approach to site-index curves. *Forest Science*. 16:403-414.
- Daniel T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Mc Graw – Hill. México. 462 p.
- DETENAL. 1979a. Carta Geológica E14A24 Tzitzio. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979b. Carta Geológica E14A15 Maravatío. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979c. Carta Geológica E14A25 Cd Hidalgo. Esc. 1:50,000. SPP. México.
- Dillon W. R., y Goldskin M. 1984. *Multivariate Analysis: Methods and Applications*. New York. 587 p.
- Díaz S., H. 1992. Aplicación de técnicas multivariadas en el análisis de datos biológicos. UAAAN. Departamento de Recursos Naturales. Inédito. Saltillo, Coah. México. 67 p.
- Douchaufour, P. 1984 . *Edafología. 1. Edafogénesis y Clasificación*. Versión española. Barcelona, España. 493 p.
- Fierros, A. y H. Ramírez. 1990. Índice de sitio para *Pinus caribea* var. *hondurensis* en La sabana, Oaxaca, México. En: manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunion IUFRO. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Guatemala: 459-471.

- Franco A., R. C. 1997. Tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 104 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- García, E. 1986. Apuntes de climatología. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 155 p.
- Gómez, G., A. 1989. Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con los índices de sitio y de terreno de dos coníferas. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría. Montecillo, México. 113 p.
- Gómez Tagle R., A. 1993. Levantamiento de suelos del campo experimental forestal "Barranca de cupatitzio", y su relación con la vegetación de coníferas. SARH. INIF. Boletín técnico No. 11. México. 72 p.
- González G., H. J. 1988. Determinación de calidades de estación para *P. arizonica* Engelm. y *P. durangensis* Martinez en el área Experimental Forestal Madera, Chihuahua. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. 70 p.
- González B., F. 1992. Efecto de la resinación en el incremento diamétrico de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, México. Tesis Profesional. UACH. Chapingo, México. 59p.
- González C., G. 1994. Evaluación de la compactación del suelo en una huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en la Comarca Lagunera. Tesis de Maestría en Ciencias. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 109 p.
- Hangglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry*. 42 (11):515-527.

- Hawley, R. C. y D. M. Smith. 1972. Silvicultura práctica. Omega. España. 544 p.
- Hernández, A. T y C. A. Ortiz. S. 1988. Estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México. *Agrociencia*. 72: 229-244.
- Hernández R., P. 1992. Análisis de la vegetación y suelo en el rancho "Los Angeles" mediante dos técnicas de ordenación. UAAAN. Tesis Maestría en Ciencias. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 95 p.
- Kaufman, M. R. 1982. Evaluation of season, temperature, and water stress effects on stomata using a leaf conductance model. *Plant Physiol* 6: 1023-1026.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. E.N.A. UACH. México. 365 p.
- Mader, D. L. 1976. Soil-site Productivity for Natural Stands of White Pine In Massachusetts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, (40):112-115
- Mas P., J. y A. Prado. 1981. Comparación del método de resinación de pica de corteza con estimulantes contra el método francés. *INIF. Bol. Tec.* No. 35. 47.
- Martínez, M. E., C. G Ibarra., V. A. Hernández, y F. Lorea-Hernandez. 1987. Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región de los Azufres, Michoacán. *Revista Trace*. No. 12: 22-37.
- McNab, W.H. 1989. Terrain shape index: quantifying effect of minor landforms on Tree height. *Forest Science*. 35 (1): 91-94.
- McNab, W.H. 1993. A topographic index quant the effect of mesoscale landform on site productivity. *Canadian Journal of Forest Research*. 23:1100-1107.

- Rodríguez Del A., J. M. 1995. Transformación de datos experimentales. Departamento de Estadística y Calculo. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 40 p.
- Salmon, M. J. y C. E. Flores. 1991. Influencia de la precipitación invernal en el crecimiento en altura de pinos del grupo ponderosa de Chihuahua. Revista Chapingo. (75):106-110.
- Siebe C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de los suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación especial (4). Chapingo, México. 57 p.
- Sit, V. y Poulin-Costello, M. 1994. Catalog of curves for curve fitting. Biometrics Information Handbook Series. Ministry of Forests. No. 4. Victoria, B. C. Canada. 110 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. A.G.T Editor. México. 690 p.
- S.A.S. (Statistical Analysis System). 1996. Multivariate Statistical Methods. Practical Applications. Course notes. U.S.A. 639 p.
- Stiff, C.T., D. N. Perez, y F. D. Jhonson. 1989. Site index and height growth curves for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras. Turrialba. 39(2):247-253.
- Ucodefo-2. (Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No 2). 1994. Organización de la Unidad Ciclo 1994-1995. Cd. Hidalgo, Michoacán. 21 p.
- Valencia C., C. N. 1995. Impactos ecológicos en las zonas boscosas de Chihuahua a través de simulación. Disertación doctoral. UACH. Chihuahua, México. 210 p.
- Walker, H.B. y F. C Wehrhahn. 1971. Relationships between derived vegetation gradiends and measured environmental variables in Saskatchewan Wetlands. Ecology. 52 (1):85-89.

Waring, R.H. y W.H. Schlesinger. 1985. Forest Ecosystems. Concepts and Management. Academic Press. U.S.A 340 p.

Young, R. A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Limusa. México. 545 p.

Zepeda B., E. M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: Ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal. 9 (51): 3-38.

BANCO DE TESIS

12554

APÉNDICE

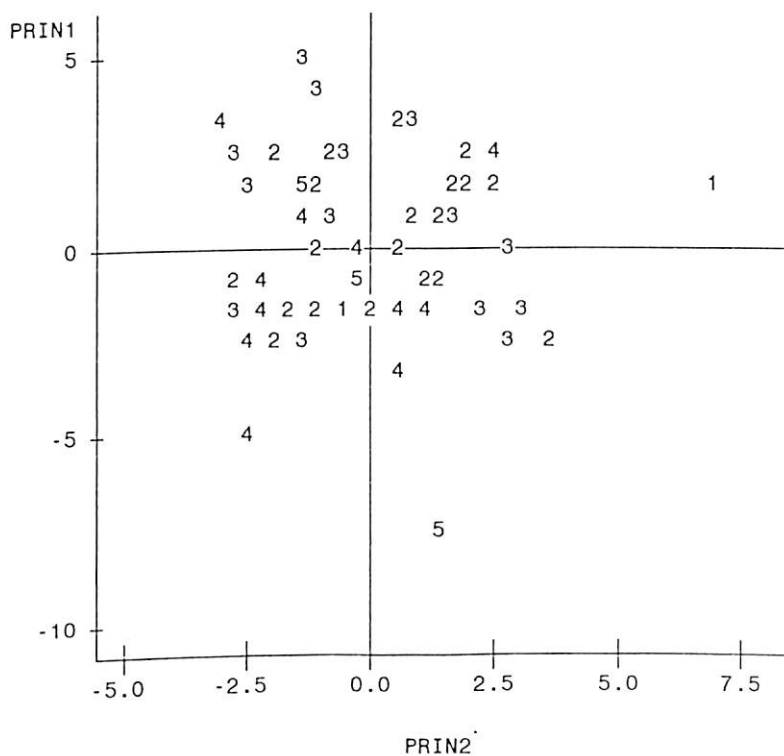
Cuadro A.1 Prueba de t-Student por categoría. de edad para el incremento en altura de árboles resinados y no resinados

Edad (años)	ICA (m)		IMA(m)	
	No resinado	resinado	No resinado	resinado
2	0.5718	0.6170	0.2158	0.2120
	P=0.7516		P=0.9567	
10	0.7811	0.9806	0.5080	0.5562
	P= .0295		P=0.2339	
20	0.8192	0.8497	0.5927	0.6699
	P= .0.7513		P=0.0409	
30	0.8586	0.9098	0.6204	0.7014
	P= 0.5967		P=0.0086	
40	0.6049	0.5383	0.6304	0.7014
	P= 0.4066		P=0.1939	
50	0.3563	0.3221	0.6006	0.6186
	P= 0.6664		P=0.4645	
60	0.1906	0.3707	0.5327	0.5459
	P= 0.0908		P=0.6498	
70	0.0304	0.1423	0.4267	0.5211
	P= 0.1422		P =0.0951	

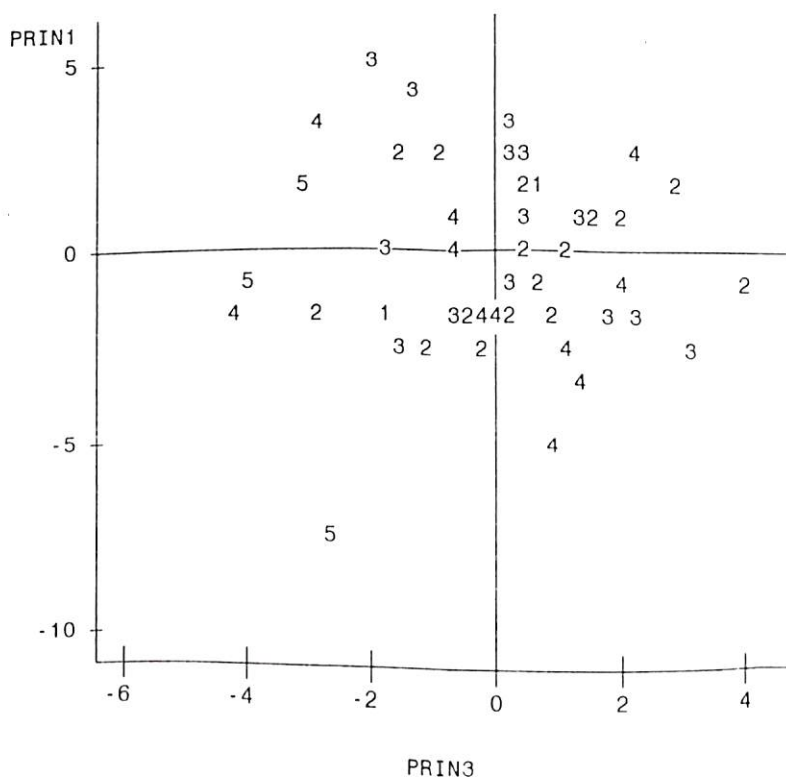
P = Probabilidad

Figura A.1 Relación de los primeros cinco componentes con la calidad de estación.

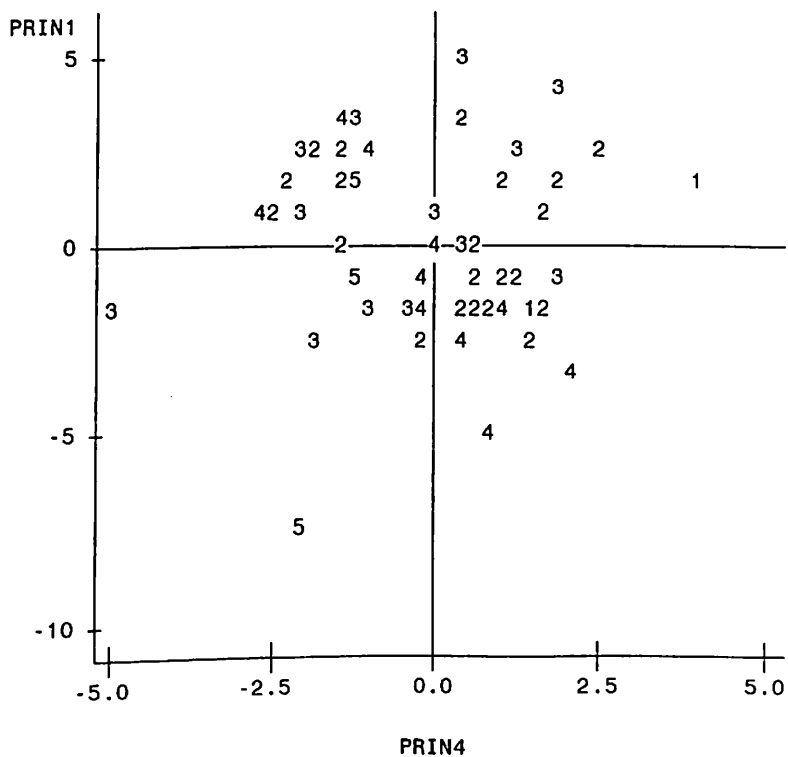
Plot of PRIN1*PRIN2. el símbolo es el valor de calidad de estación..



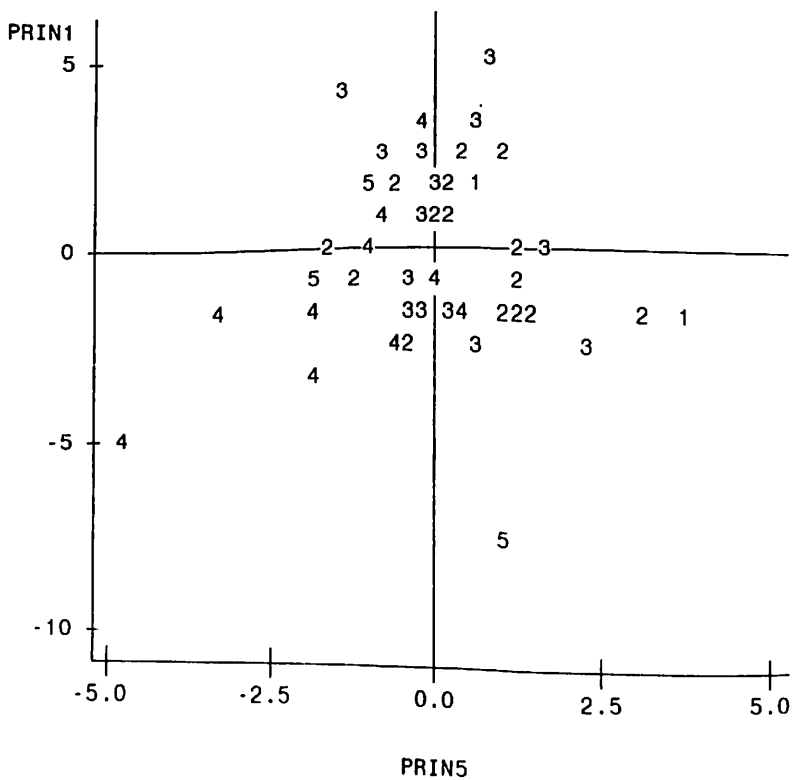
Plot of PRIN1*PRIN3 el símbolo es el valor de calidad de estación.



lot of PRIN1*PRIN4. el símbolo es el valor de calidad de estación.



Plot of PRIN1*PRIN5. el símbolo es el valor de calidad de estación.



Programa 1. Curva guía, modelo de Chapman-Richards y curvas de índices de sitio.

```

options ps=60 ls=80 pageno=1;
data model;
infile'c:\sas\ruben\dat.modeis.ant.sas';
input local arbol condi alt nanillos edad;
*proc print;

*PROC NLIN DATA=MODEL;
*PARAMETER A=8 B=0.1 TO 0.6 BY 0.1 C=1;
*X=EDAD;
*Y=ALT;
*EBX= EXP(-B*X);
*EBX1=1-EBX;
*EBXC=(EBX1)**C;
*MODEL Y=A*EBXC;
*DER.A=EBXC;
*DER.B=A*X*C*EBX*EBX1**(C-1);
*DER.C=A*EBXC*LOG(EBX1);
*OUTPUT OUT=PLOTDATA P=PALT R=RALT STDP=ESALT;
*PROC PLOT DATA=PLOTDATA;
*PLOT RALT*EDAD / VREF=0 HPOS=60 VPOS=40;
*PROC PLOT DATA=PLOTDATA;
*PLOT ALT*EDAD='O' PALT*EDAD='P' / HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
*PROC SORT;
*BY ALT EDAD;
*PROC PRINT;
*VAR ALT EDAD PALT RALT ESALT;
*RUN;

*DATA CGUIA;
*INFILE'C:\SAS\RUBEN\DAT.INDICES.SAS';
*INPUT EDAD;
*ALT=36.316815*(((1-EXP(-0.050411*EDAD)))**(2.148285));
*X1=(-0.050411*EDAD);
*X2=EXP(X1);
*X3=1-X2;
*X4=X3**(2.148285);
*ALT=36.316815*X4;
*PROC PRINT;
*PROC PLOT DATA=CGUIA;
*PLOT ALT*EDAD='*' / HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
*RUN;

```

```

*DATA FAMCUR5;
*INFILE'C:\SAS\RUBEN\DAT.INDICES.SAS';
*INPUT EDAD;
*B0=36.316815; B1=0.050411; B2=2.148285;
*IS11=11.74;
*IS14=14.74;
*GUIA=17.74;
*IS20=20.74;
*IS23=23.74;
*HEST=((1-EXP(-B1*25))/(1-EXP(-B1*EDAD)))**B2;
*H11=IS11*HEST;
*H14=IS14*HEST;
*G=GUIA*HEST;
*H20=IS20*HEST;
*H23=IS23*HEST;
*PROC PRINT;
*VAR EDAD H11 H14 G H20 H23;
*PROC PLOT;
*PLOT H11*EDAD='A' H14*EDAD='B' G*EDAD='P' H20*EDAD='C'
H23*EDAD='D'/HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
*RUN;

```

```

*DATA FAMCUR3;
*INFILE'C:\SAS\RUBEN\DAT.INDICES.SAS';
*INPUT EDAD;
*B0=36.316815; B1=0.050411; B2=2.148285;
*IS11=11.74;
*GUIA=17.74;
*IS23=23.74;
*HEST=((1-EXP(-B1*25))/(1-EXP(-B1*EDAD)))**B2;
*H11=IS11*HEST;
*G=GUIA*HEST;
*H23=IS23*HEST;
*PROC PRINT;
*VAR EDAD H11 G H23;
*PROC PLOT;
*PLOT H11*EDAD='A' G*EDAD='P' H23*EDAD='C'/HPOS=60 VPOS=40
OVERLAY;
*RUN;

```

Programa 2. Análisis de componentes principales para las variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación.

```
options ps=60 ls=120 pageno=1;
data data a1;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\var-suelo1.sas';
input loc sitio ce is grA1 grB1 phA1 phB1 daA1 daB1 moA1 moB1
arenaA1 arenaB1 arciA1 arciB1 limoA1 limoB1
ctexA1 ctexB1 ntotA1 ntotB1 cicA1;
```

```
data a2;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\var-suelo2.sas';
input loc sitio ce is cicB1 pftotal postop expo pend
altitud ho1 ho2 drB1 poroB1 cvp rad;
```

```
data total;
merge a1 a2;
*proc print;
*run;
```

```
proc princomp data=total n=10 out=hola ;
title 'analisis de componenetes principales';
var grA1 grB1 phA1 phB1 daA1 daB1 moA1 moB1
arenaA1 arenaB1 arciA1 arciB1 limoA1 limoB1
ctexA1 ctexB1 ntotA1 ntotB1 cicA1 cicB1 pftotal
postop expo pend altitud ho1 ho2 cvp rad;
run;
```

```
proc plot data=hola;
plot prin1*prin2=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
plot prin1*prin3=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
plot prin1*prin4=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
plot prin1*prin5=ce /vref=0 href=0 Hpos=50 vpos=20;
run;
```

Programa 3. Análisis de componentes principales para la vegetación herbácea y arbustiva.

```

options ps=60 ls=120 pageno=1;
data data a1;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\vimp-sit-transf1.sas';
input loc sitio ce is ag ae asp aa al asesp
bp bidens bc cap cestrum cisp como
cramex cha che dendro eche erysp eupa ga
hz hp hq hiera;

data data a2;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\vimp-sit-transf2.sas';
input loc sitio ce is it iso lope lupi sty maz mum
ox pecam phyto pipto pleaq poly que ru saleel
salmex salsp sencro sensp seto sove spo
ste stesp;

data total;
merge a1 a2;
*proc print;
*run;

proc princomp data=total n=10 out=hola noprint;
var ag ae asp aa al asesp
bp bc cap cestrum cisp
como cramex cha che dendro
erysp eupa ga hz hp hq
it iso lope lupi sty maz mum
pecam pipto pleaq poly
que ru saleel salmsp
sensp seto sove spo ste stesp;
run;

proc plot data=hola;
plot prin1*prin2=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
plot prin1*prin3=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
plot prin1*prin4=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
plot prin1*prin5=ce /vref=0 href=0 hpos=50 vpos=20;
run;

```

Programa 4. Regresión múltiple para determinar las variables mejor relacionadas con el índice de sitio.

```
ptions ps=60 ls=120 pageno=1;
data data a1;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\var-suelo1.sas';
input loc sitio ce is grA1 grB1 phA1 phB1 daA1 daB1 moA1 moB1
arenaA1 arenaB1 arciA1 arciB1 limoA1 limoB1
ctexA1 ctexB1 ntotA1 ntotB1 cicA1;
```

```
data a2;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\var-suelo-sitio-ambientales.sas';
input loc sitio ce is cicB1 pftotal postop expo pend
altitud ho1 ho2 drB1 poroB1 cvp rad;
```

```
data a3;
infile 'c:\franco\ana-stadistico\especies-elegidas.sas';
input loc sitio ce is asp al bc cap
cestrum cisp ga hp it mam maz salmex ste seto;
```

```
data total;
merge a1 a2 a3;
proc print;
run;
```

```
proc reg data=total;
  model is = phA1 phB1 moA1 moB1
arenaA1 arenaB1 arciB1 limoA1
ctexB1 ntotA1 ntotB1 cicA1 cicB1 pftotal
pend ho1 cvp rad asp al bc cap
cestrum cisp ga hp it mam maz
salmex ste seto / selection = stepwise
sls=0.05;
run;
```