

104 41



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Ciencias**

**Principales Interacciones Entre los Suelos Forestales y las Coníferas del Cerro de la Cruz, Mich.**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**B I O L O G O**

p r e s e n t a :

**María Yolanda Margarita Chávez Huerta**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C O N T E N I D O

	Pág.
Dedicatorias	i
Agradecimientos	ii
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Antecedentes	4
3.1. Estudios sobre suelos de ando	4
3.2. Estudios de suelos cercanos al área	6
3.3. Algunos trabajos sobre vegetación	7
3.4. Estudios nacionales de interacción suelo-bosque	8
3.5. Estudios internacionales de interacción suelo-bosque	11
4. Materiales y métodos	15
4.1. Descripción del área de trabajo	15
4.1.1. Localización y superficie	15
4.1.2. Topografía e hidrología	15
4.1.3. Geología	18
4.1.4. Clima	18
4.1.5. Vegetación	23
4.2. Metodologías usadas	26
4.2.1. Fotointerpretación	26
4.2.2. Suelos	31
4.2.3. Caracterización forestal	34
4.2.4. Construcción de fisiograma controlado	34
4.2.5. Estadística	34
5. Resultados y discusión	36
5.1. Características de la geoforma	36
5.1.1. Volcán	36

	Pág.
5.1.2. Domo volcánico	36
5.1.3. La caldera	38
5.2. Suelos	38
5.3. Características dasométricas	45
5.4. Correlación entre características del arbolado	50
5.5. Correlación entre características del arbolado y del sustrato	50
6. Conclusiones y recomendaciones	59
7. Resumen	63
8. Bibliografía citada	65
Anexo 1 análisis de suelos	74
Anexo 2 variables X y Y utilizadas	99

## LISTA DE FIGURAS, CUADROS, TABLAS Y GRAFICAS

	Pág.
Fig. 1. Localización del Cerro de la Cruz	16
Fig. 2. Plano topográfico	17
Fig. 3. Fisiograma: Cotas altimétricas	37
Fig. 4. Mapa de suelos serie-tipo-fase	46
Fig. 5. Fisiograma: Geoforma-tipo de suelos	47
Cuadro 1. Vegetación	27
Cuadro 2. Metodología general de trabajo	30
Cuadro 3. Taxonomía de suelos	39
Cuadro 4. Datos promedio de las coníferas asociadas a cada perfil de suelos muestreado	49
Cuadro 5. Correlación simple entre características de los pinos	51
Tabla 1. Temp. mínimas y máximas extremas de la estación Uruapan	21
Tabla 2. Precipitación media, mínima y máxima, evaporación total y lluvia máxima en 24 hr.	22
Gráfica 1. Temperaturas de la estación Uruapan	20
Gráfica 2. Precipitación de la estación Uruapan	24
Gráfica 3. Probabilidad de lluvia	25

## 1. INTRODUCCION

En nuestro país los bosques han sido de gran importancia para la industria y las comunidades, pues es un recurso natural renovable que ocupa grandes áreas; sin embargo, ha caído en un descuido y degradación de magnitudes impresionantes; la explicación histórica de este fenómeno puede verse si analizamos las 3 etapas del aprovechamiento forestal en México.

La sobreexplotación durante el primer período, que abarca desde la decadencia del Imperio Maya (aproximadamente 1450 d.c.) hasta 1926; aquí el concepto rector implica que el recurso es inagotable y debe utilizarse para apoyar el desarrollo de otras actividades prioritarias.

En segundo lugar tenemos una época de extrema cautela (de 1926 a 1973); en este período, debido a la sobreexplotación anterior, se decretan vedas e instrumentos legales para proteger el recurso; sin embargo, en este lapso, se hace evidente la falta de métodos y técnicas de trabajo que puedan sustentar dichas políticas.

Finalmente, a partir de 1973, se inicia una tercera etapa, que podríamos considerar más racional, en la que se pretende llegar a una distribución equitativa de los beneficios del recurso así como a integrar los planes forestales y consolidar intereses de los sectores involucrados.

Para apoyar esta última etapa se considera como indispensable contar con las suficientes bases técnicas y socioeconómicas; dentro de este contexto se desarrolla el presente traba

bajo que tiene como finalidad coadyuvar en el desarrollo de un método que permita la integración y manejo de variables del terreno que afectan a las masas forestales.

## 2. OBJETIVOS

- 2.1. Realizar un levantamiento de los suelos del Cerro de la Cruz, en función de la topografía, la geomorfología y la cubierta vegetal.
- 2.2. Contribuir a la generación de tecnología de diagnóstico aplicable a la potencialidad forestal en nuestro país.
- 2.3. Probar el método de fisiogramas controlados en la representación integrada de factores del ecosistema forestal.



### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. ESTUDIOS SOBRE SUELOS DEL ANDO.

Los suelos de ando son producto de los volcanes de tipo explosivo, teniendo como material parental roca basáltica, andesita o riolita y predominando la ceniza volcánica; estos suelos se han estudiado en muchos de los países que se encuentran en la región circumpacífica, por ser ésta una zona de notable actividad volcánica en nuestro planeta.

Johnson (1970) cita numerosos trabajos realizados en diversas regiones, entre los que figuran Japón, Nueva Zelanda, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Estados Unidos, Hawai, Alaska, Tanzania, Indonesia, el Caribe y México.

Estos suelos también son llamados andept por la clasificación del USDA, andosoles en la clasificación de la FAO o suelos húmicos de alofano, suelos húmicos alpinos, suelos cafés forestales, o localmente trumaos, topure, charanda. Para poner orden en toda esta terminología la FAO patrocinó una reunión internacional de pedólogos en 1964 en la ciudad de Tokio y ahí se definió el ando como:

"Suelos minerales cuya fracción activa es dominada por materiales amorfos (mínimo 50%). Estos suelos tienen una alta capacidad de retención, un horizonte A oscuro, friable, relativamente grueso; poseen un contenido alto de materia orgánica, una densidad aparente baja y poca

propiedad adhesiva. Pueden tener un horizonte B sin mostrar cantidades significativas de arcilla iluvial. Ocurren bajo condiciones climáticas húmedas o subhúmedas" (Johnson op. cit.)

Posteriormente, en la reunión de expertos llevada a cabo en Turrialba, Costa Rica (1969), se recomienda el uso del "U.S. Comprehensive System of Soil Classification (7 th approximation)" para la clasificación internacional; según este sistema, la mayoría de los suelos provenientes de cenizas volcánicas pertenecen al Orden Inceptisol, suborden Andept.

Para el presente trabajo se utilizan los criterios de "Soil Taxonomy" (1975), que es la nueva edición del "U. S. Comprehensive System of Soil Classification".

En México se han realizado múltiples estudios sobre suelos derivados de cenizas volcánicas, la mayoría de ellos con fines de clasificación o de estudio de fertilidad para cultivos anuales; así tenemos que Aguilera en 1955, hace un estudio en Tepatitlán Jalisco; en 1963, resume las características de los suelos de ando, señalando como sobresalientes la presencia de alofanos y la riqueza en aluminio intercambiable, lo cual es responsable, en gran parte de la fijación de fósforo que limita el uso de tales suelos en cultivos; en 1965 habla sobre génesis y clasificación de los suelos de ando; en 1969 publica un trabajo en el que describe la distribución geográfica de estos suelos para la República Mexicana (de Norte a Sur en la Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua hasta Chiapas; en la Mesa Central, en el Eje Neovolcánico, que incluye macizos montañosos en Jalisco, Colima, Michoacán, México, Puebla y Veracruz; en la Sierra Madre del Sur, incluye partes de los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Veracruz). También Cortés

(1966) hace una descripción general de los suelos de ando en nuestro país.

Palacios et al. (1967) y Cigales (1981) estudian la microbiología en algunos andosoles.

Otros estudios se circunscriben a sitios específicos como los realizados en el Nevado de Toluca por Villaalpando (1968) y Hayama (1971), en los cuales se describen suelos derivados de ceniza volcánica; el Citlaltépetl o Pico de Orizaba es reconocido por Johnson (1970); Anaya (1962), Cortés (1966), Ramos (1974) y Rey (1975) hacen varios perfiles y describen los suelos del Iztaccíhuatl; Ramos, además, da recomendaciones de uso para cada una de las áreas estudiadas; Allende (1968) describe suelos del volcán La Malinche; en 1972 Shimada estudia algunos perfiles del Ajusco; Aceves y Aguilera (1967), Vallejo (1969) y García (1970) describen y clasifican los suelos del Popocatepetl; Domínguez (1975) hace un estudio semicuantitativo en un transecto del mismo volcán, y Domínguez (1982) hace un levantamiento fisiográfico del área forestal de San Rafael (al pie del Popocatepetl) en el estado de México; Barrera (1982) realiza un trabajo etnoedafológico en la Cuenca de Pátzcuaro.

### 3.2. ESTUDIOS DE SUELOS CERCANOS AL AREA.

Entre los trabajos de suelos cercanos al área estudiada tenemos en 1960 que Moncada (citado por Plancarte y Trinidad, 1971) hace un estudio de los suelos de origen volcánico de Michoacán, en el cual dice que el efecto de la ceniza volcánica es muy notorio y perjudicial para los cultivos anuales, pues por su baja fertilidad se requieren altas dosis de fertilizantes; sugiere entonces que los suelos de la Meseta Tarasca se dejen invadir por vegetación natural, que es bosque de coníferas.

Sánchez (1959), Navarro et al. (1962), Turrent (1963) y Plancarte y Trinidad (1971) hacen estudios de fertilidad, con fines agrícolas, de algunos suelos de la Sierra Tarasca y concluyen que el crecimiento de las plantas se ve afectado por la disminución de fósforo aprovechable y el aumento del aluminio extraíble; sugieren la aplicación foliar del fósforo, para mejorar la producción de cultivos anuales.

Aguilera (1962, 1963, 1965), Aguilera et al. (1962), Cervantes (1965) y Guajardo (1967) caracterizan los suelos de la Meseta Tarasca y los clasifican como cafés forestales, de pradera o amarillo-rojo forestales.

Gómez-Tagle (1982) describe hasta el nivel de fases los litosoles y Vitrandepts úmbricos del Campo Experimental Forestal situado al poniente de la ciudad de Uruapan.

Gómez-Tagle et al. (1981), en un estudio de reconocimiento de la Sierra Tarasca, reportan andosoles ócricos con fases líticas superficiales o profundas y andosoles ócricos con fases arenosas en el poniente del Cerro de la Cruz.

Guillén (1971) y Reyna et al. (1971) estudian los suelos del municipio de Uruapan, describiendo el clima y la vegetación. Uno de estos perfiles se encuentra en el Cerro de la Cruz; en él reportan la roca a 70 cm y es clasificado como Dystrandept óxico.

En 1983 los técnicos de DETENAL, que tomaron los datos para la carta edafológica de la zona, nos informaron haber identificado Andosol ócrico y Andosol óxico.

### 3.3. ALGUNOS TRABAJOS SOBRE VEGETACION.

Los trabajos descriptivos acerca de la vegetación del

bosque de pino-encino son muy abundantes y solamente mencionaremos aquéllos que incluyen al área de estudio o los que precisan cuantificaciones.

Madrígal, Takaki y Sánchez (1970) hacen un instructivo para la toma de datos en los estudios ecológico-forestales del Eje Neovolcánico.

Madrígal es uno de los autores con múltiples estudios acerca de la vegetación de la zona templada en la República; únicamente citaremos las claves para la identificación de las coníferas silvestres del Estado de Michoacán (1982), pues aquí reporta bosque de pino-encino con asociación de Pinus douglasiana Martínez, P. pseudostrobus Lindl y Quercus crassifolia Humb. et Bonpl, en el Cerro de la Charanda y bosque de pino-encino con asociación de Pinus pringlei Shaw, P. douglasiana Martínez, P. lawsonii Roehl, P. maximinoi Moore, Quercus obtusata Humb. et Bonpl, Q. resinosa Liebm y Q. castanea Nee, en el Cerro de la Cruz.

Golfari (1963) reporta los requerimientos climáticos para las coníferas tropicales y subtropicales: aparecen 6 de las especies encontradas en el área de trabajo. Egulluz (1982) describe el clima y la distribución de los pinos para la República Mexicana; aquí podemos ver que nuestra área de trabajo está muy cercana a las medias de longitud, latitud, altitud, temperatura y precipitación anual reportadas para las especies identificadas en la zona de estudio.

#### 3.4. ESTUDIOS NACIONALES DE INTERRELACION SUELO-BOSQUE.

En lo tocante a estudios que relacionan el suelo forestal con el bosque, desde el punto de vista cuantitativo son muy escasos. Esto tiene varias razones; entre las

más directas tenemos el hecho de que faltan criterios específicos sobre que valorar del suelo y cómo realizar muestreos representativos, ya que la topografía de las áreas forestales es una seria limitante.

Castaños (1962) es de los primeros autores que prueba este tipo de criterios, en masas vírgenes incoetáneas de Pinus patula determina la calidad de estación mediante curvas edad-altura, diámetro-altura y algunas propiedades del suelo y topografía. Después de aplicar modelos de regresión múltiple, encuentra que los factores que influyen en el índice de localidad son: profundidad total del suelo, altitud y exposición. Propone abundar en el estudio de las variables edáficas.

Fernández y Paiva (1974) hacen un estudio en arenas volcánicas de 2 localidades y reportan curvas de retención de humedad diferentes a las esperadas, en vista de que estas arenas retienen hasta el doble de lo correspondiente a su textura, comportándose como si fueran arcillas, los autores explican la elevada humedad con base en la presencia de material amorfo (alofano) y en la microporosidad interna de las arenas y limos que aumenta considerablemente la superficie de contacto; concluyen que la presión aplicada para el desalojo de agua en el laboratorio no es adecuada para estos suelos arenosos, puesto que la interfase agua-aire que se forma retiene la humedad en los microporos; sin embargo, los pelillos absorbentes de las plantas sí pueden romper esta interfase y extraer el agua.

Enciso y Lavín (1975) realizan un trabajo en el cual ven la influencia de la vegetación y la profundidad de suelo con los ácidos húmicos para el Nevado de Colima y concluyen que para que el humus sea activo y exista un buen proceso de mineralización y polimerización, es

indispensable un buen contenido de nitrógeno para la vegetación, siendo la segunda capa (generalmente horizonte B) el principal sitio de polimerización, humificación y acumulación.

Cervantes y Cuevas (1981) estudian las relaciones de la humedad, textura, densidad, lámina de agua, materia orgánica y alofano en andosoles, con la morfología y distribución de raíces en plántulas de varias especies de coníferas, en una localidad de Puebla; concluyen que en el área estudiada no hay factor limitante del suelo para el desarrollo radicular; que la humedad existente rebasa los valores de humedad aprovechable; que las raíces están, de preferencia, en el horizonte A, probablemente debido a que los espacios porosos son altos, recomiendan ampliar el muestreo en diferentes épocas del año, relacionando el análisis de crecimiento radicular con la humedad del suelo.

Orantes y Musalem (1982) definen las calidades de estación para Pinus hartwegii en Zoquiapan, México; encontrando que la materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y el porcentaje de arcilla promedio, definen el incremento medio anual, el incremento periódico diamétrico y la altura de fuste limpio; recomiendan realizar más estudios, tanto con otras variables del suelo como con más elementos del ecosistema.

Arteaga y Etchevers (1982) determinan las características fisiográficas y del suelo que influyen en el crecimiento de Pinus radiata, encontrando que la exposición es el factor de mayor influencia; también realizan análisis foliares y mencionan que tanto el nitrógeno como el potasio presentan valores altos.

En el mismo año, Gómez-Tagle realiza un levantamiento de suelos forestales, diseña y aplica la metodología ex

perimental de "fisiogramas controlados"; obtiene modelos de regresión simple y múltiple; trabajando con las especies Pinus douglasiana y P. lawsonii, encuentra que la distribución de suelos según la geomorfología del terreno influye directamente en la altura, incremento y volumen de la masa forestal. Las propiedades de suelo que considera como importantes son pendiente y profundidad.

### 3.5. ESTUDIOS INTERNACIONALES DE INTERRELACION SUELO-BOSQUE.

Respecto a la bibliografía internacional, los estudios son muy numerosos y tenemos que Einspahr y Mc. Comb (1951, en Castaños, op. cit.) encuentran íntimamente relacionadas la exposición, la profundidad de la roca madre, la posición en la pendiente y el % de pendiente con el índice de localidad de los encinos del NE de Iowa.

Coile (1948) realiza un estudio de las relaciones de Pinus taeda y P. echinata con las características del suelo, encontrando la profundidad del horizonte A y el % de agua disponible en el horizonte B frecuentemente relacionados con el crecimiento de la masa; posteriormente (1952), hace una revisión exhaustiva sobre los índices de localidad relacionados con el suelo y topografía realizados en E.U., y dice: "La productividad del suelo para el desarrollo forestal está condicionada por la calidad y cantidad de espacio para el crecimiento de las raíces de los árboles. Las propiedades del suelo pueden ser clasificadas en 2 categorías: aquéllas de efectos directos sobre el crecimiento...y aquéllas que lo afectan indirectamente". Resume como principales factores del suelo relacionados con la calidad del sitio, los siguientes: profundidad del horizonte A, profundidad total del suelo, características físicas del



subsuelo (permeabilidad, curvas de retención de humedad, aereación, textura, contracción y dilatación), propiedades físicas del suelo (espacio poroso, textura), materia orgánica (incorporación del humus cambiando la estructura y porosidad), características químicas (nutrimentos limitantes), aún cuando aclara que las propiedades químicas quedan supeditadas a las físicas. Considera como importantes otros aspectos tales como clima, longitud del día, exposición, topografía (pendiente) y geología superficial, sugiriendo que si los sitios de muestreo tienen clima similar, se puede eliminar variación y concretarse a relacionar factores edáficos y topográficos con los índices de localidad.

Doolittle (1957; en Castaños op. cit.), relaciona índice de localidad de 2 especies de encinos con topografía y factores del suelo y encuentra que la profundidad del horizonte A, la posición en la pendiente y el % de arena del horizonte A son las variables con mayor índice de correlación en el sur de los Montes Apalaches E.U.

Zahner (1958) determina como importantes en el crecimiento de Pinus taeda y P. echinata en Arkansas y Louisiana, factores del suelo como profundidad efectiva, contenido de arcilla del subsuelo y pendiente del terreno, aclarando que estas afectan directamente la humedad y aereación del espacio radicular.

Zinke (1958; en Castaños op. cit.) hace estudios de índice de localidad de Pinus ponderosa y Pseudotsuga menziesii en el NW de California, encontrando como importantes la profundidad del suelo, el pH y la altitud.

Czarnowski et al. (1966), utilizando datos edáficos y climáticos de un grupo de plantaciones coetáneas de Pinus radiata establecidas en Australia, derivan, por mé-

todos matemáticos empíricos, semejantes a los usados en hidrología, una ecuación en que se expresa el índice de estación como función de las variables suelo y clima; la precisión es  $\pm 90\%$  y sugieren que algunas modificaciones a esta ecuación permitirán la interpolación de valores del índice de estación para otros climas o algunas extrapolaciones a climas no comprendidos en los límites de los datos.

Carmean (1967, 1970, 1975, 1977; en Spurr 1982) hace una revisión de más de 170 trabajos de Estados Unidos y Canadá que relacionan el suelo con la calidad de estación; también realiza numerosos trabajos en los que demuestra la utilidad de los factores del suelo para inferir la calidad de estación en coníferas y latifoliadas.

Bartelli y DeMent (1970; en Spurr op. cit.) sugieren que se utilicen niveles de clasificación más finos que las series de suelos debido a que con "...las fases u otras subdivisiones y su aplicación sistemática y desarrollada, las investigaciones del suelo más estrechamente asociadas con las investigaciones del suelo de las localizaciones tienen un futuro prominente en la evaluación de la calidad de la localización forestal".

Steinbrenner (en Daniel 1982) mapea 3 millones de acres en Washington y Oregon; diseña un método de determinación de sitio basándose en la profundidad del horizonte A, profundidad efectiva de suelo, textura del horizonte B y altitud sobre el nivel del mar; correlaciona la calidad del sitio con su relieve, usando aerofotos para mapear y verificando con recorridos terrestres, logra explicar un 83% de las variaciones del índice de sitio; desarrolla un mapa que designa las áreas de acuerdo con su beneficio económico potencial.

Daniel (op. cit.) dice: "Cuando el índice edáfico del sitio se correlaciona correctamente con el índice del mismo las clases de sitios por su calidad pueden mapearse con una velocidad sin precedentes. Al parecer las fallas existentes en el método del índice de sitio edáfico del sitio surgen de 1. La falta de solidez en las curvas del índice del sitio con las que se establecen las correlaciones y 2. La incorporación de datos provenientes de demasiadas áreas fisiográficamente diferentes".

## 4. MATERIALES Y METODOS

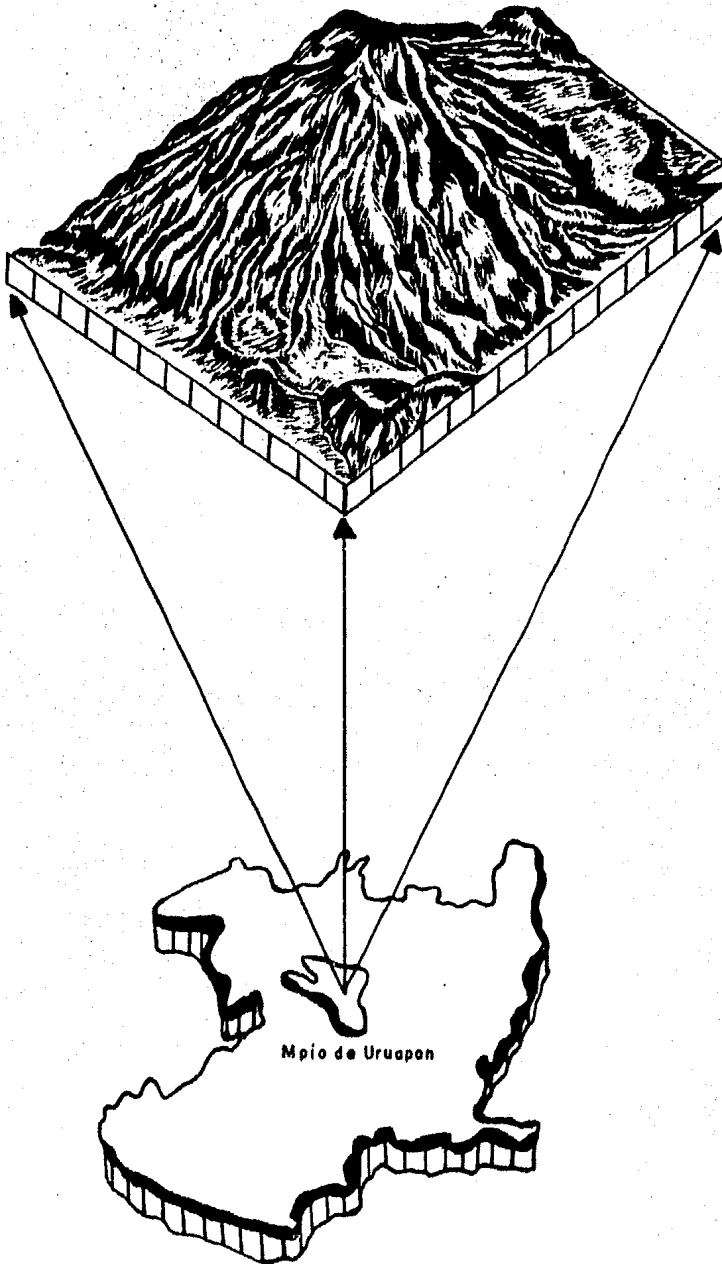
### 4.1. DESCRIPCION DEL AREA DE TRABAJO.

4.1.1. Localización y superficie.- El Cerro de la Cruz se encuentra en la parte sur de la Sierra Purépecha (parte del Eje Neovolcánico), dentro del municipio de Uruapan e inmediatamente al norte de la ciudad del mismo nombre en el estado de Michoacán; sus coordenadas son: de 19°25' a 19°29' de latitud norte y de 102°01' a 102°04' de longitud oeste. Figs. 1 y 2.

La superficie aproximada es de 2,500 hectáreas, que incluyen un domo volcánico llamado Cerro de la Charanda, una caldera (Rancho Costo) y el volcán conocido como Cerro de la Cruz. Una parte del área de estudio (aprox. 1000 ha) es cuidado y utilizado para prácticas, por la Escuela Técnica Forestal No.1, ubicada en la misma ciudad. Toda el área (aún la manejada por la Escuela Técnica Forestal) pertenece a comunidades y múltiples pequeños propietarios, lo cual dificulta la conservación y manejo de la zona.

4.1.2. Topografía e hidrología.- La altitud va de 1,660 a 2,320 msnm, con pendiente del 4 al 90%; la red hidrológica es radial, formada por gran número de cañadas, en las más profundas de las cuales se forman arroyos intermitentes en la época de lluvias. Tiene dos barrancas con nombres propios: una, la Barranca de la Cofradía en el lími

LOCALIZACION DEL CERRO DE LA CRUZ  
URUAPAN, MICH.



ESTADO DE MICHOACAN

Figura 1

Dibujo:

Pedro Mendez H.

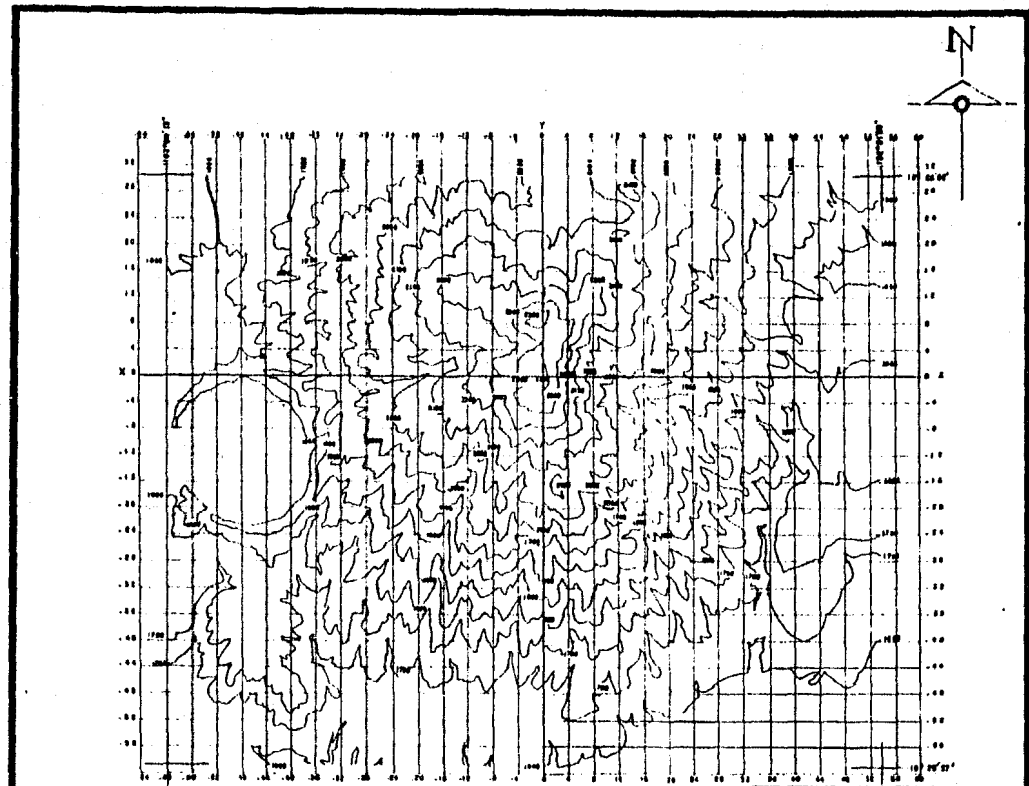


Figura 2

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES  
CENTRO DE INVESTIGACIONES FORESTALES DE OCCIDENTE

CERRO DE LA CRUZ  
Uruapan, Michoacán  
PRIMA ESCALA COORDINADA 1:50,000  
EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS: 50m — SECC. USO MÚLTIPLE  
Elaboración: N. G. G. U. U. y otros. Año 1958.  
Escala horizontal 1:50,000  
Escala vertical 1:50,000  
Aprobado: [Firma]  
Revisado: [Firma]

te este del Cerro y la otra, la Barranca Oscura, que va del centro al sur.

- 4.1.3. Geología.- La formación del área (Demant et al. 1976) corresponde al cenozoico superior y está dominada por materiales extrusivos constituidos por roca basáltica, ceniza volcánica intemperizada, arenas, lapilli y conglomerados volcánicos; los piroclásticos más recientes se recibieron hacia 1943-1950, con la erupción del volcán Parícutín.

Según la clasificación de Lobeck (citado por García 1966), el Cerro de la Cruz es una unidad geomorfológica de 2° orden, construccional del grupo de los disturbados volcánicos, en estado entre joven y maduro, de región húmeda, con un modelo de drenaje radial de alta densidad.

- 4.1.4. Clima.- Los datos y clasificación climatológica corresponden a la estación Uruapan (108) del Servicio Meteorológico Nacional y están tomados de los boletines 1 y 2 del Plan Lerma (1966), con registros de 1922 a 1963 y de García (1981), quien reporta medias de 36 años para temperaturas y de 37 para precipitación, sin especificar fechas.

El clima del área de estudio es (A)C(w<sub>2</sub><sup>1</sup>)(w)b(i')g, que puede leerse como semicálido, subhúmedo con lluvias de verano; es una zona de transición entre los cálidos y los templados, siendo el más fresco de los primeros y el más cálido de los segundos. La temperatura media anual es de 19°C, la del mes más caliente (mayo) es 21.4°C y la del mes más frío (enero) es de 16.2°C; como la

diferencia entre las dos últimas oscila entre 5 y 7°C, puede decirse que tenemos baja oscilación térmica (i').

En la gráfica 1 podemos ver la distribución de la temperatura media a lo largo del año, nótese que la disminución de ésta se inicia en el mes de junio, debido a la presencia de la estación lluviosa (de mayo a octubre). En la misma gráfica se puede observar la distribución de las temperaturas promedio mínimas y máximas para cada mes, siendo claro que la oscilación media diaria alcanza la mayor diferencia en los meses de marzo y abril (17.0 y 17.1 respectivamente) y que esta diferencia se reduce de junio a octubre.

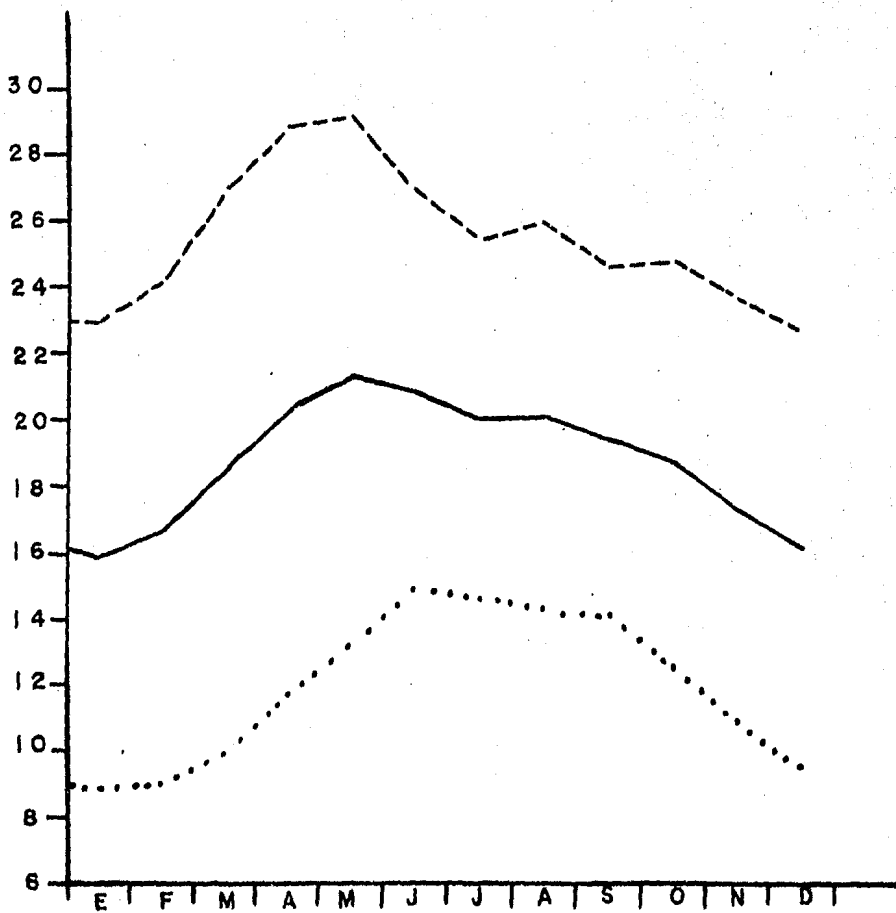
En la tabla 1 se presentan las temperaturas máximas y mínimas extremas registradas en la estación. Las temperaturas extremas son -5°C y 36.5°C, desconociéndose la duración de los eventos.

La tabla 2 nos muestra algunos valores de precipitación registrados en la estación Uruapan. Nótese que la evaporación total, cuando no hay cubierta vegetal, es muy alta (1197 mm); la lluvia máxima en 24 horas es de 152.3 mm y ocurrió el 16 de octubre de 1955; la máxima precipitación anual registrada corresponde a 1925 con 2168.8 mm y la mínima de 1088.5 mm en 1957.

El promedio anual de heladas es de 11.8, distribuídas de octubre a marzo, siendo enero el mes en el que se presentan con mayor frecuencia (4.2); el año con mayor número de heladas registrado es 1939, en el cual ocurrieron 51.



Grafica 1 temperaturas de la estación Uruapan, Mich.



— temp. media  
--- temp. máxima  
..... temp. mínima

Tabla 1. temperaturas mínimas y máximas extremas registradas en la estación meteorológica de Uruapan Michoacán (108) desde 1922.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
Máxima	32.0°C	36.0°C	33.8°C	34.4°C	34.0°C	36.5°C	33.0°C	34.5°C	33.0°C	32.1°C	31.1°C	31.6°C	36.5°C
Fecha	1922	1928	31 1940	29 1949	varios 1924	7 1928	1º 1928	varios 1963	varios 1930	varios 1930	10 1937	10 1940	7 junio 1928
Mínima	1.0°C	2.0°C	5.0°C	3.5°C	8.0°C	9.0°C	9.0°C	9.0°C	7.5°C	4.0°C	3.0°C	-5.0°C	-5.0°C
Fecha	14 1953	23 1955	20 1961	4 1957	varios 1955	varios 1961	30 1959	18 1959	23 1953	22 1952	varios 1953	6 1960	6 diciembre 1960

Tabla 2. precipitación media, mínima y máxima, evaporación total y lluvia máxima en 24 horas, registradas en la estación meteorológica de Uruapan, Mich. (108) desde 1922.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A n u a l
Precipitación media	14.4 mm	11.7 mm	4.8 mm	8.1 mm	43.8 mm	279.6 mm	337.8 mm	325.1 mm	374.7 mm	167.6 mm	40.2 mm	23.8 mm	1 630.6 mm
Evaporación total	111.2 mm	136.5 mm	101.5 mm	113.7 mm	119.7 mm	101.8 mm	95.9 mm	98.6 mm	75.9 mm	79.7 mm	69.6 mm	92.9 mm	1 197.0 mm
LLuvia máxima en 24 horas ocurrió	48.3 mm 4 1958	52.5 mm 5 1923	32.7 mm varios	43.0 mm 16 1959	56.0 mm 17 1927	92.0 mm 28 1932	85.5 mm 25 1932	94.3 mm 27 1933	127.5 mm 23 1935	152.3 mm 16 1955	53.0 mm 15 1925	99.9 mm 15 1937	152.3 mm 16/X 1955
Precipitación máxima ocurrió	134.4 mm 1958	115.2 mm 1935	33.8 mm 1925	139.3 mm 1959	238.0 mm 1956	549.8 mm 1959	528.0 mm 1931	433.2 mm 1926	602.1 mm 1955	498.6 mm 1923	134.5 mm 1930	368.0 mm 1925	2 168.8 mm 1925
Precipitación mínima ocurrió	0.0 mm varios	0.0 mm Vrs.	0.0 mm Vrs.	0.0 mm Vrs.	0.0 mm Vrs.	81.8 mm 1960	212.6 mm 1924	164.0 mm 1930	137.0 mm 1953	39.4 mm 1940	0.0 mm Vrs.	0.0 mm Vrs.	1 088.5 mm 1957

La precipitación anual promedio es de 1,630.6 mm (García op. cit.); la gráfica 2 nos muestra la distribución de las lluvias a través del año, siendo julio el mes más lluvioso (377.8 mm) y marzo el más seco (4.8 mm). La probabilidad anual de lluvia calculada para el área por medio de la función gamma incompleta (García 1975) se muestra en la gráfica 3; véase que tenemos un 47.60% de probabilidades de obtener la media anual, un 95% de obtener 1,100 mm y un 99% de que caigan 500 mm, índices bastante altos que garantizan buenos niveles de humedad en el suelo.

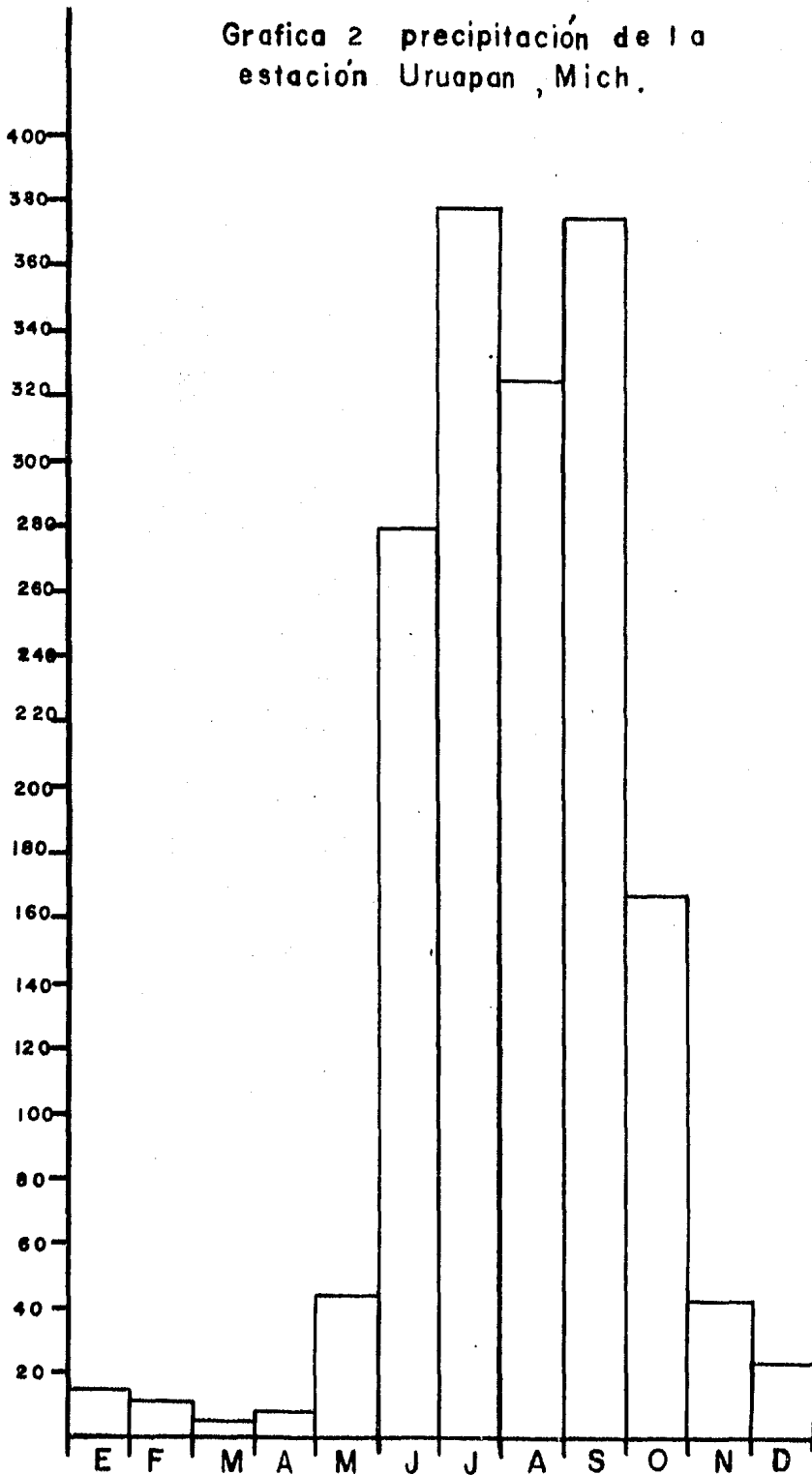
El número promedio de días con tormentas eléctricas es bajo (24.7 anual) y las medias mensuales van de 0.1 a 5.8; obviamente la mayor incidencia tiene lugar en los meses de mayor precipitación; sin embargo, en 1940 se registraron 113 tormentas eléctricas.

La humedad relativa es alta durante todo el año, teniendo marzo el nivel mínimo (60%) y de junio a septiembre los niveles máximos (90%).

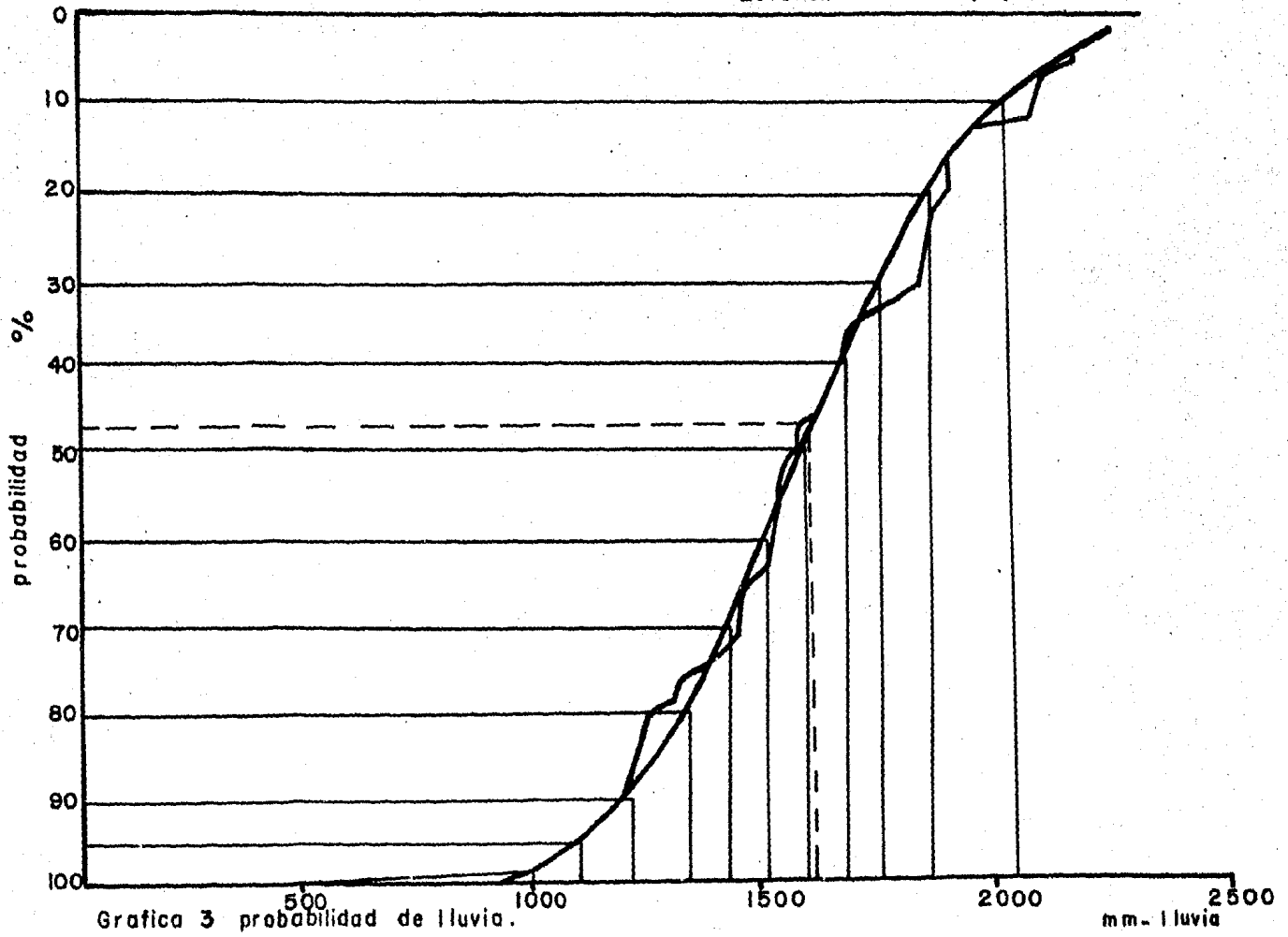
Los vientos dominantes vienen del sur, aunque con el inicio de las lluvias, la dirección se invierte durante un mes (junio); en cuanto a la velocidad, ésta es muy baja y constante, siendo inferior a 8 km/hr durante todo el año y alcanzando el nivel mínimo (menos de 3 km/hr) en el mes de junio.

4.1.5. Vegetación. - El bosque templado de coníferas es la asociación vegetal dominante, habiendo pino-encino en la mayor superficie; sin embargo, en

Grafica 2 precipitación de la estación Uruapan, Mich.



Estacion 108. Uruapan, Mich.



Grafica 3 probabilidad de lluvia.

Tomado de García et al. 1975 (op. cit.)

algunas cañadas encontramos el hábitat adecuado para la implantación de bosque mesófilo de montaña.

En el estrato arbóreo del bosque tenemos como especie dominante Pinus pringlei Shaw, asociado con P. douglasiana Martínez, P. pseudostrobus Lindl, P. oocarpa Schiede, P. michoacana var. cornuta Martínez, P. lawsonii Roehl, P. maximinoi Moore y P. montezumae Lamb; el encino más frecuente es Quercus obtusata Humb. et Bonpl, aunque también encontramos Q. candicans Nee, Q. crasifolia Humb. et Bonpl, Q. resinosa Liebm y Q. castanea Nee. (véase cuadro 1).

El estrato arbustivo está representado por Calliandra anomala (Kunth) Macbride, Baccharis spp., Rubus fruticosus, Verbesina sp, Dodonaea viscosa (L.) Jacq., Rumfordia sp., Inga sp., bejucos y bambúes.

El estrato herbáceo es el más diversificado, siendo las especies más frecuentes Pteridium sp. y Muhlenbergia sp. (véase cuadro 1).

En las zonas bajas y en las áreas de menor pendiente encontramos diversos cultivos, siendo muy frecuentes las huertas de aguacate.

#### 4.2. METODOLOGIAS USADAS.

El método de trabajo queda resumido en el cuadro 2.

4.2.1. Fotointerpretación.— Se usaron aerofotos verticales de escala 1:35,000 tomadas por DETENAL en 1978; se hizo la rodalización por coberturas

Cuadro 1, vegetación en los sitios muestreados en el Cerro de la Cruz\*.

No. de Perfil	Veg. arbórea	Veg. arbustiva	Veg. herbácea
1	<u>Pinus michoacana</u> Var. <u>cornuta</u> Martínez, <u>P. lawsonii</u> Roehl., <u>P. pringlei</u> Shaw, <u>Quercus obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Clethra mexicana</u> DC., <u>Carpinus caroliniana</u> Walt., <u>Arbutus xalapensis</u> H.B.K.	<u>Baccharis</u> spp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth) Macbride.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp.
2	<u>P. lawsonii</u> Roehl., <u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>Q. castanea</u> Née, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl.	<u>Baccharis</u> spp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth) Macbride.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp.
3	<u>P. pseudostrobus</u> Lindl. y <u>P. pringlei</u> Shaw., <u>Arbutus xalapensis</u> H.B.K.	<u>Rubus fruticosus</u> , <u>Baccharis</u> spp.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Salvia</u> sp. y <u>Solanum</u> sp.
4	<u>P. lawsonii</u> Roehl.	<u>Baccharis</u> sp, <u>Dodonaea viscosa</u> (L.) Jacq., <u>Rubus</u> sp., <u>Verbesina</u> sp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth) Macbride, <u>Vitis</u> sp.	<u>Eupatorium</u> sp., <u>Salvia lavanduloides</u> Kunth., <u>Lopezia</u> sp., <u>Pteridium</u> sp., <u>Adiantum</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp.
5	<u>P. pringlei</u> Shaw.	<u>Rubus fruticosus</u> , <u>Verbesina</u> sp., <u>Baccharis</u> spp.	<u>Desmodium</u> sp., <u>Lobelia</u> sp., <u>Pteridium</u> sp., <u>Solanum</u> sp.
6	<u>P. pringlei</u> Shaw.	<u>Dodonaea viscosa</u> (L.) Jacq., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth.) Macbride, <u>Ageratum corymbosum</u> Zucc.	<u>Desmodium</u> sp., <u>Lobelia</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp.
7	<u>Carpinus caroliniana</u> Walt., <u>Clethra mexicana</u> DC.	<u>Rumfordia</u> sp., bambúes y bejucos	<u>Adiantum</u> sp. y otros helechos
8	<u>P. oocarpa</u> Schiede., <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Clethra mexicana</u> DC.	<u>Verbesina</u> sp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth.) Macbride.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Solanum</u> sp.

Continua hoja 2...

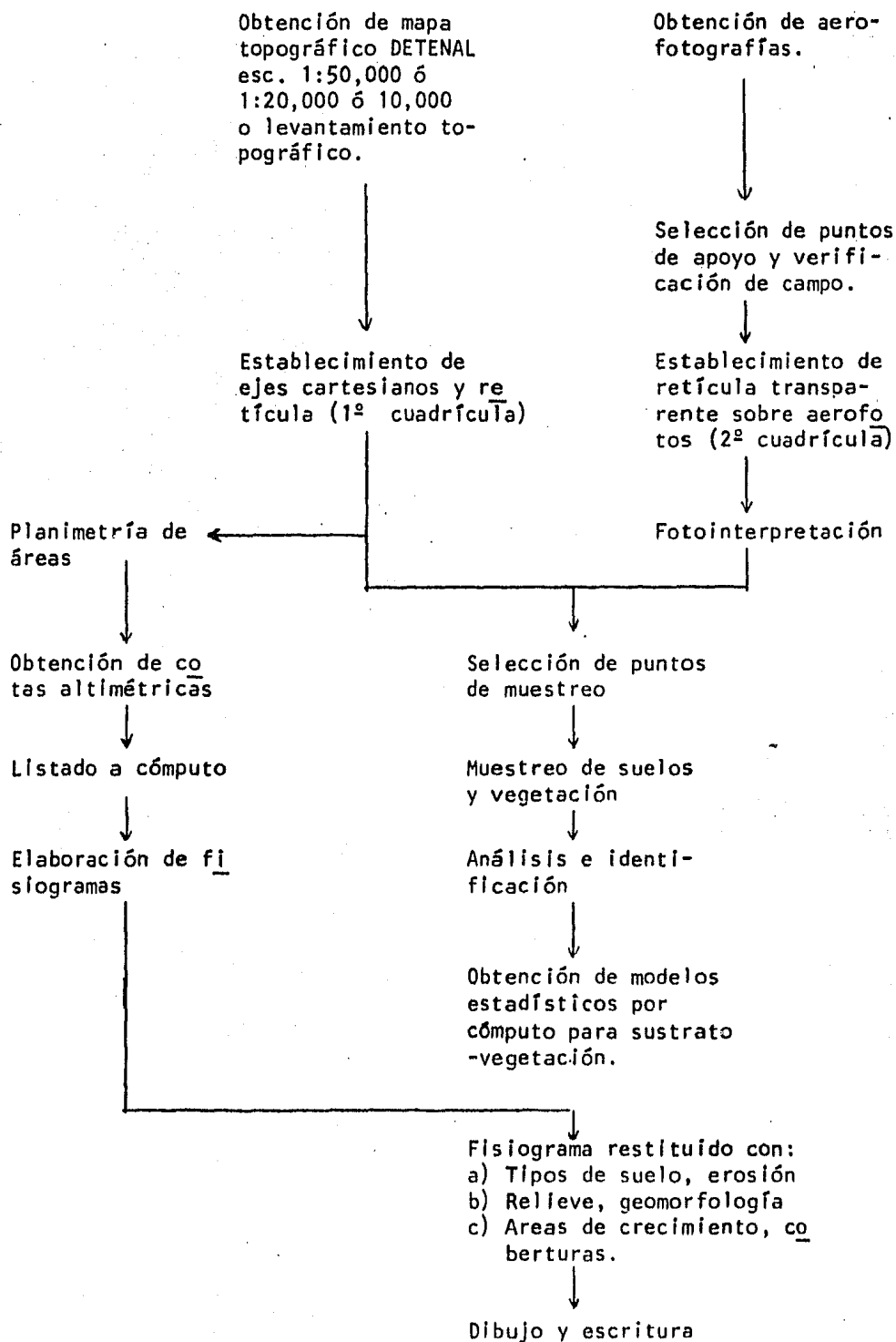


No. de Perfil	Veg. arbórea	Veg. arbustiva	Veg. herbácea
9	<u>P. pringlei</u> Shaw., <u>Q. crassifolia</u> Humb. et Bonpl., <u>Clethra mexicana</u> DC.	<u>Verbesina</u> sp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth.) Macbride.	<u>Gnaphalium</u> sp., <u>Tagetes</u> sp., <u>Pteridium</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp. y leguminosas.
10	<u>P. pringlei</u> Shaw, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl.	<u>Baccharis</u> spp.	<u>Gnaphalium</u> sp., <u>Dalea</u> sp., <u>Pteridium</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp.
11	<u>P. pringlei</u> Shaw, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Arbutus xalapensis</u> H.B.K.		<u>Stevia</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Tagetes</u> sp., <u>Pteridium</u> sp.
12	<u>P. pringlei</u> Shaw., <u>P. oocarpa</u> Schiede, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl.	<u>Verbesina</u> sp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth) Macbride.	<u>Desmodium</u> sp., <u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Salvia lavanduloides</u> Kunth Dalea sp., <u>Crotalaria</u> sp., <u>Eri-geron</u> sp., <u>Tagetes</u> sp.
13	<u>P. pringlei</u> Shaw., <u>P. oocarpa</u> Schiede, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Q. resinosa</u> Liebm., <u>A. xalapensis</u> H.B.K.	<u>Calliandra anomala</u> (Kunth) Macbride, <u>Baccharis</u> spp.	<u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Pteridium</u> sp.
14	<u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl, <u>Clethra</u> sp.	<u>Baccharis</u> sp., <u>Calliandra anomala</u> (Kunth.) Macbride	<u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Pteridium</u> sp. <u>Pennisetum clandestinum</u> Hochst. y compuestas.
15	<u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>P. pringlei</u> Shaw., <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>A. xalapensis</u> H.B.K.	<u>Calliandra anomala</u> (Kunth.) Macbride	<u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Pteridium</u> sp.
16	<u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>P. pringlei</u> Shaw, <u>Q. crassifolia</u> Humb. et Bonpl., <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>A. xalapensis</u> H.B.K.	<u>Calliandra anomala</u> (Kunth.) Macbride, <u>Satureja macrostema</u> Briq.	<u>Pteridium</u> sp. <u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Piquería trinervia</u> Cav. y labiadas.

No. de Perfil	Veg. arbórea	Veg. arbustiva	Veg. herbácea
17	<u>P. michoacana</u> var. <u>cornuta</u> Martínez, <u>P. pringlei</u> Shaw., <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Q. candicans</u> Née., <u>Clethra</u> sp., <u>A. xalapensis</u> H.B.K.	<u>Inga</u> sp., <u>Coriaria thymifolia</u> Humb. et Bonpl.	<u>Muhlenbergia</u> sp., <u>Pteridium</u> sp., <u>Solanum</u> sp., <u>Adiantum</u> sp. y coriáceas.
18	<u>P. montezumae</u> Lamb., <u>Q. candicans</u> Née., <u>Crataegus mexicana</u> Moc. et Sessé.	<u>Baccharis</u> sp., <u>Solanum</u> sp.	<u>Lopezia</u> sp., labiadas y vitáceas.
19	<u>P. montezumae</u> Lamb., <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Clethra</u> sp.	<u>Dodonaea viscosa</u> (L.) Jacq., <u>Rubus fruticosus</u> y bejucos.	<u>Bouteloua</u> sp., <u>Salvia</u> sp.
20	<u>P. maximinoi</u> Moore, <u>Q. obtusata</u> Humb. et Bonpl., <u>Clethra</u> sp. y <u>Crataegus mexicana</u> Moc. et Sessé.	<u>Dodonaea viscosa</u> (L.) Jacq. y bejucos.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Adiantum</u> sp.
21	<u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>P. pseudostrobus</u> Lindl., <u>Quercus</u> sp., <u>A. xalapensis</u> H.B.K.	<u>Rubus fruticosus</u> , <u>Baccharis</u> spp., <u>Solanum</u> sp.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Salvia</u> sp., <u>Piqueria trinervia</u> Cav., <u>Lobelia</u> sp., <u>Lupinus</u> sp. y leguminosas.
22	<u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>P. pseudostrobus</u> Lindl.	<u>Baccharis</u> spp., <u>Rubus fruticosus</u> , <u>Solanum</u> sp., <u>Senecio</u> sp.	<u>Pteridium</u> sp., <u>Phytolacca</u> sp., <u>Stevia</u> sp.
23	<u>P. douglasiana</u> Martínez, <u>P. pseudostrobus</u> Lindl., <u>Prunus capuli</u> Cav.	<u>Rubus fruticosus</u>	<u>Gnaphalium</u> sp., <u>Senecio</u> sp., <u>Cyperus</u> sp., <u>Acalypha</u> sp., <u>Phytolacca</u> sp., <u>Pennisetum clandestinum</u> Hochst., <u>Piqueria</u> sp.

\*La identificación fue realizada por los Ings. Arnoldo López y Jesús Andrade, y la verificación se debe a los Bióls. Miguel A. Bello y Xavier Madrigal S.

Cuadro 2. metodología general de trabajo.



(Moncayo 1970); se seleccionaron los puntos de apoyo y se hicieron las corroboraciones de campo necesarias.

4.2.2. Suelos. - Con base en la delimitación de rangos de cobertura de la fotointerpretación, se seleccionó un transecto para el muestreo, incluyendo 11 perfiles; las muestras de suelo se tomaron por horizontes y se analizaron en laboratorio; usándose los resultados de % de arena del horizonte A (por carecer de criterios establecidos para muestreos en áreas forestales, ser la característica que determina el taxón Tipo y debido a que la partícula gruesa es la dominante en el área), se determinó el tamaño de muestra, con una confiabilidad del 90%. Se empleó para esto la siguiente fórmula:

$$\text{Número de sitios} = \frac{(t \text{ tabular})^2 (\text{coeficiente de variación})^2}{(\% \text{ de error permitido})^2}$$

El número de perfiles requeridos resultó ser 8.16, así que el muestreo era representativo de la propiedad evaluada. Sin embargo, dado que se deseaban tener representadas las diversas coberturas y pendientes del área, se decidió ampliar el muestreo utilizando unidades fisiográficas parteaguas-talud-barrancas, quedando así incluidos los 5 rangos de cobertura y "tipos texturales" del suelo. Al finalizar, se tenían 23 perfiles cuya profundidad osciló entre 78 y 230 cm. Para la descripción morfológica se siguió la guía para descripción y muestreo de suelos forestales de Hernández (1973).

Después de haber analizado, en laboratorio, los 23 perfiles muestreados, se hicieron algunas barrenaciones y observaciones de campo en diversas

zonas, tanto para corroborar la presencia de los suelos ya identificados como para definir los límites de cada una de las fases descritas (Ortiz y Cuanalo 1981).

A su llegada al laboratorio, las muestras se secaron al aire, se molieron, se tamizaron en malla de 2 mm y se envasaron en frascos de vidrio para su posterior análisis.

Las pruebas físicas incluyen color por comparación (en seco y en húmedo) con las tablas de Munsell; densidad aparente, por el método de Blake (1965); densidad real, por el método del picnómetro (Baver 1956); capacidad de campo, humedad aprovechable y punto de marchitez permanente se obtuvieron con la membrana de presión usando 0.3 y 15 atmósferas; la lámina de agua aprovechable se calculó con la siguiente fórmula:

$$I_{aa} = \frac{\% \text{ de humedad aprovechable} \times \text{densidad aparente} \times \text{profundidad}}{100}$$

Los porcentajes de arena, limo y arcilla se obtuvieron por el método Bouyoucos; la textura se determinó con ayuda del triángulo de texturas.

Como análisis químicos se practicaron las siguientes pruebas; materia orgánica, por el método de combustión húmeda de Walkley y Black; \*pH, se tomó en agua y en cloruro de potasio

\*Casi todas las técnicas de las pruebas químicas se tomaron de Jackson (1964).

(IN a pH7): en ambos casos, la relación suelo-líquido fue de 1:2.5, leyéndose con potenciómetro Photovolt 126A, con electrodo de vidrio; la medición de la capacidad de intercambio catiónico se hizo por centrifugación, empleando  $\text{CaCl}_2$  INpH7 como saturante, alcohol etílico para lavar y eluyendo con acetato de sodio (IN-pH7); la titulación se hizo con EDTA; los cationes intercambiables se extrajeron con acetato de amonio (INpH7), el sodio y el potasio se leyeron en fotoflamómetro Corning 400 y el calcio y magnesio se titularon con versenato; el porcentaje de saturación de bases se calculó con la fórmula:

$$\%SB = \frac{\Sigma \text{ de cationes intercambiables}}{\text{Capacidad de intercambio catiónico}} \times 100$$

Para el fósforo se usó el método Bray; el % de nitrógeno total se obtuvo por Kjeldahl; para nitratos se usó la técnica de Brucina; el alofano se hizo por el método semicuantitativo de Fieldes y Perrot (1966); la acidez extractable se realizó con KCl (INpH7), según la técnica del CATIE (1977).

Los suelos fueron clasificados hasta el nivel de fases, usándose para ello los criterios de Soil Taxonomy (1975). Con base en las características morfológicas y los análisis de laboratorio, se obtuvieron los perfiles modales; con juntando la información topográfica y de laboratorio, se preparó la cartografía de suelos hasta el nivel de fases.

4.2.3. Caracterización forestal.- Para cada perfil de suelos muestreado se hicieron mediciones forestales, la técnica para esto fue "sitio de dimensiones variables", se tomaron datos de área basal (AB), coeficiente mórfico (CM) y altura total (A) con relascopeo de Bitterlich; tiempo de paso (TP) y edad con taladro de Pressler; diámetro a la altura del pecho (DAP) con cinta diámetrica; incremento corriente anual (ICA) por el método rápido de Klepac (Klepac 1976); el volumen se calculó como  $\{V=A(AB)(CM)\}$ ; incremento medio anual en altura ( $IMAA=\frac{\text{altura}}{\text{edad}}$ ); incremento medio anual en diámetro ( $IMAD=\frac{\text{diámetro}}{\text{edad}}$ ); el grado de cobertura se calculó por comparación directa con las tablas de espesura (Moncayo op. cit.).

4.2.4. Construcción de fisiograma controlado.- Se trazó la primera cuadrícula en papel milimétrico sobre la carta topográfica 1:10,000 publicada por Detenal; la retícula fue 5 x 5 mm ( $2,500 \text{ m}^2$ ); se leyeron las altitudes de cada vértice y con los datos se preparó un listado ordenado por ejes cartesianos; mediante un programa de cómputo se hizo la transformación de coordenadas X, Y, Z a X, Y (Gómez Tagle 1982). Con el listado de cómputo se construyó el fisiograma correspondiente.

4.2.5. Estadística.- Se hizo la descripción estadística de los resultados del sustrato y la masa forestal, con la finalidad de preparar la información para procesarla mediante computadora, por la técnica de "regresión por pasos" (Step-Wise).

Para esto, se usaron 18 de los 23 sitios, pues hubo necesidad de descartar los datos de los perfiles 4 y 16 a causa de que el reciente corrimiento de horizontes falsea los resultados; el sitio 3 no fue incluido por estar en fase de brinjal; en el sitio 7 no hay pinos (es vegetación de bosque mesófilo de montaña), y el sitio 22 no se procesó porque los datos del bosque están incompletos, debido a un incendio que dejó los árboles muertos en pie.

Quedaron entonces 18 casos para cada una de las variables, tanto dependientes (de  $Y_1$  a  $Y_{10}$ ) como para las independientes ( $X_1$  a  $X_{53}$ ); la máquina realizó la regresión por pasos para cada una de las variables dependientes ( $Y$ ) tomando las  $X$  desde 1 hasta 53.\*

El criterio para la selección de las  $X$  adecuadas a cada  $Y$  fué:

- a) Tomar un máximo de 53  $X$ .
- b) Tomar aquellas variables cuyas correlaciones simples tengan una  $F$  calculada superior a la " $F$ " tabulada requerida para el 95%.
- c) Se tomaron aquellas variables independientes que además de reunir las condiciones anteriores, tuvieran un error menor a 0.3, obteniéndose finalmente los modelos de regresión múltiple para cada variable dependiente.

\*En el anexo 2 se presenta el listado de variables  $X$  y  $Y$  utilizadas.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. CARACTERISTICAS DE LA GEOFORMA.

Con los resultados de la fotointerpretación, el estudio de la topografía y las observaciones sobre la geología del área tenemos que, en toda la zona hay materiales volcánicos, tanto de origen local, como provenientes de la actividad volcánica de áreas cercanas. En el área se distinguen 3 geformas (un volcán, una caldera y un pequeño domo) que se describen como sigue.

5.1.1. Volcán.- Su superficie aproximada es de 2,160 ha; la topografía es sumamente abrupta, pues hacia todas las orientaciones hay barrancas, algunas de ellas muy profundas, cuyos tiros llegan a medir hasta 80 m, lo que provoca rápida erosión en las zonas desmontadas; las pendientes en los sitios muestreados oscilan entre 6 y 95%. Los asentamientos humanos rebasan la cota 1700 m en varios sitios, con las consecuencias previsibles de degradación del bosque y acelerada erosión del suelo; la superficie forestal con uso forestal, se encuentra entre los 1700 y 2320 msnm (véase fig.3).

5.1.2. Domo volcánico.- Aquí tenemos pendientes entre el 8 y el 60%; los lados sur y sureste están muy fuertemente invadidos por asentamientos humanos (véase fig.3) y desde luego, es la zona más degradada por la erosión, con presencia de múlti-

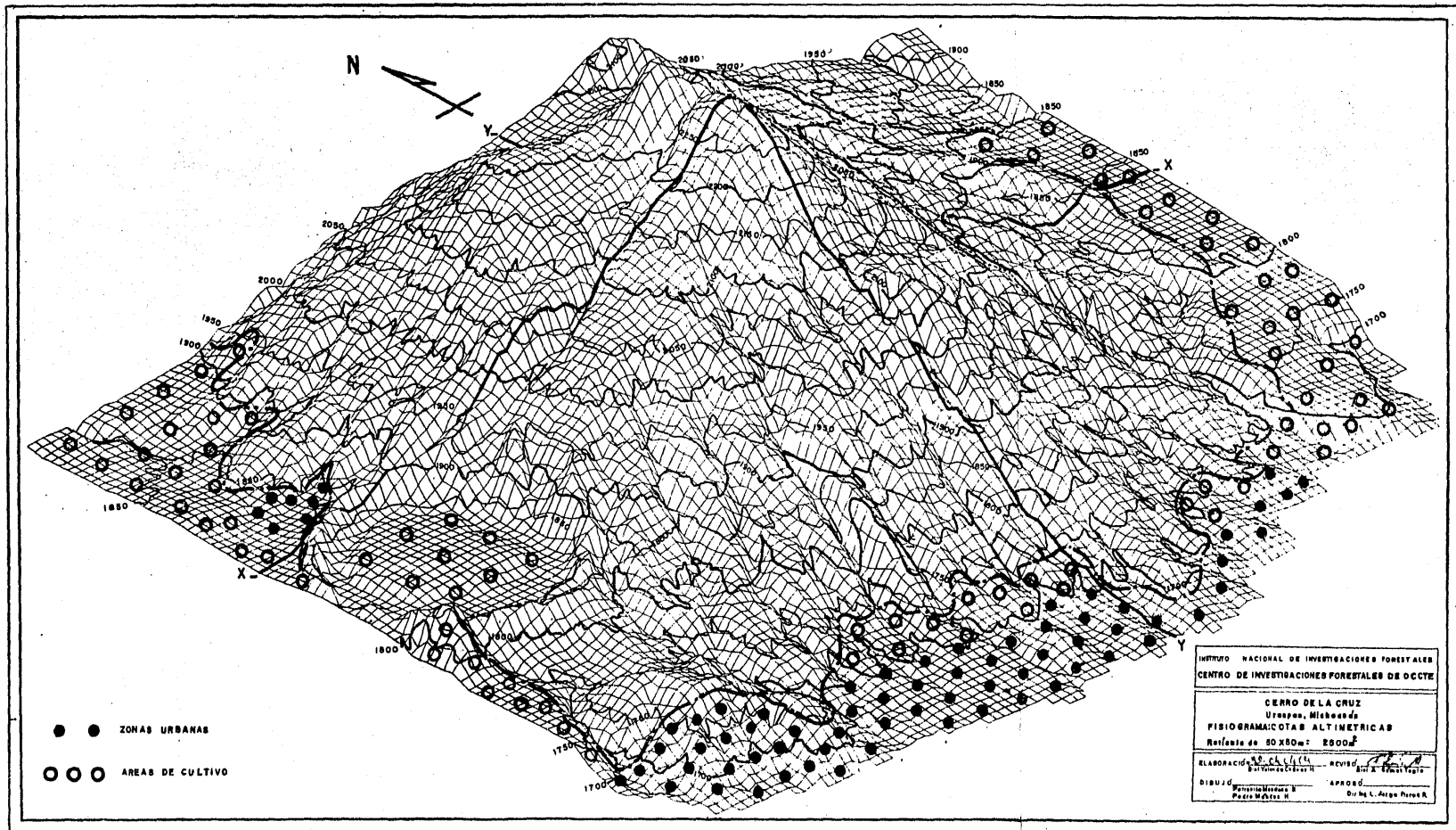


Figura 3

ples cárcavas; las áreas norte y noroeste tienen uso forestal y están bien conservadas debido a la vigilancia y constantes reforestaciones que lleva a cabo, desde 1958, la Escuela Técnica Forestal No.1; su altitud va de 1660 a 1810 msnm y su superficie es de 181 ha.

5.1.3. La caldera.- Su forma es casi circular, su superficie es de 126 ha; es la zona de menor pendiente (4 a 8%), su altitud va de 1830 a 1870 msnm y se encuentra totalmente ocupada por huertas de aguacate. Aquí el peligro de erosión es mínimo debido a las bajas pendientes y el cambio de uso del suelo tiene menos limitantes.

## 5.2. SUELOS.

Todos los perfiles estudiados pertenecen al suborden Andept del orden Inceptisol; la clasificación de los suelos queda resumida en el cuadro 3. Los resultados obtenidos en cada uno de los perfiles aparecen en el anexo 1; la descripción de las series se hizo de acuerdo con la proposición de Ortiz y Cuanalo (1981).

Los suelos de la serie La Cruz del subgrupo Distrandept típico son de color pardo muy oscuro a pardo-rojizo oscuro, en húmedo, en los horizontes superficiales y de pardo oscuro a pardo-rojizo oscuro en los subsuperficiales y profundos; son profundos (112 a 218 cm); sus texturas en general se sitúan como gruesas, predominando el tipo migajón arenoso; hay también arena migajosa y franco; en el perfil típico tenemos:

A<sub>00</sub> 9.5 a 1.5 cm. Capa de hojarasca cruda.

A<sub>0</sub> 1.5 a 0 cm. Hojarasca en descomposición.

A<sub>11</sub> 0 a 21 cm. En húmedo, es pardo muy oscuro (10YR2/2);

Cuadro 3. taxonomía de suelos propuesta para el Cerro de la Cruz.\*

Orden	Suborden	Grangrupo	Subgrupo	Familia	Serie	Tipo	Fase
Inceptisol	Adept	Dystrandept	Dystrandept típico	Arenoso medio a fino, en capas, ácido, alofánico, <u>iso</u> térmico.	La Cruz	Mig.arenoso	Profunda
			Dystrandept óxi <u>co</u> .	Arcilloso, en capas, ácido <u>iso</u> térmico	Charanda	Mig.arenoso Mig.arcilloso	Superficial Profunda
						Franco Arcilla	Erosionada Erosionada
		Vitrandept	Vitrandept úmbrico	Arenoso, en capas, ácido alofánico, <u>iso</u> térmico	Cupatitzio	Mig.arenoso	Profunda Superficial

\*Basado en los criterios de: Soil Taxonomy, 1975.

su textura es arena migajosa (76-18-6); consistencia de  $1 \text{ kg/cm}^2$ ; estructura débilmente microgranular; muy porosa; 16.16% de humedad aprovechable; 7.6% de materia orgánica, raíces abundantes (más de  $12/\text{dm}^2$ ); ácida con pH de 4.55; muy rica en alofano; saturación de bases de 22.63%, con transición tenue y ondulada.

A<sub>12</sub> 21 a 49 cm.

De color pardo oscuro (7.5YR3/4); con textura de migajón arenoso (71-21-4); baja consistencia ( $0.75 \text{ kg/cm}^2$ ); débilmente microgranular; con 20% de humedad aprovechable; 2.6% de materia orgánica; 8 gruesas raíces por  $\text{dm}^2$ ; ácida (pH 5.4); muy rica en alofano (4+); con baja saturación de bases (19.59%); con transición tenue y ondulada.

B<sub>11</sub> 49 a 99 cm.

En húmedo, es pardo oscuro (7.5YR3/4); migajón arenoso (57-39-4); consistencia de  $2 \text{ kg/cm}^2$ ; estructura débilmente microgranular y presencia de grava gruesa (3 a 5 cm  $\emptyset$ ); numerosos poros irregulares; humedad aprovechable de 24.61%; materia orgánica mezclada (1.55%), raíces del estrato arbóreo ( $6/\text{dm}^2$ ); ácida (pH 4.95); muy rica en alofano; saturación de bases del 29.81%; la transición es tenue y ondulada.

B<sub>12</sub> 99 a 120 cm.

El color en húmedo es pardo oscuro (7.5YR3/4); migajón arenoso (59-33-8); consistencia de  $3 \text{ kg/cm}^2$  estructura poliédrica irregular débilmente desarrollada, presenta fragmentos de roca; la humedad aprovechable es de 25.75%; materia orgánica mezclada de 1.27%; hay es-

B<sub>13</sub> 120 a 170 cm.

casas raíces (3/dm<sup>2</sup>); ácida (pH 5.30); muy rica en alofano (4+); con 38.07% de saturación de bases; la transición al siguiente estrato es tenue y ondulada. De color pardo oscuro (7.5YR3/4) en húmedo; migajón arenoso (58-30-12); consistencia 2.75 kg/cm<sup>2</sup>; estructura microgranular débilmente desarrollada, con fragmentos de roca; la humedad aprovechable es de 23.78%; con materia orgánica mezclada (1.13%), escasas raíces (3/dm<sup>2</sup>); ácida (pH 5.45); muy rica en alofano (4+); la saturación de bases es de 39.50%; la transición al siguiente estrato es tenue y ondulada.

C 170 a 183 cm.

De color pardo oscuro (7.5YR3/4) en húmedo; franco (48-32-20); estructura aterronada muy desarrollada, la roca basal fracturada es dominante; la consistencia es superior a 4 kg/cm<sup>2</sup>; humedad aprovechable de 28.49%; materia orgánica mezclada de 0.99%, raíces muy escasas (1 ó 2/dm<sup>2</sup>); ácida (pH 5.20); rica en alofano (3+); la saturación de bases es de 42.12%; el límite no fue observado por ser mas profundo.

Respecto a la Serie Charanda, encontramos suelos con horizontes superiores pardo-rojizo oscuro a pardo oscuro (en húmedo) y en los inferiores de pardo-rojizo a pardo intenso; la profundidad de los perfiles va de 83 a 230 cm; sus texturas en general presentan partículas medias, siendo gruesas en el horizonte A (migajón arenoso) y finas para el horizonte B (migajón arcilloso); los subsuelos arcillosos son característicos de la Serie. En el perfil típico tenemos:

Aoo 1 a 0 cm.

A<sub>1</sub> 0 a 7 cm.

Hojarasca acicular cruda.

Capa de color café oscuro (7.5YR3/4); de textura franca (50-40-10); ácida (pH 5.8); con estructura migajosa; con sistencia de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>; humedad aprovechable del 15.89%; 3.24% de materia orgánica abundante en poros muy finos; saturación de bases del 42.54%; rica en alofano, con límite tenue y ondulado.

B<sub>1</sub> 7 a 40 cm.

En húmedo es pardo-rojizo (5YR4/4); tipo migajón arcilloso (36-34-30); 2.0 kg/cm<sup>2</sup> de compacidad; aterronada; hume dad aprovechable de 14.43%; ligeramente ácida (pH 6.50); 1.15% de materia orgánica; baja saturación de bases (30.26%); media en alofano (2+); con límite de transición tenue y ondulado.

B<sub>2</sub> 40 a 71 cm.

En húmedo es pardo medio (7.5YR4/4); con textura de migajón arcilloso (32-36-32); estructura masiva muy compactada (superior a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>); con 15.34% de humedad aprovechable; liger amente ácida (pH 6.55); 0.45% de materia orgánica; con saturación de bases de (42.12%); con límite difuso.

C<sub>1</sub> 71 a 93 cm.

Es una capa que en húmedo tiene color pardo-amarillento oscuro (10YR4/4); con textura tipo migajón arcilloso (30-38-32); estructura masiva muy compactada (superior a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>); 32.32% de hume dad aprovechable; es pobre en alofano (2+); ácida (pH 6.0); con 0.49% de materia orgánica; con saturación de bases de 52.08%; con límite difuso.

C<sub>2</sub> 93 a 140 cm. Capa pardo-amarillento oscuro en húmedo (10YR4/4); textura de migajón arcilloso (32-40-28); estructura masiva, muy compacta (superior a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>); con 15.93 % de humedad aprovechable; ligeramente ácida (pH 6.5) la saturación de bases es 46.51%; pobre en alofano (2+); con 0.45% de materia orgánica; el límite no se observó por ser mas profundo.

La Serie Cupatitzio (Gómez Tagle 1982) tiene como característica "presentar color pardo-grisáceo en horizontes superficiales a pardo-grisáceo muy oscuro en subsuperficiales; son moderadamente profundos (60 cm) a profundos (180 cm), sus texturas en general se sitúan como gruesas presentándose los tipos arena migajosa, arena y migajón arenoso; sin embargo, entre los 180 y 200 cm aparece un horizonte enterrado que aunque arenoso, presenta un gran contraste en color pues es pardo-amarillento, esto denota el pertenecer a una etapa de formación anterior". En las capas del perfil tipo migajón arenoso, encontrado en el Cerro de la Cruz tenemos:

A<sub>00</sub> 6.5 a 2 cm. Hojarasca cruda.  
 A<sub>0</sub> 2 a 0 cm. Hojarasca en descomposición.  
 A<sub>11</sub> 0 a 2.5 cm. En húmedo es negro (10YR2/2); con textura migajón arenoso (60-29-11); de estructura débilmente microgranular; consistencia de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>; 15 rafces por decímetro cuadrado; con 18.12% de humedad aprovechable; ácida (pH 5.25); con 11.21% de materia orgánica; 47.16% de saturación de bases; rica en alofano; con límite abrupto horizontal.



- A<sub>12</sub> 2.5 a 14 cm. En húmedo pardo-rojizo (5YR3/4); con textura de migajón arenoso (62-30-8); es-  
tructura débilmente microgranular; con-  
sistencia de 2.25 kg/cm<sup>2</sup>; mas de 30 raí-  
ces; con 19.77% de humedad aprovechable;  
ácida (pH 5.0); con 5.37% de materia or-  
gánica; 22.11% de saturación de bases;  
rica en alofano; con límite abrupto hori-  
zontal.
- B<sub>11</sub> 14 a 28 cm. En húmedo es pardo oscuro (7.5YR3/4);  
textura tipo migajón arenoso (72-23-5);  
consistencia de 3 kg/cm<sup>2</sup>; friable; de 15  
a 20 raíces por dm<sup>2</sup>; 19.58% de humedad  
aprovechable; ácida (pH 5.0); con 1.26%  
de materia orgánica; 24.95% de satura-  
ción de bases; muy rica en alofano; con  
límite abrupto y fuertemente ondulado.
- C<sub>11</sub> 28 a 58 cm. En húmedo es pardo oscuro (7.5YR3/4);  
con textura de arena migajosa (81-15-4);  
consistencia superior a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>; de  
5 a 10 raíces por dm<sup>2</sup>; aterronada; con  
16.89% de humedad aprovechable; ácida  
(pH 5.2); con 0.03% de materia orgánica;  
15.82% de saturación de bases; rica en  
alofano; con límite tenue ondulado.
- C<sub>12</sub> 58 a 85 cm. En húmedo es pardo-rojizo oscuro (5YR  
3/2); textura arenosa (90-5-5); friable;  
consistencia de 1.0 kg/cm<sup>2</sup>; de 3 a 5 raí-  
ces por dm<sup>2</sup>; con 6.12% de humedad apro-  
vechable; ácido (pH 5.05); con 0.03% de  
materia orgánica; 10.91% de saturación  
de bases; pobre en alofano; límite abrupto  
ondulado.
- 11B<sub>11</sub> 85 a 96 cm. En húmedo es pardo oscuro (7.5YR3/4); textura de migajón arcilloso (41-27-32) es-  
tructura masiva; consistencia de 1.5

kg/cm<sup>2</sup>; 10 a 15 raíces por dm<sup>2</sup>; con 17.26 % de humedad aprovechable; ácida (pH 5.7); con 0.12% de materia orgánica; 53.26% de saturación de bases; pobre en alófono; con límite difuso.

11B<sub>21</sub> 96 a 100 cm. En húmedo es pardo oscuro (7.5YR3/4); con textura de arcilla (29-28-43); estructura masiva muy compactada (> de 4.5 kg/cm<sup>2</sup>); de 1 a 3 raíces por dm<sup>2</sup>; con 22% de humedad aprovechable; ácida (pH 5.9); con 70.30% de saturación de bases; pobre en alófono; con 0.09% de materia orgánica; con límite difuso.

11B<sub>22</sub> 100 a 115cm. En húmedo pardo oscuro (7.5YR3/4); arcilloso (29-19-52); estructura masiva; consistencia superior a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>; de 3 a 5 raíces por dm<sup>2</sup>; con 15.80% de humedad aprovechable; ácida (pH 4.65); con 0.05% de materia orgánica; 60.61% de saturación de bases; pobre en alófono; el límite no fue observado por ser más profundo.

La distribución de los tipos de suelos se puede apreciar en las figs. 4 y 5.

Nótese la estrecha relación que tienen estos con la pendiente y los asentamientos humanos: aparecen en la zona sur y poniente las capas de arcilla que corresponden a los suelos enterrados de las áreas mejor conservadas, lo que sugiere que las zonas mencionadas se encuentran en proceso de degradación por mal manejo.

### 5.3. CARACTERISTICAS DASOMETRICAS.

En el cuadro 4 se encuentran resumidos los datos de las características dasométricas. La media del área basal

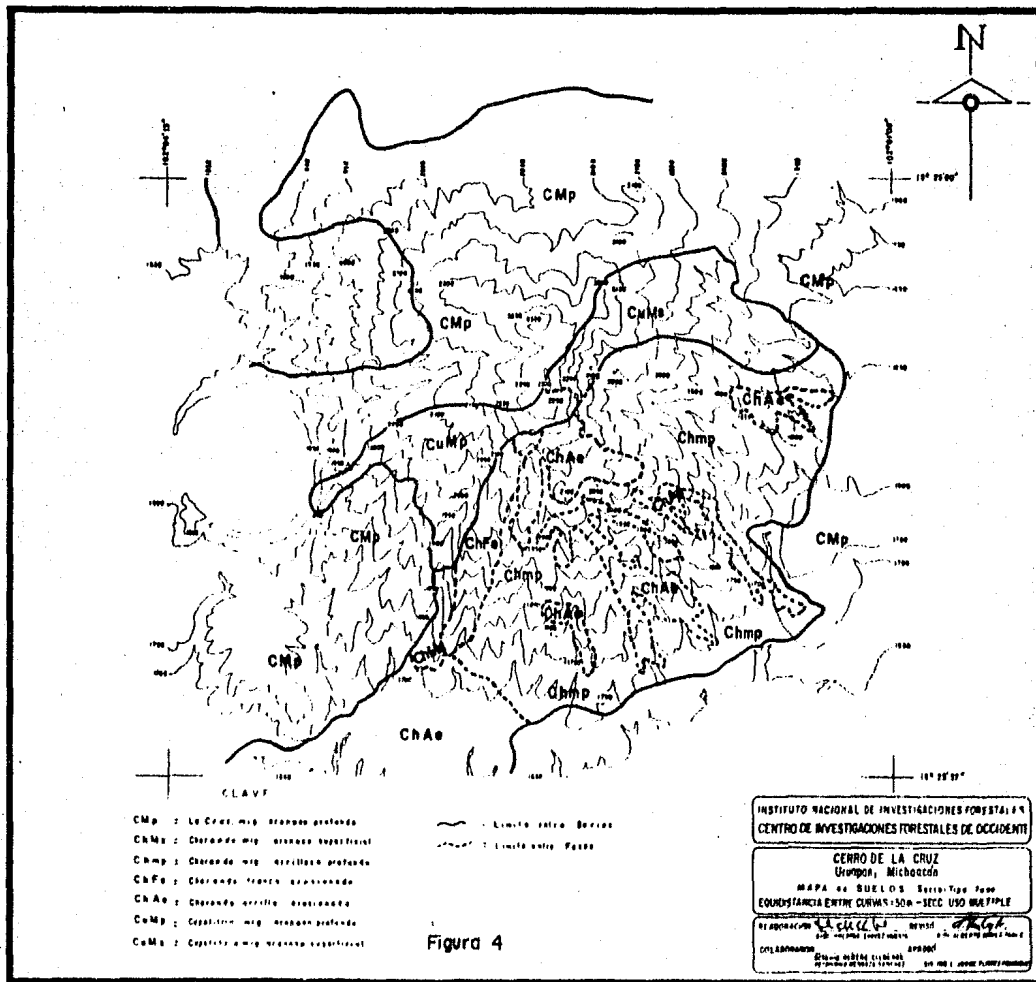


Figura 4

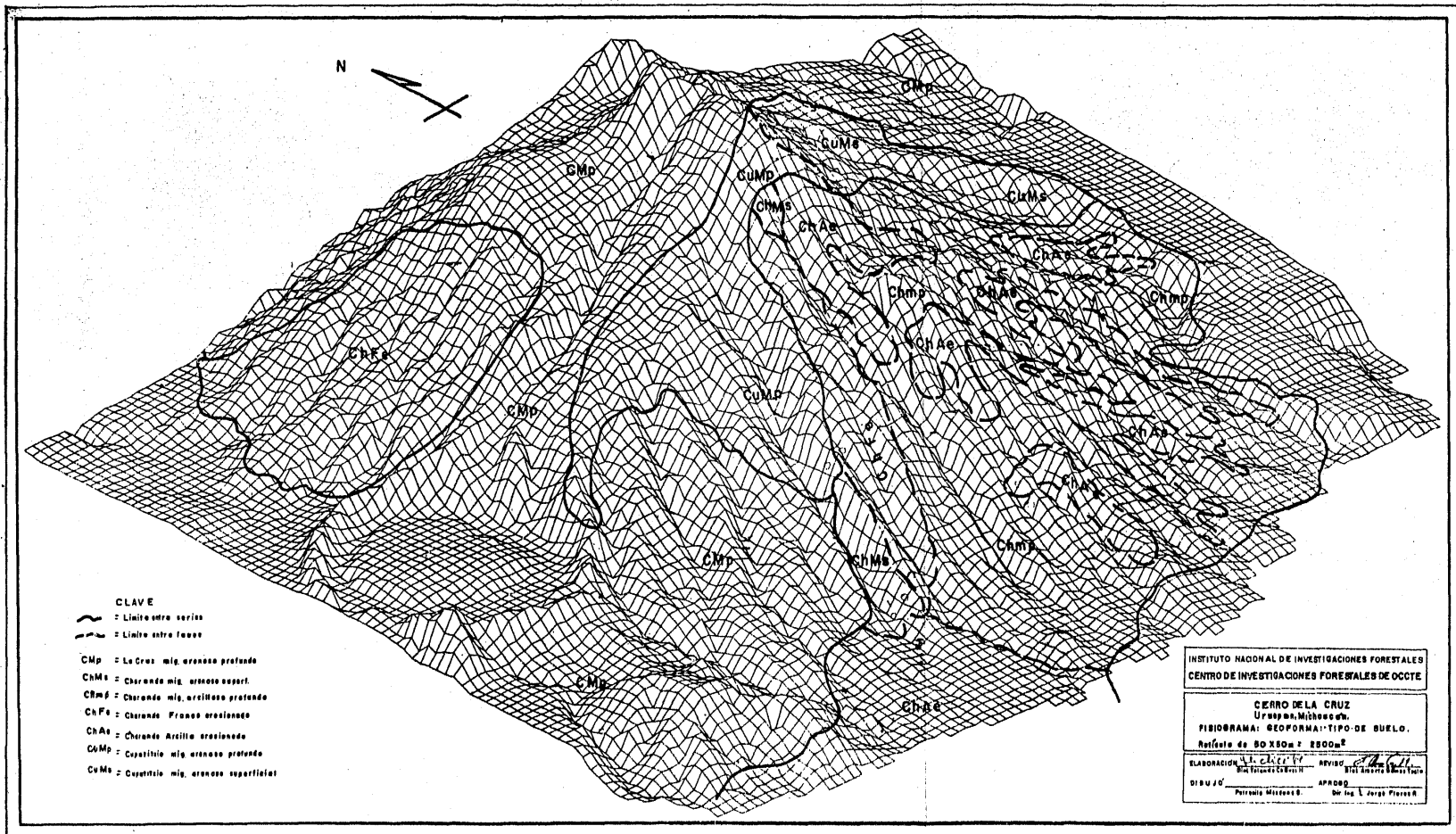


Figura 5

es  $16.11 \text{ m}^2$ , con una desviación estándar de  $6.45 \text{ m}^2$ , siendo  $2 \text{ m}^2$  el valor mínimo y  $26.25 \text{ m}^2$  el máximo; para tiempo de paso tenemos una media de 8.62 años, una desviación estándar de 2.16 años, el valor máximo es de 13.7 años y el mínimo de 5.0 años; la altura total está en metros, la media es 16.91 m, la desviación estándar 4.62 m, el mínimo es 7.5 m y el máximo 24 m; el valor máximo para incremento medio anual en altura es de 80 cm, el mínimo de 39 cm, la media 56.66 cm y la desviación estándar de 12.32 cm; respecto al diámetro, los valores mínimo y máximo son 10.0 cm y 78.0 cm respectivamente; la media es de 29.88 cm y la desviación estándar 17.09 cm; el incremento corriente anual está dado en  $\text{m}^3$  por ha; su valor medio es de  $5.62 \text{ m}^3$ , la desviación estándar es de  $3.21 \text{ m}^2$ , siendo  $0.55 \text{ m}^3$  y  $12.77 \text{ m}^3$  el mínimo y el máximo registrados; en cuanto a volumen, tenemos que  $13.70 \text{ m}^3$  corresponde al mínimo,  $286.00 \text{ m}^3$  al máximo,  $132.47 \text{ m}^3$  es la media y  $60.19 \text{ m}^3$  la desviación; los valores de edad están en años, 19 años es el mínimo y 59 años el máximo, 11.20 años la desviación y 30.72 años la media; por lo que toca al incremento medio anual, el valor máximo es de  $7.12 \text{ m}^3/\text{ha}$ , el mínimo de  $0.59 \text{ m}^3/\text{ha}$ , la media de  $4.08 \text{ m}^3/\text{ha}$  y la desviación estándar de  $1.90 \text{ m}^3/\text{ha}$ ; por último, tenemos el incremento medio anual en diámetro, para el cual  $0.92 \text{ m}^2/\text{ha}$  es la media,  $0.28 \text{ m}^2/\text{ha}$  es la desviación estándar, 0.66 el valor mínimo encontrado y 1.61 el máximo.

Las marcadas diferencias entre los valores mínimos y máximos en todos los parámetros medidos parecen deberse a las diferencias en el sustrato sobre el cual crece la masa forestal.

Cuadro 4. datos promedio de las coníferas asociadas a cada perfil de suelos muestreado en el Cerro de la Cruz.\*

No.de perfil	Altura total en metros	Diámetro normal en cm	Edad en años	Area basa en m <sup>2</sup> /ha	Volumen m <sup>3</sup> /ha	Tiempo de paso en años	IMAD m <sup>2</sup> /ha	IMAA en cm	IMA en volumen m <sup>3</sup> /ha	ICA en m <sup>3</sup> /ha
1	20.5	33.0	45	9.0	92.25	6.8	0.73	45	2.05	4.05
2	17.0	32.0	33	14.0	119.00	7.8	0.96	51	3.60	4.75
3	7.0	16.5	13	—	—	8.0	1.26	53	—	—
4	16.0	26.1	26	—	—	9.1	1.00	61	—	—
5	18.0	37.7	28	15.0	135.00	6.3	1.30	64	4.82	5.60
6	14.0	26.3	24	22.0	154.00	7.5	1.00	58	6.40	7.80
7	bosque mesófilo de montaña									
8	17.0	25.0	33	13.0	110.50	7.5	0.75	51	2.67	4.68
9	7.5	9.6	19	20.7	77.81	9.3	0.50	39	2.45	5.20
10	16.0	17.9	20	15.0	112.50	10.5	0.89	80	4.80	5.08
11	8.0	10.0	20	22.0	88.00	9.8	0.50	40	3.52	6.89
12	14.7	20.5	20	21.0	154.35	9.8	1.02	73	6.19	5.76
13	13.7	23.5	23	2.0	13.70	10.5	1.00	59	0.59	0.55
14	17.0	35.0	35	7.0	59.50	13.7	1.00	48	1.70	1.19
15	22.0	27.2	41	26.0	286.00	9.1	0.66	53	6.97	11.44
16	23.0	33.4	37	25.0	287.50	9.6	0.90	62	7.77	8.90
17	24.0	30.5	43	16.0	192.00	10.6	0.71	55	4.46	5.91
18	15.6	17.0	23	26.2	204.75	7.5	0.73	67	7.12	12.77
19	22.0	64.7	40	12.0	132.00	5.0	1.61	55	3.30	1.98
20	24.0	78.0	59	12.0	144.00	6.0	1.32	40	2.44	2.30
21	15.5	25.0	23	19.0	147.25	7.0	1.00	67	5.12	6.71
22	15.0	30.0	—	25.0	187.50	—	—	—	—	—
23	18.0	25.0	24	18.0	162.00	10.5	1.04	75	5.40	8.55

\*Las características del arbolado se tomaron por el método: Sitio de dimensiones variables.

#### 5.4. CORRELACION ENTRE CARACTERISTICAS DEL ARBOLADO.

En el cuadro 5 se resumen las correlaciones simples obtenidas entre las diferentes características medidas en la masa forestal, existiendo una estrecha relación entre el área basal (AB) el incremento corriente anual (ICA), el volumen (V) y el incremento medio anual (IMA). El tiempo de paso (TP) no mostró relaciones estrechas con alguna otra característica del rodal. La altura total (AT) se relaciona ampliamente con el diámetro (D) y la edad de los árboles. El incremento medio anual en altura (IMAA) solamente presenta buena correlación con el incremento medio anual del arbolado. Por otra parte, el diámetro muestra buenas correlaciones con la edad, la altura y el incremento medio anual en diámetro. El incremento corriente anual, como ya dijimos, está ligado al área basal, pero también al volumen y al incremento medio anual. En cuanto al volumen, éste está en función del área basal, del incremento corriente anual y del incremento medio anual. La edad se refleja en la altura total y en el diámetro. El incremento medio anual está en función del área basal, el incremento corriente anual y el volumen. Por último, el incremento medio anual en diámetro tiene una buena correlación con el diámetro de la masa.

Todos estos resultados concuerdan con lo esperado o descrito teóricamente por diversos autores.

#### 5.5. CORRELACIONES ENTRE CARACTERISTICAS DEL ARBOLADO Y DEL SUSTRATO.

Las características del sustrato que presentan buenos valores de correlación simple con las condiciones del arbolado, son muchas; sin embargo, ninguna de ellas aisladamente parece ser responsable de alguna caracte

Cuadro 5. correlación simple entre características de los pinos del Cerro de la Cruz, Uruapan, Mich.

Variables	AB	TP	AT	IMAA	DAP	ICA	Vol.	Edad	IMA	IMAD
Area basal										
Tiempo de paso										
Altura total										
Incremento medio anual en altura										
Diámetro a la altura del pecho			***							
Incremento corriente anual	***									
Volumen	***					***				
Edad			***		***					
Incremento medio anual	***			*		***	***			
Incremento medio anual en diámetro.					***					

\* significativo al 95%  
 \*\* significativo al 99%  
 \*\*\* significativo al 99.9%



rística de la masa forestal. Esto cambia sustancialmente al hacer las regresiones múltiples y así tenemos que cada una de las condiciones del arbolado puede explicarse con mayor o menor precisión conjugando diversas características del sustrato.

En nuestro país no hay enormes áreas para aprovechamientos a mata rasa sino que la planeación debe hacerse para silvicultura intensiva con aprovechamientos sostenidos tendientes al mejoramiento y conservación de las masas forestales o a las plantaciones de áreas reducidas; las características importantes a predecir en estos casos, son los incrementos medios anuales en altura, diámetro y volumen, y el incremento corriente anual. A continuación se presentan los modelos de regresión múltiple obtenidos para estas cuatro variables del arbolado. Cabe aclarar que algunos coeficientes no son tan altos como se esperaba, seguramente debido a que no tomamos en cuenta algunos parámetros del sustrato; otro factor que no debemos olvidar es que las características del arbolado, además de presentar interdependencia, varían al cambiar la densidad.

Como se ve, los coeficientes de correlación van de 0.827 a 0.993, siendo el más alto el incremento medio anual en volumen (0.993); le siguen en orden descendente: el incremento corriente anual (0.927), el incremento medio anual en diámetro (0.855) y el incremento medio anual en altura (0.827); el número de variables involucradas en cada modelo va de 4 a 9; algunas variables aparecen solamente en un modelo como potasio o pH del horizonte A, pero otras intervienen en 3 de los 4 modelos como la lámina de agua aprovechable total o el % de pendiente.

El modelo encontrado ( $Y_4$ ) es:

$$\text{IMAA} = 84.554490 - 0.28739774X_{50} - 0.28376013X_{34} \\ - 10.197529X_{19} + 0.71123682X_{49}$$

IMAA = incremento medio anual en altura

$X_{50}$  = % de pendiente dominante

$X_{34}$  = cm de espesor del horizonte B

$X_{19}$  = miliequivalentes de potasio del horizonte A

$X_{49}$  = lámina de agua aprovechable total

#### Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	4	1768.04408	442.01102	7.04222**
Residual	13	815.95592	62.76584	
Total	17	2584.0000		

\*\* altamente significativo

R = 0.82718

$R^2$  = 0.68423

s = 7.92249

CV = 13.981%

Para ( $Y_c$ ) la ecuación es:

$$\begin{aligned} ICA = & 10.428217 - 0.050933738X_{50} - 0.010391454X_{13} \\ & - 1.8318007X_{20} + 0.24059145X_{37} - 0.063208161X_{38} \\ & - 0.11329626X_{49} \end{aligned}$$

ICA = incremento corriente anual en  $m^3/ha$

$X_{50}$  = % de pendiente dominante

$X_{13}$  = % de materia orgánica del horizonte A

$X_{20}$  = partes por millón de fósforo del horizonte A

$X_{37}$  = miliequivalentes de capacidad de intercambio catiónico en el horizonte B

$X_{38}$  = % de saturación de bases del horizonte B

$X_{49}$  = lámina de agua aprovechable total

#### Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	6	151.02074	25.17012	11.35759**
Residual	11	24.37764	2.21615	
Total	17	175.39838		

\*\* altamente significativo

R = 0.92791

$R^2$  = 0.86102

s = 1.48867

CV = 26.484%

Para ( $Y_9$ ) se encontró la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{IMA} = & 20.762188 - 0.049163654X_{50} - 1.3658571X_{20} \\ & - 0.19154196X_{49} + 0.046191755X_{24} - 6.2805504X_{32} \\ & + 0.0031922566X_{53} - 0.24410519X_{13} + 3.6264803X_{31} \\ & + 0.67545975X_{36} \end{aligned}$$

IMA = incremento medio anual

$X_{50}$  = % de pendiente dominante

$X_{20}$  = partes por millón de fósforo del horizonte A

$X_{49}$  = lámina de agua aprovechable total

$X_{24}$  = % de arena del horizonte B

$X_{32}$  = densidad real del horizonte B

$X_{53}$  = grados de exposición

$X_{13}$  = % de materia orgánica del horizonte A

$X_{31}$  = densidad aparente del horizonte B

$X_{36}$  = % de materia orgánica del horizonte B

#### Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	9	61.10302	6.78922	67.00803**
Residual	8	0.81056	0.10132	
Total	17	61.91358		

\*\* altamente significativo

R = 0.99343

$R^2$  = 0.98691

s = 0.31831

CV = 7.785%

Por último, la ecuación correspondiente a ( $Y_{10}$ ) es:

$$\text{IMAD} = 1.9763425 - 0.0045970452X_{34} + 0.0021427279X_{53} \\ - 0.31728854X_{12} + 0.015736314X_2$$

IMAD = incremento medio anual en diámetro

$X_{34}$  = cm de espesor del horizonte B

$X_{53}$  = grados de exposición

$X_{12}$  = pH del horizonte A

$X_2$  = % de limo del horizonte A

#### Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	4	1.02169	0.25542	8.84330**
Residual	13	0.37548	0.02888	
Total	17	1.39717		

\*\* significativa al 99%

R = 0.85514

$R^2$  = 0.73126

s = 0.16995

CV = 18.296%

Nótese que el tamaño de la partícula es una de las características relevantes (Coile, Doolittle, Zahner, Steinbrener, Orantes y Musalem, Cervantes y Cuevas y Gómez-Tagle, obras citadas) pues aparece en todas las ecuaciones, ya sea en forma directa (% de arena o de limo) o indirectamente, en las densidades y láminas de agua aprovechable, habiendo una relación clara y directa del buen desarrollo de la masa con el aumento del tamaño de la partícula; coincidimos con Coile (op. cit.) en que posiblemente esto se deba a la necesidad de aereación y al tamaño del poro para el crecimiento de las raíces.

En lo tocante a propiedades químicas del suelo, tenemos que el % de materia orgánica, potasio y fósforo en el horizonte A, presentan una correlación inversa con el desarrollo de la masa, mientras la MO y CICT del horizonte B tienen una correlación positiva, debido probablemente a la lixiviación del horizonte A, la acumulación en el B y a que la mayor cantidad de raíces de absorción de los pinos se encuentra en este caso en el horizonte B; esto concuerda con lo encontrado por Coile (op. cit.). La correlación inversa de la saturación de bases del horizonte B puede explicarse con base en la tendencia acidófila de las coníferas.

Respecto a las condiciones generales del sustrato, vemos que el porcentaje de pendiente es muy significativo (aparece en 3 de las 4 ecuaciones) y su relación con el desarrollo forestal es inversa, lo que concuerda con lo reportado por Einspahr y Mc Comb, Coile, Doolittle, Zinke y Gómez-Tagle, y con el hecho de que a menor pendiente corresponde mayor insolación por unidad de superficie. La profundidad del horizonte B

y la lámina de agua aprovechable total muestran una relación inversa en las 4 ecuaciones, coincidente con el estudio de Coile (1948) en el cual reporta: "el índice de localidad decrece linealmente al aumentar el valor de humedad aprovechable del horizonte B". El autor atribuye esto a deficientes aereaciones en subsuelos con altos porcentajes de agua disponible; en el área estudiada el aumento de estas 2 características del suelo coinciden con el aumento de partícula fina, la cual tiene un efecto de retraso en el desarrollo de los pinos; la exposición resultó importante en 2 ecuaciones IMA e IMAD, siendo mejores las áreas noroeste (hecho semejante al reportado por Castaños op. cit.). Otros autores reportan diferentes exposiciones como óptimas y algunos de ellos explican la importancia del factor exposición en relación al microclima, que la mayor insolación y dirección de los vientos causa.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Cerro de la Cruz es un volcán extinto; esta estructura se encuentra al sur de la cuenca de absorción del Río Cupatitzio; en él observamos variaciones de la vegetación y de los suelos debido en gran parte a la influencia humana.

Las Series Cupatitzio y la Cruz se localizan en las superficies más conservadas de dicho cerro, y la Serie Charanda se encuentra en áreas con serios procesos de degradación.

Las altas pendientes y el mal manejo del recurso han provocado pérdida del suelo en la zona sur, por esta razón aparecen capas de arcilla del subsuelo, que corresponden a suelos enterrados de las áreas más conservadas; por esto se observa heterogeneidad de los suelos en el área.

El clima de la región es el adecuado para el desarrollo del bosque pino-encino; sin embargo, las diferencias microclimáticas y de suelo producen cambios en la velocidad de desarrollo de las coníferas.

El método usado en este trabajo es adecuado para estudiar la interacción de factores; sin embargo, es necesario incluir la variable clima, debido a la importancia que representa en el desarrollo de las coníferas.

El muestreo de suelos es considerado suficiente para representar el área; el muestreo forestal también es suficiente, pero recomienda muestrear latifoliadas y hacer curvas de calidad de estación (edad-altura, edad-diámetro, edad-volumen).



Es recomendable hacer estudios como el presente al iniciar los aprovechamientos maderables de una zona para obtener los modelos en las condiciones de menor perturbación y así contar con elementos de juicio para predecir y evitar el deterioro del sistema.

Las características del suelo tienen menor variabilidad que las del arbolado; en consecuencia, las predicciones sobre productividad que se hagan tomando en cuenta suelo y clima, podrán ser más seguras a largo plazo, debido a las condiciones de gran perturbación de los bosques mexicanos.

La clasificación de suelos realizada mediante los criterios de Soil Taxonomy es adecuada, por permitir mayor precisión. La clasificación hasta el nivel de fase es recomendable, pues permite entender mejor las relaciones suelo-arbolado, en extensiones semejantes a la del presente trabajo.

Los fisiogramas controlado mostraron ser útiles para la representación gráfica y la integración de factores; se recomienda su elaboración para aquellas zonas forestales a diagnosticar y para el buen uso y manejo de las ya establecidas, dado que es un método adecuado para tal fin.

La metodología seguida es adecuada para diferenciar cuáles son las características del sustrato que determinan las mejores condiciones del arbolado y asimismo permite definir los factores del suelo que limitan el desarrollo del bosque. Con la afinación de la metodología, se considera posible llegar a delimitar con mayor precisión distintos usos del ecosistema forestal. Se espera que la precisión de las predicciones aumente al tratar áreas con una sola especie.

La pendiente es un factor determinante que guarda una relación inversa con el desarrollo de las masas forestales.

Los resultados indican que para el área estudiada, el horizonte de acumulación tiene mayor influencia en los incrementos de la masa.

La literatura consultada y los resultados obtenidos, concuerdan en que el tamaño y distribución de las partículas, así como las propiedades inherentes a ellas, influyen notablemente en el desarrollo de los árboles.

La exposición es un factor importante para el desarrollo de las coníferas, en el área estudiada la mejor resultó ser la NW, posiblemente debido a la dirección de los vientos y a la mayor insolación de esta zona, respecto a las demás.

Se considera indispensable efectuar un mayor número de pruebas del método aquí seguido, tanto para afinarlo como para cuantificar el rango de sobre o subestimación que ocurre al variar la densidad del arbolado.

Se sugiere comparar este método con el de índice edáfico obtenido por curvas de calidad de estación.

Tanto los resultados obtenidos como la bibliografía revisada sugieren que los modelos de predicción basados en el sustrato tienen validez regional o local, ya que los factores limitantes (del suelo) varían de una a otra área. Aunque pueden concordar en sustrato y las condiciones ambientales semejantes.

Se sugiere a las instituciones competentes que impidan el cambio de uso del suelo del área por su valor ecológico en la captación de agua, pues es una estructura montañosa con cubierta forestal que contribuye al abastecimiento de acuíferos, tiene fuertes pendientes, suelos con alto grado de erodibilidad y abundante precipitación en forma torrencial;

por ello, de los sitios en que se ha perdido la cubierta forestal, se desprenden grandes volúmenes de suelo que forman lodos, azolvando manantiales, tuberías urbanas y presas; además de todo lo anterior y debido a su cercanía con el área urbana, el Cerro es utilizado como zona de recreación y para la práctica de deportes (ascenso y carrera) por la población de la ciudad.

El papel de la Escuela Técnica Forestal No.1 ha resultado decisivo, siendo las áreas mejor conservadas aquéllas que están al cuidado de dicha institución, por lo que se considera muy importante aumentar su presupuesto de operación para tal efecto, tanto como ampliar la zona a cargo de dicha escuela.

## 7. RESUMEN

Se realizó un estudio de los suelos forestales del Cerro de la Cruz (ubicado al norte de la ciudad de Uruapan, Mich.) y de sus relaciones con la vegetación forestal; el muestreo se hizo tomando en cuenta geoforma, topografía y cobertura del área de estudio. Los suelos se muestrearon y analizaron por horizontes; con respecto a la vegetación, se determinaron los porcentajes de cobertura del estrato arbóreo y las especies que lo forman; usando sitios de dimensiones variables, se tomaron los datos dendroepidométricos de las coníferas asociadas con cada perfil de suelo.

Los suelos fueron clasificados de acuerdo con los criterios de Soil Taxonomy, hasta el nivel de fase. Se contrastaron las características del sustrato (profundidad, % de materia orgánica, pendiente, etc.) con los datos del arbolado (altura, diámetro, volumen, etc.) y realizando regresiones múltiples, se encontraron los modelos que explican mejor las interacciones sustrato-coníferas.

En los fisiogramas controlados se probó una forma objetiva y precisa para la presentación integrada de factores.

Los resultados muestran una alta correlación de los pinos con algunas propiedades del sustrato, lo que implica un avance hacia la predicción de potencialidad forestal, aplicable también a las áreas desmontadas.

Se recomienda continuar con esta línea de investigación por la utilidad que representa para la planeación y manejo de los bosos.

ques templados de coníferas.

Se sugiere a las instituciones competentes se impida el cambio de uso del suelo del área por su valor ecológico en la captación de agua, su alto riesgo de erosión, así como por su valor social de recreación para la población de la ciudad.

## 8. BIBLIOGRAFIA CITADA

Aceves, G.R.M. y Aguilera, H.N. 1967. Introducción al estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas y de ando del Popocatepetl. III Congr. Nac. Ciencia del Suelo México.

Aguilera, H.N. 1965. Estudio preliminar del contenido arcilloso de un perfil de Tepatitlán, Jalisco. Revista Chapingo 64:1-4.

\_\_\_\_\_. 1962. Algunas notas sobre suelos de coníferas de México, en: Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. Publicación especial No.1, INIF-FAO-México, 132-138.

\_\_\_\_\_. 1963. Algunas consideraciones, características, génesis y clasificación de los suelos de ando, en: Mem. I Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo México. 233-247.

\_\_\_\_\_. 1965. Suelos de ando, génesis, morfología y clasificación. Serie de Investigación No.6, Colegio de Postgraduados. ENA Chapingo, Méx.

\_\_\_\_\_. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México. Panel sobre suelos derivados de ceniza volcánica de América Latina. Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica.

- Aguilera, H.N., Mc. Leeran, D.T. y Hernández, S.R. 1962. Suelos, problema básico de silvicultura, en: Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. Publicación especial No.1, INIF-FAO, México. 108-131.
- Allende, L.R. 1968. Introducción al estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas o de ando del volcán La Malinche. Tesis profesional. UNAM. México.
- Anaya, L.A.L. 1962. Estudio de las relaciones entre la vegetación, el suelo y algunos factores climáticos en seis sitios del declive occidental del Iztaccíhuatl. Tesis profesional. UNAM, México.
- Arteaga, M.B. y Etchevers, B.J. 1982. Influencia del suelo y las características fisiográficas en el crecimiento de Pinus radiata. Resumen del XV Congreso Nac. de la Ciencia del Suelo. CENAPRO, México; 81.
- Barrera, B.N. 1982. Etnoedafología Purépecha: El conocimiento, manejo y usos de los suelos en la cuenca de Pátzcuaro, Mich. Primer Encuentro Nacional de Cultura Popular, SEP. Uruapan, Mich. México. 1-4.
- Baver, L.D. 1956. Soil physics. Wiley. New York.
- Blake, G.R. 1965. Methods of Soil Analysis Agronomy No.16. 371-390.
- Carmean, W.H. 1968. Tree Height-Growth Patterns in Relation to Soil and Site, in: Tree Growth and Forest Soils. Edited by Chester, Youngberg and Davey. Oregon State University Press. 499-512.

- Castaños, M.L.J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de Pinus patula en el norte de Oaxaca. Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. 2:32
- Cervantes, R. y Aguilera, H.N. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos en la Meseta Tarasca, Edo.de Mich. Mem. II Congr. Nac. Ciencia del Suelo, ENA (Chapingo), México. 437-438.
- Cervantes, S.M. y R.R. Cuevas. 1981. Análisis radicular de Pinus hartwegii, Abies religiosa, P. montezumae, P. ayacahuite y algunas especies herbáceas en relación con la humedad y otras propiedades físico-químicas del suelo. Tesis profesional. Fac. de Ciencias. UNAM, México.
- Cigales, R.R. 1981. Evaluación de la actividad degradativa de microorganismos aislados de suelos derivados de cenizas volcánicas. Tesis profesional. Chapingo, México.
- Coile, T.S. 1948. Relations of soil characteristics to site index of loblolly shortleaf pines in the lower Piedmont region of North Carolina. Dukeschool Forestry Bull. 13:1-78.
- . 1952. Soil and the growth of forests, in: A.G. Norman (Ed.) Advances in Agronomy IV. Am. Soc. of Agronomy. Madison, Wisconsin 329-398.
- Cortés, L.A. 1966. Estudio pedológico de la zona oriental del Iztaccíhuatl en suelos derivados de rocas y cenizas volcánicas andeséticas. Tesis de maestría C.P. Chapin go, Méx.
- . 1966. Suelos de ando en la república mexicana. Soc. Mex. Cien. Suelo, México.



- Correa, P.G. 1974. Geografía del estado de Michoacán Tomo I. Gobierno del Estado. Morelia, Mich.
- Czarnowski, Humphreys, F.R. y Gentle, S.W. 1966. Site index as function of soil and climatic characteristics. World Symposium on Man-made forests and their industrial importance. Canberra, Australia.
- Daniel, P.W., Helms, U.E. y Baker, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. Graw-Hill, México.
- Demant A. et al. 1976. El eje neovolcánico transmexicano. III Congreso Latinoamericano de Geología. Excursión No.4. Inst. de Geología. UNAM. México.
- DETENAL. 1976. Modificaciones al sistema de clasificación FAO-UNESCO: Una opinión ante el problema de clasificación de suelos para México. SPP. México.
- DETENAL. Comunicación con el personal que hizo el levantamiento del área (aún inédito).
- Díaz, R.R. y Hunter, A. 1977. Manual de laboratorio del CATIE. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 22-25.
- Domínguez, R.V.I. 1975. Estudios ecológicos del volcán Popocatepetl. Edo. de México. Tesis profesional. Fac. de Ciencias. UNAM, México.
- Domínguez, C.R. 1982. La aplicación del levantamiento fisiográfico para la determinación del Uso Múltiple de tierras forestales en un área de la Unidad de Explotación Forestal Sn. Rafael, Edo. de México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados de la SARH, México.

- Eguiluz, P.T. 1982. Clima y distribución del género Pinus en México. *Ciencia Forestal*. 38(7):19-42.
- Enciso, C. y Lavín, S. 1975. Influencia de la vegetación y la profundidad del suelo en los ácidos húmicos. Mem. VIII Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo, México. 429-445.
- Fernández, G.R. y Paiva, F.L. 1974. Relación agua-suelo en arenas de origen volcánico. VII Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. Tomo II. México. 243-252.
- Fieldes, M. and Perrot, K.W. 1966. The nature of allophane in soils. *Jour Sci* 9:623-629 (Rapid Field and Laboratory Test Part III).
- García, C.N. 1970. Estudios edafológicos de suelos derivados de cenizas volcánicas del Popocatepetl, estado de Puebla. Tesis profesional, Fac. Ciencias, UNAM, México.
- García, E. et al. 1975. Precipitación y probabilidad de lluvia en la República Mexicana, estados de Michoacán y Colima. Edit. CETENAL, México.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Laríos, S.A. México.
- García, L. F. 1966. La fotointerpretación aérea y su aplicación a los estudios de clasificación de suelos. Chapingo, México.
- Guillén, R.A. 1971. Algunos aspectos de suelos de ando en la región del municipio de Uruapan, Mich. Tesis profesional. Fac. Ciencias, UNAM. 42.

- Guajardo, V.R. 1967. Caracterización de algunos suelos de ando de la Sierra Tarasca. Tesis de maestría. C.P. Chapingo, México.
- Golfari, L. 1963. Climatic requirements of Tropical and Subtropical Conifers. UNASYVA 17(1):33-42.
- Gómez-Tagle, R.A. 1982. Levantamiento de suelos forestales del Campo Experimental Forestal Barranca de Cupatitzío, Uruapan, Mich. Resumen del XV Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. CENAPRO, México. p. 20.
- Gómez-Tagle, R.A., Madrigal, S.X. y Bello, G.M. 1981. La vegetación y los suelos forestales de la Sierra Tarasca. Ponencia en el VIII Congr. Mex. Bot. p. 346 y comunicación personal.
- Hayama, T.M. 1971. Estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca, México. Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM, Méx.
- Hernández, S.R. y Sánchez, C.J. 1973. Guía para la descripción y muestreo de suelos en áreas forestales. Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. No.32. México.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químicos de suelos. Ed. Omega, S. A. Barcelona, España.
- Johnson, G.E.L. 1970. Morfogénesis y clasificación de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas del Pico de Orizaba, Puebla y Veracruz. Tesis profesional. Fac. de Ciencias. UNAM.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

- Madrigal, S.X. 1982. Claves para la identificación de las coníferas silvestres del estado de Michoacán. Bol. Div. Inst. Nac. Invest. For., México, No.58.
- Madrigal, S.X., Takaki, T.F. y Sánchez, C.J. 1970. Instructivo para la caracterización ecológica de los sitios de muestreo de estudio ecológico-forestal del Eje Neovolcánico. Bol. Div. Inst. Nac. Invest. For. No.24. México.
- Moncada, F.J. 1960. Estudio físico-químico de algunos suelos de origen volcánico en el estado de Michoacán. Mexico. Tesis de maestría. C.P. Chapíngo, México.
- Moncayo, R.F. et al. 1970. Manual para uso de fotografías aéreas en dasonomía. Dir. Gral. Inv. Nac. For. No.16, México.
- Munsell. 1954. Munsell Soil Color Charts. Edition Munsell Color Co. Inc. Maryland, U.S.A.
- Navarro, G.I. et al. 1962. Fertilidad de algunos suelos de la Sierra Tarasca. Agricultura Técnica Núm. 5.
- Olivas, Y. y Lavín, S. 1975. Composición y degradación de la materia orgánica en suelos del Nevado de Colima, Jal. Mem. VIII Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. México. p. 145-159.
- Orantes, G.F. y Musalem, M.A. 1982. Determinación de la calidad de estación de Pinus hartwegii en Zoquiapan, Méx. Bol. Inst. Nac. Invest. For. No.35, México. p. 3-20.
- Ortiz, S.C. y Cuanalo de la C.H.E. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. Rama de suelos. C.P., Chapíngo, México.

- Palacios, M.S., Sánchez, M.A. y Agullera, H.N. 1967. Algunos aspectos microbiológicos del suelo de ando. Mem. III Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Méx.
- Plancarte, M.I. y Trinidad, S.A. 1971. Fósforo aplicado al suelo y al follaje en el desarrollo de maíz, en dos suelos de la Meseta Tarasca bajo condiciones de invernadero. Mem. del V Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. Tomo 1, México. p. 461-483.
- Plan Lerma. 1966. Asistencia Técnica, meteorología. Boletín No.1, datos climáticos de la cuenca hidrográfica Lerma-Santiago. Guadalajara, Méx.
- Ramos, H.M. y Quiñones, G. 1974. Estudio preliminar de los suelos del volcán Iztaccíhuatl. Mem. del VII Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo, México. p. 18-29.
- Rey, C.J. 1975. Estudio de suelos de la estación de enseñanza, investigación y servicios forestales de Zoquiapan. Bol. del Depto. de Enseñanza Inv. y Servicios en Bosques. Vol. 1 No.4. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Reyna, T.T., Guillén, R.A. y Agullera, H.N. 1971. Suelos derivados de cenizas volcánicas y de ando y sus relaciones con el clima en el municipio de Uruapan, Mich. Mem. del V Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo Tomo 1, México. p. 32-58.
- Sánchez, D.N. y Pérez, T. 1959. Respuesta del maíz a fertilizantes y encalado en la Sierra de Michoacán. Agricultura Técnica en México. 9:13-14.

Shimada, M.K. 1972. Estudio de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas y de ando del Ajusco, D.F. Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM.

Soil Taxonomy. 1975. A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Handbook No.436 of Soil Conservation Service USDA.

Spurr, S.H. y Barnes, B.V. 1982. Ecología forestal A.G.T. Editor, S.A. México. p. 318-335.

Turrent, F.A. 1963. Estudio de las formas de eliminar el atraso del crecimiento en lechugas cuando se transplantan en el invernadero sobre suelos de la Sierra Tarasca. Mem. del I Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. México. p. 128-134.

Vallejo, G.E. y Aguilera, H.N. 1969. Génesis de Suelos del volcán Popocatépetl. Edo. de Morelos. Mem. IV Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo. Monterrey, México. p. 92-106.

Villalpando, B.O. 1968. Algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca, México. Tesis profesional UNAM. México.

Wilde, S.A. 1958. Forest Soils, their properties and Relation to Silviculture. The Ronald Press Co. New York, U.S. A.

Zahner, R. 1958. Site quality relationships of pine forests in southern Arkansas and northern Louisiana. Forest Science 4(2):162-176.

## Anexo 1 análisis de suelos

## Abreviaturas usadas

Denom.	= denominación
CC	= % de humedad a capacidad de campo
PMP	= % de humedad en el punto de marchitez permanente
HA	= % de humedad aprovechable
PS	= % de humedad en el punto de saturación
Da	= densidad aparente
Dr	= densidad real
EP	= % de espacio poroso
MO	= materia orgánica en %
CICT	= capacidad de intercambio catiónico total en miliequivalentes por cien gramos
SB	= % de saturación de bases
me/100	= miliequivalentes por cien gramos
P ppm	= fósforo en partes por millón
Ac. E	= acidez extractable en miliequivalentes por cien gramos
NO <sub>3</sub> ppm	= partes por millón de nitratos
N tot.	= % de nitrógeno total
mig.ar.	= migajón arenoso
mig.arc.	= migajón arcilloso
ar.mig.	= arena migajosa
pgmo	= pardo-grisáceo muy oscuro
pa	= pardo-amarillento
pao	= pardo-amarillento oscuro
po	= pardo oscuro
pg	= pardo-grisáceo
prm	= pardo-rojizo medio

pr = pardo rojizo  
pi = pardo intenso  
pmo = pardo muy oscuro  
prc = pardo-rojizo claro  
pc = pardo claro  
plo = pardo levemente oscuro  
pro = pardo-rojizo oscuro  
pac = pardo-amarillento claro  
ar = amarillo-rojizo  
ra = rojo-amarillento  
rc = rojo claro































Clave del perfil No.14 Lugar Cerro de la Cruz Zona sureste Altitud 1,795 msnm Clima (A)c(w) (w)b(1')g  
 Pendiente 85% Uso actual forestal Vegetación bosque de pino-encino

Análisis físicos

Prof. en cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Denom.	C O L O R				CC	PMP	HA	PS	Da	Dr	EP
					Seco	Denom.	Húmedo	Denom.							
2.5-0.5	H	o	j	a	r	a	b	c	a						
0.5-0	H	u	m	u	s										
0-5	44	32	24	franco	7.5YR4/4	pló	5YR3/2	pro	32.60	17.72	14.88	74	0.73	2.25	68
5-44	38	28	34	mig.arc.	5YR4/4	pr	5YR3/4	pro	33.10	17.99	15.11	70	0.81	2.32	65
44-68	35	27	38	mig.arc.	5YR4/6	ra	5YR3/4	pro	33.60	18.26	15.34	72	0.86	2.25	62
68-97	36	27	37	mig.arc.	5YR5/4	pr	5YR3/4	pro	37.40	20.33	17.07	74	0.81	2.35	66
97-143	49	23	28	mig.arc. arenoso	5YR5/4	pr	5YR3/4	pro	38.00	20.65	17.35	70	0.84	1.84	54
143-180	37	29	34	mig.arc.	5YR5/4	pr	5YR4/4	pr	34.70	18.86	15.84	62	0.92	2.22	59

Análisis químicos

Prof. en cm	pH 1:2.5		MO	CICT	SB	me/100				P ppm	Ac. E	Alófano	NO <sub>3</sub> ppm	N total
	H <sub>2</sub> O	KCl				Ca ++	Mg ++	Na +	K +					
2.5-0.5	H	o	j	a	r	a	a	c	a					
0.5-0	H	u	m	u	s									
0-5	5.20	4.80	2.68	17.68	64.42	3.72	3.29	0.65	0.54	9.0	0.15	++	3.00	0.15
5-44	4.95	4.50	1.26	16.64	61.11	4.55	4.35	0.70	0.57	0.5	0.27	++	1.75	0.11
44-68	4.65	4.30	0.18	19.72	50.05	3.56	3.24	0.54	0.38	0.5	0.36	++	2.50	0.03
68-97	4.60	4.20	0.63	17.16	47.31	2.65	2.97	0.65	0.47	0.5	1.16	++	2.00	0.05
97-143	4.60	4.15	0.14	17.68	42.70	2.91	4.00	0.36	0.28	0.5	0.68	+	1.50	0.06
143-180	4.65	4.20	0.05	18.64	52.34	3.00	2.68	0.29	1.84	1.0	0.88	++	2.00	0.04

Clave del perfil No.15 Lugar Cerro de la Cruz Zona oriente Altitud 2,120 msnm Clima (A)C(w<sub>2</sub>)(w)b(i)g  
 Pendiente 40% Uso actual forestal Vegetación bosque de pino-encino

Análisis físicos

Prof. en cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Denom.	C O L O R				CC	PHP	HA	PS	Da	Dr	EP
					Seco	Denom.	Húmedo	Denom.							
6.5-2	H	o	j	a	r	a	s	c	a						
2-0	H	u	m	u	s										
0-2.5	60	29	11	mig.ar.	7.5YR4/2	plo	10YR2/2	negro	39.70	21.58	18.20	115	0.54	2.11	74
2.5-14	62	30	8	mig.ar.	7.5YR4/4	plo	5YR3/4	pro	43.30	23.53	19.77	97	0.70	2.09	67
14-28	72	23	5	mig.ar.	7.5YR5/4	pardo	7.5YR3/4	po	42.90	23.32	19.58	85	0.74	1.92	61
28-58	81	15	4	ar. mig.	10YR6/4	pac	7.5YR3/4	po	37.00	20.11	16.89	77	0.76	2.17	65
58-85	90	5	5	arena	7.5YR5/2	pardo	5YR3/2	pro	13.40	7.28	6.12	59	1.00	2.46	59
85-96	41	27	32	mig.arc.	7.5YR5/6	pi	7.5YR3/4	po	37.80	20.54	17.26	80	0.86	2.29	62
96-100.5	29	28	43	arcilla	7.5YR5/6	pi	7.5YR3/4	po	48.20	26.20	22.00	76	0.83	2.25	63
100.5-115	29	19	52	arcilla	7.5YR5/6	pi	7.5YR3/4	po	34.60	18.80	15.80	68	0.90	2.14	58

Análisis químicos

Prof. en cm	pH 1:2.5		MO	CICT	SB	me/100				P ppm	Ac. E	Alófono	NO <sub>3</sub> ppm	N total
	H <sub>2</sub> O	KCl				Ca ++	Mg ++	Na +	K +					
6.5-2	H	o	j	a	r	a	s	c	a					
2-0	H	u	m	u	s									
0-2.5	5.25	4.50	11.21	19.76	47.16	5.06	2.83	0.67	0.76	1.00	0.39	+++	2.5	0.36
2.5-14	5.00	4.90	5.37	27.04	22.11	2.40	2.08	0.73	0.77	0.50	0.17	+++	2.0	0.17
14-28	5.00	5.10	1.26	26.25	24.95	2.83	2.16	0.80	0.76	0.25	0.16	+++	2.0	0.05
28-58	5.20	5.15	0.03	22.05	15.82	1.87	1.00	0.23	0.29	0.50	0.15	+++	1.0	0.02
58-85	5.05	5.10	0.05	19.42	10.91	1.03	0.50	0.19	0.40	0.50	0.14	++	1.0	0.03
85-96	5.70	5.00	0.12	27.56	53.26	6.60	4.58	1.84	1.66	0.25	0.16	++	1.5	0.06
96-100.5	5.90	5.00	0.09	22.36	70.30	6.86	5.66	1.73	1.47	0.00	0.16	++	2.5	0.03
100.5-115	4.65	4.80	0.05	24.96	60.61	6.18	5.75	1.73	1.47	0.00	0.16	++	2.0	0.24

Clave del perfil No.16 Lugar Cerro de la Cruz Zona oriente Altitud 2,110 msnm Clima (A)C(w<sub>2</sub>)(w)b(1)g  
 Pendiente 65% Uso actual forestal Vegetación bosque de pino-encino

Análisis físicos

Prof. en cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Denom.	C O L O R				CC	PMP	HA	PS	Da	Dr	EP
					Seco	Denom.	Húmedo	Denom.							
5-1	H	o	j	a	r	a	s	c	a						
1-0	H	u	m	u	s										
0-6	58	28	14	mig.ar.	10YR3/3	po	10YR2/2	pmo	30.10	16.36	13.74	88	0.70	2.46	68
6-10	64	23	13	mig.ar.	10YR4/2	pgo	10YR2/2	pmo	28.50	15.49	13.01	75	0.92	2.49	63
10-25	55	23	22	mig.ar.	7.5YR5/4	pardo	7.5YR3/4	po	31.30	17.01	14.29	76	0.84	2.38	65
25-40	62	25	13	mig.ar.	10YR5/2	pg	10YR2/2	pmo	25.90	14.08	11.02	78	0.92	2.45	62
40-68	45	25	30	mig.arc. arenoso	7.5YR5/4	pardo	7.5YR3/4	po	30.00	16.30	13.70	66	0.84	2.38	65
60-79	36	32	32	mig.arc.	10YR5/3	pardo	10YR3/2	pgmo	35.40	19.24	16.16	84	0.84	2.37	65
79-98	40	30	30	mig.arc.	10YR5/2	pg	10YR3/2	pgmo	38.00	20.65	17.35	86	0.83	2.33	64
98-125	55	21	24	mig.arc. arenoso	10YR6/3	pc	10YR4/3	plo	39.00	21.20	17.80	69	0.85	2.29	63

Análisis químicos

Prof. en cm	pH 1:2.5		H <sub>0</sub>	CICT	SB	me/100				P ppm	Ac. E	Alófono	NO <sub>3</sub> ppm	N total
	H <sub>2</sub> O	KCl				Ca ++	Hg ++	Na +	K +					
5-1	H	o	j	a	r	a	s	c	a					
1-0	H	u	m	u	s									
0-6	5.30	4.80	6.00	19.76	64.47	6.86	4.00	0.93	0.95	0.75	0.17	++	3.0	0.19
6-10	5.55	4.70	3.95	17.00	64.49	3.75	1.85	0.59	0.70	0.50	0.19	++	2.0	0.17
10-25	5.80	4.45	2.14	23.62	67.48	5.32	4.16	1.08	1.02	0.00	0.36	+++	1.5	0.12
25-40	5.65	4.50	6.72	10.40	79.13	4.63	2.25	0.65	0.70	0.00	0.29	+++	2.5	0.10
40-68	5.25	4.40	1.27	19.76	67.81	6.26	4.58	1.41	1.15	0.00	0.37	++	1.5	0.07
68-79	5.55	4.35	0.63	34.32	80.53	12.87	12.83	0.86	1.08	0.50	0.22	+	2.0	0.04
79-98	5.20	4.30	0.63	37.44	78.92	10.47	18.16	0.54	0.38	0.25	0.23	+	1.5	0.03
98-125	5.40	4.30	0.42	24.44	77.53	7.98	9.00	1.08	0.89	0.50	0.22	+	2.0	0.02







Clave del perfil          No.19          Lugar Cerro de la Cruz Zona noroeste Altitud 2,160 msnm Clima (A)C(w<sub>2</sub>)(w)b(i')g  
 Pendiente 63% Uso actual forestal Vegetación bosque mesófilo de montaña y b. de coníferas

Análisis físicos

Prof. en cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Denom.	C O L O R				CC	PHP	HA	PS	Da	Dr	EP
					Seco	Denom.	Húmedo	Denom.							
15-5	H	o	j	a	r	a	s	c	a						
5-0	H	u	m	u	s										
0-3.5	65	27	8	mig.ar.	10YR4/3	plo	10YR2/2	pno	33.00	17.93	15.07	88	0.74	2.27	67
3.5-26	67	29	4	mig.ar.	7.5YR5/4	pardo	7.5YR3/4	po	40.90	22.23	18.67	92	0.78	2.19	64
26-58.5	60	31	9	mig.ar.	7.5YR5/4	pardo	7.5YR3/4	po	22.60	12.28	10.32	83	0.84	2.16	61
58.5-64	52	32	16	mig.ar.	7.5YR5/4	pardo	7.5YR3/4	po	43.40	23.59	19.81	81	0.85	2.20	61
64-90	48	32	20	franco	10YR5/4	pa	10YR3/4	pao	29.61	16.09	13.52	72	0.84	2.23	62
90-116	53	30	17	mig.ar.	10YR5/4	pa	10YR3/4	pao	42.60	23.15	19.45	75	0.86	2.30	63
116-170	55	31	14	mig.ar.	10YR6/4	pac	7.5YR3/4	po	41.40	22.50	18.90	65	0.99	2.24	56

Análisis químicos

Prof. en cm	pH 1:2.5		MO	CICT	SB	me/100				P ppm	Ac. E	Alófono	NO <sub>3</sub> ppm	N total
	H <sub>2</sub> O	KCl				Ca ++	Mg ++	Na +	K +					
15-5	H	b	j	a	r	a	s	c	a					
5-0	H	u	m	u	s									
0-3.5	4.40	4.85	6.89	17.68	47.90	3.86	1.42	0.58	0.70	3.0	0.46	+++	1.5	0.14
3.5-26	4.60	5.05	3.71	21.84	30.26	2.71	1.75	0.80	0.89	0.5	0.15	+++	2.0	0.20
26-58.5	4.60	4.85	1.91	21.11	47.84	3.77	2.58	1.84	1.91	0.5	0.14	++	2.0	0.12
58.5-64	4.51	4.45	1.13	21.11	72.71	6.35	3.91	2.60	2.49	0.0	0.24	+	2.0	0.07
64-90	5.87	4.25	0.56	20.60	92.71	6.18	4.81	3.08	3.32	0.0	0.30	+	2.0	—
90-116	4.71	4.30	0.49	26.78	74.64	8.32	5.41	3.26	3.00	0.0	0.28	+	2.0	—
116-170	4.58	4.20	0.42	22.14	93.63	7.63	8.08	1.60	2.42	0.0	0.26	+	0.5	—









## Anexo 2. variables X y Y utilizadas

- $X_1$  = % de arena del horizonte A  
 $X_2$  = % de limo del horizonte A  
 $X_3$  = % de arcilla del horizonte A  
 $X_4$  = capacidad de campo del horizonte A  
 $X_5$  = punto de marchitez permanente del horizonte A  
 $X_6$  = humedad aprovechable del horizonte A  
 $X_7$  = punto de saturación del horizonte A  
 $X_8$  = densidad aparente del horizonte A  
 $X_{10}$  = % de espacio poroso del horizonte A  
 $X_{11}$  = cm de espesor del horizonte A  
 $X_{12}$  = pH del horizonte A  
 $X_{13}$  = % de materia orgánica del horizonte A  
 $X_{14}$  = miliequivalentes/100 de capacidad de intercambio catiónico del horizonte A  
 $X_{15}$  = % de saturación de bases del horizonte A  
 $X_{16}$  = miliequivalentes/100 de calcio en el horizonte A  
 $X_{17}$  = miliequivalentes/100 de magnesio en el horizonte A  
 $X_{18}$  = miliequivalentes/100 de sodio en el horizonte A  
 $X_{19}$  = miliequivalentes/100 de potasio en el horizonte A  
 $X_{20}$  = partes por millón de fósforo del horizonte A  
 $X_{21}$  = partes por millón de nitratos del horizonte A  
 $X_{22}$  = lámina de agua aprovechable del horizonte A en cm  
 $X_{23}$  = miliequivalentes/100 de acidez extractable del horizonte A  
 $X_{24}$  = % de arena del horizonte B  
 $X_{25}$  = % de limo del horizonte B  
 $X_{26}$  = % de arcilla del horizonte B  
 $X_{27}$  = capacidad de campo del horizonte B  
 $X_{28}$  = punto de marchitez permanente del horizonte B



- $X_{29}$  = humedad aprovechable del horizonte B  
 $X_{30}$  = punto de saturación del horizonte B  
 $X_{31}$  = densidad aparente del horizonte B  
 $X_{32}$  = densidad real del horizonte B  
 $X_{33}$  = % de espacio poroso del horizonte B  
 $X_{34}$  = cm de espesor del horizonte B  
 $X_{35}$  = pH del horizonte B  
 $X_{36}$  = % de materia orgánica del horizonte B  
 $X_{37}$  = miliequivalentes/100 de capacidad de intercambio catiónico del horizonte B  
 $X_{38}$  = % de saturación de bases del horizonte B  
 $X_{39}$  = miliequivalentes/100 de calcio del horizonte B  
 $X_{40}$  = miliequivalentes/100 de magnesio del horizonte B  
 $X_{41}$  = miliequivalentes/100 de sodio del horizonte B  
 $X_{42}$  = miliequivalentes/100 de potasio del horizonte B  
 $X_{43}$  = partes por millón de fósforo del horizonte B  
 $X_{44}$  = partes por millón de nitratos en el horizonte B  
 $X_{45}$  = cm de lámina de agua aprovechable del horizonte B  
 $X_{46}$  = miliequivalentes/100 de acidez del horizonte B  
 $X_{47}$  = cm de profundidad del suelo  
 $X_{48}$  = cm de profundidad total del suelo  
 $X_{49}$  = cm de lámina de agua aprovechable total  
 $X_{50}$  = % de pendiente dominante  
 $X_{51}$  = cm de lámina de agua aprovechable efectiva  
 $X_{52}$  = altitud sobre el nivel del mar en metros  
 $X_{53}$  = grados de exposición  
 $Y_1$  = área basal en  $m^2/ha$   
 $Y_2$  = tiempo de paso en años  
 $Y_3$  = altura total en metros  
 $Y_4$  = incremento medio anual en altura en cm  
 $Y_5$  = diámetro normal en cm  
 $Y_6$  = incremento corriente anual,  $m^3/ha$   
 $Y_7$  = volumen  $m^3/ha$   
 $Y_8$  = edad en años  
 $Y_9$  = incremento medio anual en volumen,  $m^3/ha$   
 $Y_{10}$  = incremento medio anual en diámetro,  $m^2/ha$