



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA



**INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD HUMANA SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS DEL HORIZONTE A, EN LOS PAISAJES DE UNA CUENCA DEL PARQUE NACIONAL COFRE DE PEROTE, VERACRUZ.**

## TESIS

QUE PARA OBTENER LA LICENCIATURA EN:

### Geografía

PRESENTA

María Ramírez Salazar



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

DIRECTOR DE LA TESIS

Dr. Daniel R. Geissert Kientz

México, D. F.

1998

268423

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

45  
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD HUMANA SOBRE LAS PROPIEDADES  
EDÁFICAS DEL HORIZONTE A, EN LOS PAISAJES DE UNA CUENCA  
DEL PARQUE NACIONAL COFRE DE PEROTE, VERACRUZ.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER LA LICENCIATURA EN:

**Geografía**

PRESENTA

**María Ramírez Salazar**



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

DIRECTOR DE LA TESIS

**Dr. Daniel R. Geissert Kientz**

A Benigno Ramírez y María del Carmen Salazar pilares de mi vida y de mi profesión

***Gracias.***

**Mi profundo agradecimiento:**

Al Dr. Daniel R. Geissert Kientz por su atinada, paciente y constante dirección y asesoría.

Al Instituto de Ecología A. C. por haber facilitado el logro de un sueño difícil y restringido como es el de realizar un trabajo de investigación.

Al CONACYT (proyecto 4737-N9406) por haber otorgado una beca y sufragado los gastos del trabajo de campo y de análisis.

A la M en C Lourdes Cruz por todo su apoyo en la determinación de análisis de suelos y en la interpretación de los mismos. Además por la revisión al documento final.

A la Téc. Ninfa Portilla por la realización de los análisis de suelos.

A la Lic. Evelia Ramírez por su gran ayuda en la aplicación del sistema de información geográfica y el diseño de mapas.

Al M en C Adolfo Campos que enriqueció este documento con su asesoría y sugerencias.

Al Dr. Carlos Montaña y al Dr. Óscar Briones por la asesoría en el tratamiento estadístico.

A la Dra. Lilly Gama y a la Dra. Margarita Soto por las facilidades para el uso de los equipos.

Al Mtro. Juan Chávez y la Mtra. Rosario Landgrave por su apoyo y asesoría en el manejo de los programas de computo.

***...Y al "Cofre de Perote"***

---

*Es la savia entrañable  
que madura los campos.  
Es sangre de poetas  
que dejaron sus almas  
perderse en los senderos  
de la Naturaleza*

*Miel de luna que fluye  
de estrellas enterradas...*

*...que sube al cielo  
en envolturas blancas.*

*Los árboles que cantan  
se tronchan y se secan.  
Y se tornan llanuras  
las montañas serenas.*

*Mas la canción del agua  
es una cosa eterna.*

*Federico García Lorca  
centenario de su natalicio*

---

# CONTENIDO

	<i>Página</i>
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>4</b>
1.1 Justificación	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Hipótesis	6
<b>2 ANTECEDENTES</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	<b>7</b>
2.1 Relación geoformas-suelo-vegetación y la influencia humana	8
2.1.1 El suelo y sus propiedades	8
2.1.2 Relación relieve-suelo	10
2.1.3 Relación bosque-suelo	12
2.1.4 Andosoles	14
2.2 Paisaje y el proceso de fragmentación	18
2.2.1 Desforestación en laderas	23
<b>MARCO ESPACIAL DE REFERENCIA</b>	<b>28</b>
2.3 El sistema natural "Cofre de Perote"	29
Localización	29
Clima	29
Hidrología	30
Geomorfología	31
Suelo	32
Vegetación	32
Historia del uso de los recursos naturales	34

<b>3 METODOLOGÍA</b>	<b>36</b>
3.1 Marco metodológico	37
3.2 Etapas del trabajo	38
3.2.1 Caracterización del área de estudio	38
Revisión de material bibliográfico	38
Definición del espacio de análisis	38
Elaboración de la cartografía	39
Integración de datos en un sistema de información geográfica (SIG)	39
3.2.2 Análisis de la variación en las propiedades edáficas	40
Selección de sitios	40
Obtención de muestras	40
Levantamiento de encuestas. Evaluación del medio antropogénico	41
Preparación de las muestras para análisis de laboratorio	41
Determinación de parámetros físicos y químicos	42
Manejo y tratamiento de datos	43
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>44</b>
4.1 Caracterización de la cuenca de estudio	44
4.1.1 El medio natural	45
4.1.2 El medio socioeconómico	55
4.1.3 Paisajes geoecológicos	60
4.2 Características de la muestra	71
4.2.1 El muestreo en el paisaje geoecológico de laderas onduladas con abetos	72
4.2.2 Análisis estadístico de las propiedades edáficas del horizonte superficial	81
<b>5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>91</b>
<b>6 CONCLUSIÓN</b>	<b>99</b>
<b>7 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
<i>Anexo No. 1 Características físicas y químicas de los perfiles de referencia</i>	107
<i>Anexo No. 2 Cuestionario para el diagnóstico de las parcelas agrícolas muestreadas</i>	122

## ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
<b>Tabla 1</b> Niveles de modificación de los paisajes	19
<b>Tabla 2</b> Algunos efectos de las perturbaciones sobre los componentes del paisaje	22
<b>Tabla 3</b> Paisajes geomorfoedafológicos para la cuenca	50
<b>Tabla 4</b> Características edáficas del horizonte superficial en un gradiente altitudinal	53
<b>Tabla 5</b> Características edáficas del horizonte superficial en un gradiente de humedad	53
<b>Tabla 6</b> Superficie ocupada por tipo de geoforma	63
<b>Tabla 7</b> Superficie ocupada por tipo de vegetación en el paisaje de alta montaña	64
<b>Tabla 8</b> Niveles de modificación de los paisajes en la cuenca	66
<b>Tabla 9</b> Superficie ocupada por tipo de vegetación en el paisaje de laderas onduladas con abetos	68
<b>Tabla 10</b> Superficie en hectáreas de las combinaciones geoforma-uso en la cuenca y selección para el muestreo	73
<b>Tabla 11</b> Localización y características ambientales de los sitios de muestreo	74
<b>Tabla 12</b> Características del horizonte superficial de los sitios muestreados	76
<b>Tabla 13</b> Características físicas y químicas del horizonte superficial en los Andosoles de la cuenca	78
<b>Tabla 14</b> Niveles de significatividad en las diferencias entre valores promedio de los parámetros edáficos en el horizonte superficial de bosque y cultivo	89
<b>Tabla 15</b> Media y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos para los grupos de combinaciones	90



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
<b>Figura 1</b> Esquema tridimensional de las laderas	12
<b>Figura 2</b> Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio	46
<b>Figura 3</b> Mapa topográfico y termopluiométrico	47
<b>Figura 4</b> Mapa de paisajes geomorfoedafológicos	49
<b>Figura 5</b> Mapa de hidrografía	52
<b>Figura 6</b> Tipo y grado de presión sobre el bosque en el Ejido El Conejo	56
<b>Figura 7</b> Evolución del rendimiento por planta de papa en situación de abono orgánico y de aplicación de fertilizantes y plaguicidas	57
<b>Figura 8</b> Proceso de incorporación de tierras al cultivo de papa	57
<b>Figura 9</b> Mapa de paisajes geocológicos y asociaciones vegetales	61
<b>Figura 10</b> Mapa de geoformas	62
<b>Figura 11</b> Mapa de niveles de modificación	65
<b>Figura 12</b> Mapa de variación de algunos parámetros edáficos en las combinaciones geoforma-uso estudiadas	80

## *Resumen*

*Manejo agrícola de los Andosoles en el Cofre de Perote*



La conversión de áreas boscosas a cultivo tiene numerosos efectos sobre el suelo, desde la disminución de su productividad hasta su degradación. Aunque este problema haya sido estudiado en diferentes suelos, tanto en climas templados como tropicales, poco se sabe de los cambios edáficos que ocurren en las montañas volcánicas, en donde los Andosoles constituyen el sustrato más común de los pinares y cultivos de papa, que compiten por el espacio a lo largo de la frontera agrícola. Por tal motivo, este estudio pretende analizar los cambios de las propiedades físicas y químicas del horizonte superficial del suelo cultivado con respecto al forestal, en una cuenca del Parque Nacional Cofre de Perote, con bosque de oyamel y pino fragmentados por la actividad humana.

El muestreo del horizonte A se efectuó alrededor del poblado El Conejo en 36 sitios, 18 de los cuales son de bosque y los otros de cultivo, con seis repeticiones en cada una de las tres geoformas más representativas del área: ladera recto-convexa (RCx), recto-cóncava (RCv) y convexo-convexa (CxCx). Las variables analizadas son: el espesor del horizonte, la densidad aparente y la densidad real, la porosidad total, los contenidos de humedad, de arcilla, de limo y de arena, el pH, la materia orgánica y el carbono orgánico, el nitrógeno total, la relación C/N, el fósforo extractable, el magnesio, el calcio, el potasio, el sodio y el aluminio intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico efectiva. Se comparan los valores para bosque y cultivo en las tres geoformas mediante una ANOVA de dos vías, a fin de establecer diferencias significativas ( $P < 0.05$  y  $P < 0.001$ ) entre los grupos.

En la cuenca predomina el tipo de suelo Andosol úmbrico, el cual en condiciones de cultivo, presenta una disminución altamente significativa con respecto al Andosol que mantiene bosque, en los valores de humedad (de 72.2% a 48.3%;  $P = 0.001$ ), de materia orgánica (de 16.1% a 8.6%;  $P = 0.001$ ), de la relación C/N (de 20.66 a 12.80;  $P = 0.002$ ), de los contenidos de limo (de 42.6% a 36.6%;  $P = 0.003$ ) y de magnesio intercambiable (de 1.53 a 0.56  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ;  $P = 0.004$ ). La disminución de la porosidad total, de 48.2% a 41.8%, es ligeramente significativa ( $P = 0.015$ ). Asimismo, manifiesta un aumento altamente significativo en la densidad aparente (de 1.03 a 1.24  $\text{Mgm}^{-3}$ ;  $P = 0.000$ ), en el fósforo extractable (de 5 a 13  $\text{mgkg}^{-1}$ ;  $P = 0.001$ ), en el contenido de arena (de 34.2% a 42.7%;  $P = 0.003$ ) y en la densidad real (de 1.99 a 2.15  $\text{Mgm}^{-3}$ ;  $P = 0.005$ ).

Aunque no se presentan diferencias estadísticamente significativas existe una disminución en los parámetros de espesor del horizonte superficial, en los contenidos de arcilla, de nitrógeno total, de calcio, de potasio y de sodio intercambiables; y en general, en la capacidad de intercambio catiónico efectiva. También se observan incrementos en los contenidos de aluminio y de acidez intercambiables.

Dichos cambios son más acentuados en laderas recto-convexas y menos notorios en las recto-cóncavas. Las convexo-convexas ocupan un nivel intermedio.

Estas perturbaciones ecológicas en la cuenca derivan de una intensa deforestación ocurrida en la primera mitad de este siglo y del pastoreo nómada en la zona alta, y/o de las prácticas agrícolas mal orientadas en la parte baja, que se han desarrollado durante las últimas tres décadas (en esta zona se realizó el muestreo). La dinámica histórica del cultivo de la papa es responsable de la fragmentación del paisaje y del mosaico actual que presenta el uso del suelo; es también la causa de los cambios edáficos. En la zona, este cultivo debe encontrar su justa dimensión como actividad productiva ya que ecológica y económicamente es prioritario restablecer el equilibrio y recuperar las propiedades de los Andosoles.

## *Introducción*

*La cima de la montaña con forma de "cofre"*



La degradación del paisaje debido al desarrollo de las actividades humanas es un problema que cobra mayor relevancia cuando se trata de las áreas montañosas y las cabeceras de cuenca, porque en esas situaciones las consecuencias de cualquier transformación se proyectan directa e indirectamente en toda el área de influencia.

El agua, el suelo, los bosques y, en general, los recursos naturales renovables, han estado a merced del crecimiento de la "civilización" ahora en su fase globalizadora, lo cual nos obliga a conocer, controlar y administrar los recursos vitales para nuestra supervivencia. La deforestación, como costumbre o necesidad para abrir nuevas tierras a la agricultura, ha ocasionado la fragmentación de los paisajes y acentuado la heterogeneidad ambiental que influye directamente en los procesos abióticos y bióticos que regulan el funcionamiento de los ecosistemas (Urban *et al.*, 1987). Las regiones de ladera sometidas a un sistema de manejo agrícola inapropiado manifiestan consecuencias medioambientales y socioeconómicas muy severas después de su deforestación.

En zonas volcánicas donde se desarrollan los Andosoles, se desconoce el impacto de la deforestación sobre las propiedades de los suelos. Estos, derivados del intemperismo de los depósitos volcánicos no consolidados, presentan propiedades particulares relacionadas con los minerales amorfos que forman enlaces muy estables con la materia orgánica (FAO-UNESCO, 1989). Bajo condiciones naturales (vegetación de bosque), las propiedades físicas e hídricas de estos suelos son particularmente desarrolladas, en especial la baja densidad aparente, la alta porosidad y la importante retención de agua (Aguilera, 1989).

Las propiedades de dichos suelos tienen relación no sólo con el tipo de cubierta vegetal que sostiene, sino también con el relieve en que se encuentra y sobre todo, con las formas de utilización a las que esté sometido el suelo. Se ha brindado en general poca atención a la influencia de las actividades humanas sobre los procesos que pueden favorecer o impedir el desarrollo de los Andosoles.

El paisaje del Cofre de Perote se presenta actualmente como un mosaico de diferentes usos del suelo, en ocasiones incompatibles entre sí, producto de un manejo desintegrado de los ecosistemas, y frecuentemente promovidos por las mismas instancias de gobierno y organismos de desarrollo que apoyan acciones en el ámbito rural cuyos programas, en muchos casos, no consideran la interacción que existe entre los componentes del paisaje. Todo esto acentúa la discrepancia que existe entre los objetivos de protección atribuidos a esta zona por encontrarse en un Parque Nacional, y las necesidades de los habitantes, los intereses de las instituciones o las expectativas de los pobladores del área de influencia. En todo esto, la resultante es una fuerte degradación del medio.

Dubroeuq *et al.* (1992) estudiaron las propiedades fisicoquímicas de los Andosoles de la región y mostraron con ensayos de laboratorio que al desecarse, el suelo pierde su capacidad de retención de agua. Meza (1996) logró poner de manifiesto que los cambios en la cubierta vegetal (de bosque a cultivo) podían alterar las características físicas e hídricas de los Andosoles, a pesar de haber realizado su estudio en pocos puntos dispersos en toda la zona (Cofre de Perote). Para corroborar

estos resultados y profundizar en el tema, este trabajo pretende mostrar, con observaciones sistemáticas y en condiciones geocológicas similares, que los cambios en la capa superficial del suelo resultan de la transformación de la cubierta vegetal y que éstos varían de un sitio topográfico a otro.

El presente estudio forma parte de un proyecto de investigación más amplio apoyado por el Conacyt (proyecto 4737-N9406) sobre los ecosistemas naturales del Cofre de Perote y las propiedades edáficas de la rizósfera, y su propósito es estudiar los cambios que pueden producirse en algunas propiedades del suelo en paisajes fragmentados por la deforestación.

# *1. Planteamiento del Problema*

*La degradación del suelo en parcelas desforestadas*



## 1.1 Justificación

Las zonas volcánicas son fértiles y han sido sometidas a una intensa explotación desde hace mucho tiempo. En nuestro país la mayor parte de las zonas volcánicas coinciden con regiones montañosas, en donde las actividades agropecuarias y forestales son las causas principales del deterioro de los ecosistemas; sus efectos se manifiestan por cambios en la cubierta forestal, lo que representa una fragmentación del paisaje y un desequilibrio en el hábitat. Los cambios de uso del suelo repercuten en el funcionamiento global de los ecosistemas y ocasionan perturbaciones en los ciclos naturales (regeneración, agua, nutrientes, especies, suelos...).

De todos los problemas de deterioro del medio, la degradación del suelo es el más importante porque el suelo constituye el sustento de muchos otros componentes y su alteración induce problemas colaterales en cada uno de ellos, por lo tanto es asunto primordial en la sustentabilidad de la naturaleza.

Se desconocen generalmente los efectos de la deforestación en suelos de origen volcánico, en particular en el Cofre de Perote. Esta zona forestal, cercana a ciudades importantes del centro del estado de Veracruz, mantiene una interdependencia con la dinámica urbana e industrial de la región; por ello, los procesos que transforman el paisaje atraen gran interés y preocupación. Lo anterior se suma al hecho de que la porción más alta de la montaña está decretada como Parque Nacional, mismo que no se excluye de la situación de abandono experimentada por muchas otras áreas protegidas en el país, siendo así apremiante la necesidad de plantear mecanismos que atenúen y corrijan los procesos de deterioro antes de su irreversibilidad.

Cada uno de los flancos de la montaña registran actividades humanas que perturban el entorno natural; sin embargo, en el flanco norte es donde la actividad agrícola ha incursionado a mayores altitudes, precisamente dentro del Parque Nacional en donde se encuentra la cuenca objeto de nuestro estudio. En la actualidad, los paisajes del Cofre de Perote son un mosaico de diferentes usos del suelo, muchos de ellos incompatibles entre sí. Una historia de transformaciones generadas a partir del uso indiscriminado del bosque y del suelo dan cuenta de cambios en las propiedades de los Andosoles y, consecuentemente, en las posibilidades agroproductivas de los campesinos, tomando en cuenta que estos suelos son fisicoquímicamente muy susceptibles a transformaciones de su medio.

Por lo anterior, se realiza el presente estudio para conocer las relaciones que se establecen entre el relieve, el suelo y la vegetación, y en particular, la influencia que ejerce la actividad humana sobre estos componentes que repercuten en alteraciones de las propiedades edáficas en los paisajes de una cuenca del Parque Nacional Cofre de Perote.



## 1.2 Objetivos

Analizar la magnitud de los cambios físicos y químicos del horizonte superficial de los Andosoles, en un paisaje boscoso fragmentado, de una cuenca del Cofre de Perote.

Dicho planteamiento establece tres objetivos específicos que son:

- ▶ Elaborar una cartografía del relieve y del uso del suelo de la cuenca.
- ▶ Estudiar algunas propiedades edáficas del horizonte superficial en bosque y cultivo, y en diferentes posiciones topográficas.
- ▶ Evaluar la dinámica de uso del suelo y la percepción de los pobladores respecto de los efectos ambientales provocados por los sistemas de producción y formas de utilización de los recursos.

## 1.3 Hipótesis

La transformación de un paisaje de bosque por la actividad agrícola modifica las propiedades del suelo. La magnitud de los cambios se puede establecer comparando sitios con usos y condiciones del relieve distintas.

Los contrastes más fuertes se presentan en los contenidos de materia orgánica y de humedad de los suelos ubicados en sitios con relieve convexo.

## *2. Antecedentes. Marco Teórico y Conceptual*

*Bosque de oyamel (*Abies religiosa*) fragmentado por cultivos de papa*



## 2.1 Relación geoformas-suelo-vegetación y la influencia humana

### 2.1.1 El suelo y sus propiedades

El suelo es un sistema en donde se establecen flujos de energía y materia. El material de origen, el relieve, el clima, la vegetación y el tiempo, son los factores responsables de la clase, la velocidad y la amplitud de evolución del suelo, y explican la diversidad que presentan los suelos a partir de sus variaciones individuales o en conjunto (Millar *et al.*, 1975).

El **material de origen** sobre el que se desarrolla el suelo puede ser de naturaleza mineral u orgánica, y le impone sus características. El **relieve** mantiene estrecha relación con la profundidad del suelo, el espesor del horizonte A, el contenido de materia orgánica, el color del perfil y el grado de diferenciación de los horizontes. El **clima**, a través de sus componentes temperatura y precipitación, influye en la acumulación de materia orgánica, en los tipos de reacciones e intercambios del suelo, en la magnitud de los efectos de lixiviación, en los procesos de intemperismo y en el contenido y la clase de arcilla. La **vegetación** es preponderante en la acumulación de humus, el ciclo de nutrientes, la acción de microorganismos, la proporción de eluviación y lixiviación. Finalmente, el **tiempo** controla las etapas y la magnitud del desarrollo pedológico (Ortiz y Ortiz, 1980; Buol *et al.*, 1981).

Las propiedades de carácter físico más importantes para el suelo son: el **espesor**, que influye en su capacidad para contener humedad y ponerla a disposición de las plantas; es un factor decisivo en el desarrollo radicular. La **humedad** está definida por la cantidad de agua y soluciones contenidas. Es uno de los componentes más variables y su presencia está relacionada con el espacio poroso y la textura. El exceso de agua favorece el hidromorfismo y la anaerobiosis, mientras que la resequeidad producida por la evaporación, favorece la migración de las sales hacia la superficie. El **color** es la manifestación de tres factores: el material de origen, el clima y la materia orgánica. Los minerales que constituyen a las rocas le confieren características de tonalidad, así como la humedad y la temperatura que determinan los hábitats y los procesos biológicos. En zonas tropicales, el color puede ser de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, mientras que en las zonas frías los colores acentúan su intensidad oscura. La dominancia de ácidos húmicos impondrá colores oscuros, los cuales se acentuarán en la medida en que se incrementen los contenidos de dichos ácidos.

Las características de **peso y volumen del suelo** se determinan a partir de las densidades aparente y real, de donde se deriva la **porosidad**. El espacio poroso es el volumen del suelo ocupado por aire y agua; su tamaño está dado por el arreglo que adopten las partículas. La densidad real o **densidad de las partículas** es el peso de un volumen de suelo conocido comparado con el peso de un volumen igual de agua; es la diferencia que existe entre el peso de los fluidos. La **densidad**

**aparente** es el peso por unidad de volumen del suelo seco (partículas más poros); se encuentra en relación directa con la profundidad en el perfil y, consecuentemente, en relación inversa con el contenido de materia orgánica. Una baja densidad aparente refleja una alta porosidad, lo cual asegura la aireación, la permeabilidad y la retención del agua en el suelo.

La **textura** mantiene una influencia directa sobre algunas reacciones físicas, químicas y biológicas, ya que determina la extensión de la superficie donde se suceden dichas reacciones. Los suelos en donde predomina la arcilla tienen una mayor superficie activa, poseen una elevada capacidad de absorción de nutrientes y de retención de agua pero además, la abundancia de arcilla restringe severamente el movimiento del aire y del agua, dificultando la penetración de raíces y la infiltración. Al contrario, los suelos arenosos tienen más porosidad y permiten una rápida infiltración. El cambio en la forma de manejo del suelo puede inducir desequilibrio en la proporción de las clases texturales.

La **estructura** es el arreglo de las partículas que forman el suelo. Infiere en la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, determinando la productividad y las facilidades de labranza. Las propiedades electroquímicas del humus y el tipo de arcilla son efectivas en la organización y estabilización de los agregados. Los desechos y otros productos viscosos microbianos también favorecen el desarrollo granular y ejercen una influencia estabilizadora. El laboreo tiene efectos favorables y desfavorables en la granulación, debido a que descubre el suelo, incorpora la materia orgánica, rompe los terrones y produce una mejor cama para el cultivo, lo cual es benéfico; empero, cuando la labranza es constante y prolongada, se manifiestan efectos degenerativos en los gránulos de la capa superficial del suelo, debido a la oxidación de la materia orgánica y a la compactación del suelo (Ortiz y Ortiz, 1980).

De las propiedades químicas destaca el contenido de **materia orgánica**, que es el componente más importante en la vida del suelo, al aportar 13 de los 16 elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Entre los macronutrientes se encuentran: nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, sodio, potasio y magnesio; los micronutrientes son: hierro, zinc, cobre, cobalto, boro y manganeso, que son disponibles para las plantas, previa descomposición de la materia orgánica. El **nitrógeno** indispensable para el desarrollo de las hojas y tallos de las plantas, también se obtiene de la atmósfera mediante un proceso simbiótico entre las bacterias del suelo y las plantas. El **fósforo** es esencial para la nutrición vegetal e interviene en el proceso de reproducción de las plantas. Sus contenidos en el suelo varían en función del tipo de material parental, de la precipitación y del uso del suelo. Su retención en el suelo se encuentra determinada por el tipo de arcilla, el pH y la temperatura. El **pH en agua** es el criterio para determinar la acidez o alcalinidad de un suelo, mismas que resultan de una deficiencia de calcio en el complejo de intercambio. La acidez tiene varias causas: el humus o materia orgánica, la arcilla aluminosilicatada, los óxidos hidratados de hierro y aluminio, las sales solubles y el bióxido de carbono; se vincula con los procesos de nutrición de las plantas, de lavado y de intemperización del suelo.

La **capacidad de intercambio catiónico** es la cantidad de cargas positivas (cationes de Na, K, Ca, Mg) que contiene el suelo para ofrecer nutrientes a las plantas, y está directamente relacionada con la fertilidad del suelo. Los cationes en la solución del suelo reemplazan a los cationes absorbidos

en el proceso de intercambio suelo-planta. Este intercambio es rápido, reversible y constante, manteniendo un equilibrio entre los cationes solubles y los intercambiables. En general, los cationes y aniones migran hacia la superficie cuando la cubierta vegetal ha sido cambiada por un cultivo.

Normalmente, el hombre al usar el suelo modifica las condiciones naturales del perfil, en principio en el horizonte superficial, y es aquí donde la alteración de sus propiedades básicas evidencian los desequilibrios en los procesos edáficos.

### 2.1.2 Relación relieve-suelo

El relieve local, condiciona el desarrollo del suelo y controla en buena medida su distribución en el paisaje. En su mayoría, las diferencias que presentan los suelos se deben a algunas combinaciones del microclima, de la pedogénesis y de la morfogénesis. El relieve actúa como un factor de modificación en el desarrollo del perfil edáfico de tres maneras: *a)* por efecto del volumen de precipitación absorbida y retenida en el suelo, que afecta las relaciones de humedad; *b)* por el efecto de la remoción del suelo debido a la erosión y *c)* por el movimiento de los materiales en suspensión de un área a otra (Ortiz y Ortiz, 1980). La diversidad geológica, las fluctuaciones climáticas, los cambios en los tipos de vegetación y la influencia de la actividad humana afectan el desarrollo unidireccional esperado entre el relieve y la distribución de los tipos de suelo. Por ello, el relieve es un factor importante en el análisis de los patrones de distribución del uso de la tierra (Verstappen, 1983). El relieve es también uno de los factores que influye en la naturaleza y la distribución de las propiedades de los suelos. Estas varían lateral y longitudinalmente con el relieve (Birkeland, 1984).

Las laderas como unidades de relieve tienen un papel fundamental en el balance geodinámico de los procesos formadores y modeladores de las geofomas. Su función es poner en movimiento rocas y detritos, preparados por el intemperismo, formando elementos en solución y suspensión con el agua (White *et al.*, 1992). En condiciones naturales existe un balance en el movimiento de materia en una ladera, regulado por la interacción de fuerzas denudatorias y la resistencia de los materiales. Los rangos y patrones de flujo en el sistema de ladera están fuertemente influenciados por la forma de la pendiente, la capacidad del suelo para retener agua y las vías de circulación dentro del suelo. Tres características importantes de las laderas influyen en el desarrollo del suelo:

- a) La forma, que depende de la estructura geológica y de las modificaciones subsecuentes de procesos denudatorios; controla y condiciona los procesos de acumulación y de erosión, tanto de sedimentos como de agua. Los suelos de las partes convexas son normalmente bien drenados, mientras que los de las concavidades son poco drenados, además de ser ricos en arcilla, en materia orgánica y con indicios de gleyzación. La ondulación del relieve propicia procesos erosivo-acumulativos diferenciados y en las partes cóncavas es común encontrar una yuxtaposición de suelos (Birkeland, 1984; White *et al.*, 1992).

- b) **La inclinación**, repercute en la tasa de escurrimiento superficial del agua y en la intensidad de los procesos erosivos. Posiciones de menor inclinación presentan mayor cantidad de agua que posiciones más inclinadas dentro de la misma ladera. Estas diferencias se deben a la variación en el escurrimiento libre a través de las diferentes posiciones del paisaje, y a los efectos en el drenaje interno de las posiciones altas a las bajas. La inclinación se relaciona con distintas propiedades edáficas como la profundidad, la diferenciación de los horizontes, el color, entre otras. En posiciones convexas la remoción continua del suelo superficial produce una disminución en el espesor del horizonte húmico, originando un decremento en los productos de la descomposición orgánica que influye en los procesos de formación de horizontes (Ortiz y Ortiz, 1980).
- c) **La orientación** afecta al microclima, a la vegetación y, consecuentemente, a la naturaleza del suelo. La orientación provoca variaciones en la incidencia de la insolación, del viento y de la humedad. En suelos orgánicos influye en la distribución de carbono en profundidad, favorece la presencia o ausencia de un horizonte E, modifica el pH y el intercambio de bases (Birkeland, 1984; Stone, *et al.* 1985).

Diversos estudios (Birkeland, 1984; Stone *et al.*, 1985; Scheidegger, 1986 y Gerrard, 1990 cit en: Galicia *et al.*, 1995) muestran que muchas propiedades edáficas están relacionadas con el gradiente de inclinación y la posición particular del suelo sobre la ladera. Se ha propuesto el término "**catena**" (Milne, 1935 cit en: Birkeland, 1984) para describir esta variación lateral sobre una ladera y enfatizar que el suelo tiene, a lo largo de la pendiente, distintas relaciones con otros suelos arriba o abajo de éste. Catena se define como una serie predecible de cambios en el suelo respecto a las geoformas, dados en climas y materiales homogéneos, debido a una secuencia de procesos geomorfológicos y edáficos actuando de manera simultánea y ordenada, pendiente abajo en un **sistema de ladera** (Birkeland, 1984; Scheidegger, 1986 y Gerrard, 1990 cit en: Galicia *et al.*, 1995).

La catena es un concepto de origen edafológico y ha sido utilizado en los sistemas de clasificación de tierras en Canadá, Australia y en países de Latinoamérica y África. Se han planteado varios modelos para describir la catena y sus atributos en distintos paisajes: Conacher y Dalrymple (1977 cit en: Birkeland, 1984), definen nueve unidades de ladera con base en el binomio proceso-respuesta; Ruhe y Walker (1968 cit en: Birkeland, 1984) dividen la ladera en cinco unidades -de arriba hacia abajo de la pendiente: cima plana, sección convexa, sección recta y la sección cóncava, esta última subdividida en porción superior e inferior- y Huggett (1975 cit en: Birkeland, 1984) considera el flujo del agua en el suelo y define una zona eluvial en la cima, una zona coluvial en el dorso y una zona aluvial en la base o pie de la ladera. Finalmente, una clasificación general distingue a las laderas por su forma tridimensional considerando el plano y el perfil de la misma, la Figura 1 muestra las nueve combinaciones posibles (Summerfield, 1991).

Uno de los principales factores que determinan las características de la catena es el régimen climático. En condiciones húmedas, el aumento de la cantidad de agua en el sistema del suelo propicia un control de los cambios edáficos (físicos y químicos) por parte de los procesos de lixiviación; el lavado es mayor en tanto mayor sea la cantidad de agua. De esa manera la formación de arcillas

mineralógicas por medio del intemperismo es más acelerada en condiciones más húmedas. Los climas secos presentan condiciones desfavorables para el desarrollo del suelo, ya que éste se encuentra supeditado a la humedad disponible. Generalmente el intemperismo y la formación de arcillas dependen en gran parte de la humedad del suelo, la cual es controlada por la posición en el relieve. Los suelos salinos o alcalinos ocupan las depresiones, los suelos lixiviados las pendientes y los suelos poco lixiviados las cimas. Las diferencias de las propiedades edáficas relacionadas con la posición en el relieve pueden ser también el resultado de la pedogénesis *in situ*, producto de las variaciones de humedad, lixiviación y vegetación.

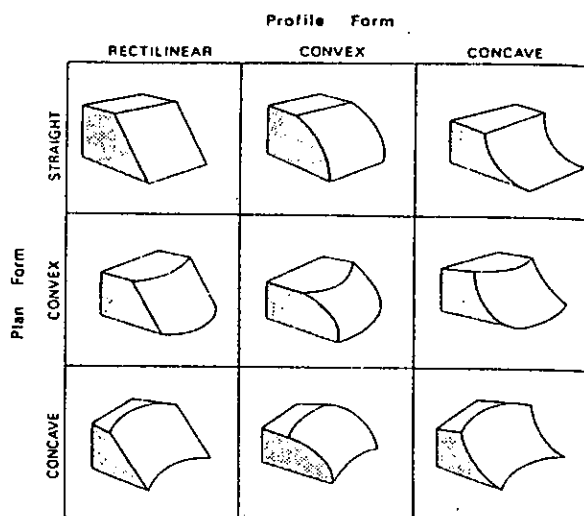


Figura 1 Esquema tridimensional de las laderas. (Tomado de Summerfield, 1991. Fig. 7.20 pág. 182. Modificaciones hechas a la propuesta de A. J. Parsons, 1988.)

### 2.1.3 Relación bosque-suelo

La vegetación, el clima y el suelo establecen una fuerte interrelación, que hace de la cubierta vegetal un componente esencial en la pedogénesis y sus efectos pueden traducirse en influencias microclimáticas sobre el suelo. Factores como el tipo y la cobertura de vegetación influyen en la morfología, la química y la biología del suelo. En ese sentido, la humedad y la temperatura, como elementos del clima determinados por la vegetación, son muy importantes en el desarrollo del suelo. El agua se involucra en la mayoría de los procesos físicos, químicos y bioquímicos, mientras que la temperatura influye sobre todo en los procesos químicos y bioquímicos del suelo (Birkeland, 1984).

Asimismo, la humedad del suelo es un factor determinante en la localización y el grado de desarrollo de las especies vegetales. Las diferencias en la vegetación determinan las propiedades diagnósticas del suelo, como son: la profundidad, el espesor y el nivel de desarrollo de los horizontes; la cantidad, el tipo y la forma de integración de la materia orgánica, y en consecuencia los contenidos de nutrientes. Esto manifiesta que el contenido de materia orgánica depende fuertemente de la cubierta vegetal (Waring y Schlesinger, 1985).

Algunos trabajos reconocen la variación en las propiedades del suelo de un sitio respecto a otro, a partir del tipo y densidad de la cubierta vegetal, como es el caso de la materia orgánica, del

porcentaje de saturación de bases y de la distribución de la arcilla en profundidad, entre otros. Ovington (1953, 1958 cit en: Birkeland, 1984), demostró que bajo coníferas se registran altos contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno total, valores bajos de pH, altos contenidos de sodio, potasio y fósforo, y bajos de calcio y magnesio, comparados con otros tipos de bosque decídúo. De igual forma, los tipos de suelo se asocian con los de vegetación. Por ejemplo, en la tundra el suelo es delgado y poco estratificado porque existe poca actividad biológica; en contraste, en suelos de estepa el horizonte A es espeso, rico en materia orgánica y nutrientes. En el trópico, el suelo es profundo, poco estratificado y pobre en nutrientes debido a que éstos son rápidamente descompuestos por la actividad microbiana y removidos hacia horizontes inferiores por las intensas precipitaciones (Waring y Schlesinger, 1985).

El carácter benéfico de la vegetación sobre el suelo está relacionado con el tipo de cubierta y las condiciones topográficas donde se encuentren. En sitios de pendientes moderadas a fuertes, la cubierta vegetal tiene una función preponderante como reguladora de los procesos de intemperismo y de erosión, manteniendo la estabilidad en los niveles de biomasa y en la circulación de nutrientes; por ende, la función microclimática del estrato arbóreo tiene mayor relevancia por la concatenación de procesos y su remoción induce fenómenos muy drásticos y acelerados. Cuando la pendiente es ligera o de nula inclinación, los estratos arbustivo y herbáceo amortiguan los procesos debidos a la ausencia temporal de los árboles. Asimismo, la posición topográfica y la cobertura arbórea determinan la susceptibilidad del suelo al deterioro. Los suelos con pendiente fuerte y poca densidad de árboles se encuentran menos protegidos ante la erosión, mientras que en terrenos con menor inclinación, los procesos erosivos tienen mínima incidencia, así como en sitios con cubierta arbórea densa se amortigua la acción erosiva de la lluvia y del viento (Waring y Schlesinger, 1985).

Los suelos forestales difieren significativamente de los de pradera. Bajo condiciones similares de drenaje, los de pradera son más oscuros debido en parte, al mayor contenido de humus, y los horizontes ricos en humus se extienden a mayor profundidad; a veces llegan a tener el doble de materia orgánica. Por el contrario, los de bosque son relativamente delgados y el contenido de materia orgánica disminuye en forma rápida con la profundidad. Esto se explica por la naturaleza del sistema radicular, por las contribuciones de la parte aérea de las plantas y por los ciclos de nutrientes de cada tipo de planta. La distribución de las raíces de pastos en el suelo, su tipo y densidad, y su hábito de desarrollo anual, propician que gran cantidad de minerales conducidos a las hojas y tallos, regresen a la superficie del suelo cada año, en tanto que los nutrientes contenidos en las hojas de los árboles son translocados a tejidos leñosos antes de que las hojas se caigan (Ortíz y Ortíz, 1980). De igual manera, las zonas boscosas presentan menos evapotranspiración, mayor cantidad de agentes de descomposición y soluciones ácidas que en suma propician la formación de óxidos de fierro libre en el horizonte superficial, por lo que la saturación de bases es menor que en pastizales. La cubierta de pastos disminuye también el lavado de compuestos solubles de nitrógeno. En los sitios sin cobertura arbórea o arbustiva, el acceso de carbón libre al suelo es mayor y esto impulsa al incremento de microorganismos fijadores o simbióticos (White y Riecken, 1955 cit en: Birkeland, 1984).



En ese sentido, los bosques maximizan las funciones benéficas para los suelos pues mantienen e incrementan la materia orgánica, fijan el nitrógeno, protegen de la erosión, extraen los nutrientes del suelo a través de sus raíces con mayor eficiencia que los arbustos y las hierbas, ya que logran obtener de las rocas intemperizadas el potasio, fósforo, bases y micronutrientes, de los horizontes B y B/C (Birkeland, 1984). De manera que la deforestación trae como primeros efectos la pérdida de agua por evapotranspiración al disminuir la biomasa y, una vez deshidratado, sobreviene la erosión del suelo. En áreas deforestadas el ciclo del nitrógeno se rompe provocando que el nitrógeno orgánico y el amoníaco sean oxidados rápidamente a nitratos y perdidos por escurrimiento, lo mismo que el potasio y el calcio (Ortíz y Ortíz, 1980).

#### 2.1.4 Andosoles

Los suelos derivados de cenizas volcánicas, llamados suelos de **Ando**, del vocablo japonés “an”, oscuro y “do”, suelo (suelos negros), fueron reconocidos por Thorp y Smith (1949 cit en: Valera, 1993) y de ahí la FAO, en 1974, adoptó el nombre de *Andosol*. Más tarde, en la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1992) se modificó el término quedando como *Andisol*. Esta clasificación, en su versión más reciente, reconoce el orden *Andisol* separado del *Inceptisol*, en donde se le tenía incluido. Para este trabajo se utiliza el término Andosol por considerarlo sinónimo de Andisol, apeándose a la clasificación establecida por la FAO-UNESCO (1990) que caracteriza los Andosoles.

Los Andosoles han sido estudiados en todo el mundo y reconocidos por sus propiedades originales y notables, sin que esto quiera decir que son idénticos. En todo caso, la geomorfología y las condiciones ambientales de los sitios donde se localizan los materiales volcánicos, les imprimen características que los distinguen y los hacen peculiares. Además, son suelos que muestran propiedades no encontradas en otros derivados de materiales distintos bajo las mismas condiciones de clima y vegetación.

Las cenizas volcánicas son depósitos piroclásticos constituídos de proporciones variables de partículas vítricas, cristalizadas y líticas, finamente divididas que conforman el 75% o más del volumen de estos depósitos. Los depósitos son normalmente estratificados, de poca consolidación e incluyen tanto cenizas como pómez y escorias. El vidrio, que es el componente más abundante, ofrece menor resistencia al intemperismo comparado con todos los minerales primarios (cuarzo, feldespatos, piroxena, micas, etc.). Por esta razón, las cenizas se intemperizan rápidamente, dando lugar a la formación de grandes cantidades de materiales no cristalinos (o amorfos), determinante primordial en la génesis de los Andosoles. Otros factores que inciden en la distribución, el origen y las propiedades de este tipo de suelo son: las condiciones intermitentes (repetitivas) de depósito de las cenizas, los

patrones de dispersión, el espesor, el tamaño y la mineralogía del material (Dahlgren, Shoji y Nanzyo, 1993).

Este suelo puede desarrollarse en climas húmedos o subhúmedos con temperaturas variadas desde frío a tropical. Las condiciones de humedad son un componente esencial en su formación. Se originan a partir de dos procesos geoquímicos: la **hidrólisis** de las cenizas volcánicas, característico de climas tropicales y subtropicales, que consiste en la formación de minerales paracrystalinos (alófano, imogolita, ferrhidrita) mediante la absorción y estabilización de los ácidos húmicos del suelo; y la **humificación** parcial de la materia orgánica (ácido-complejólisis), típico de climas templados o fríos, en donde la materia orgánica forma un complejo estable con el aluminio y el hierro activos, saturados y estabilizados de forma que no enlazan con sílice (FitzPatrick, 1984; Wada, 1985 cit en: Valera, 1993; Quantin, 1990 cit en: Geissert, 1994).

Se definen como Andosoles debido a que presentan propiedades ándicas<sup>1</sup> en la mayor parte del *solum* (horizontes A y B). Son suelos profundos y con frecuencia estratificados como resultado de acumulaciones periódicas de materiales piroclásticos; los horizontes superficiales tienen un espesor promedio de 30 cm, aunque pueden llegar hasta 100 cm. Los suelos más jóvenes presentan un perfil de tipo AC, pero en algunos miembros del grupo se observan distintos horizontes Bw diferenciables por el color y la estructura.

Reconocidos como suelos minerales, los Andosoles poseen un epipedón de color negro o pardo oscuro, pudiendo ser hístico, melánico, mólico, úmbrico u ócrico; y un endopedón de color marrón o castaño amarillento. Normalmente, su coloración oscura persistente se debe a los altos niveles de materia orgánica (5% a 20%) y a la formación de complejos organominerales con los alófanos, sobre todo en ambientes de humedad. En general, los Andosoles manifiestan una estructura granular en la superficie y de bloques subangulares en el subsuelo, de desarrollo moderado, fina o muy fina; y una textura media entre franca y franco-limosa (Valera, 1993).

---

<sup>1</sup> Según la clasificación de suelos de la FAO (1990), existen tres requisitos cuyo cumplimiento total o por lo menos de uno, atribuyen propiedades ándicas al suelo. Estas condiciones, tomadas del manual, son:

- 1a.a) El aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido es del 2% como mínimo de la fracción tierra fina; y
- b) La densidad aparente de la tierra fina medida a la humedad de campo es 0.9 Mg m<sup>-3</sup> o menos; y
- c) La retención de fosfatos es mayor del 85%.
- 2a.a) Más del 60% en volumen de todo el suelo es material clástico volcánico de un tamaño superior a 2 mm; y
- b) El aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido es de 0.40% como mínimo de la fracción tierra fina.
- 3a. La fracción de 0.02 a 2.0 mm es al menos el 30% de la fracción tierra fina y cumple una de las siguientes características:
  - a) Si la fracción tierra fina tiene un contenido de aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido de 0.40% o menos, debe haber al menos un 30% de vidrios volcánicos en la fracción de 0.02 a 2.0 mm; o
  - b) Si la fracción tierra fina tiene un contenido de aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido del 2% o más, debe haber al menos 5% de vidrios volcánicos en la fracción de 0.02 a 2.0 mm; o
  - c) Si la fracción tierra fina tiene un contenido de aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido entre 0.40 y 2% debe haber un contenido proporcional de vidrios volcánicos entre 30% y 5% en la fracción de 0.02 a 2.0 mm.

Las propiedades ándicas se traducen básicamente en una fuerte higroscopicidad, elevada capacidad de intercambio catiónico y aniónico relacionada con la baja proporción de fracción inferior a 2µm. gran superficie específica (200 a 700 m<sup>2</sup>/g) y una alta capacidad de retener fósforo.

La baja densidad de partículas de los vidrios volcánicos ( $2.4 \text{ Mgm}^{-3}$ ) influye en la densidad aparente (de  $0.45$  a  $0.85 \text{ Mgm}^{-3}$ ) de los Andosoles (Wada y Wada, 1977 cit en: Valera, 1993). Dichos valores son normalmente más altos con la profundidad del perfil, lo que manifiesta una relación inversa con los contenidos de materia orgánica y una dependencia con el tipo de material de origen. Reflejan también, porosidad alta (70% a 82%) y muy uniforme en todo el perfil, una capacidad de retención de humedad alta y problemas en el suministro y retención de nutrientes para las plantas (Aguilera, 1989). La presencia de alofanos en este tipo de suelo le confiere una consistencia resbalosa o jabonosa y untuosa al tacto (propiedad tixotrópica). Las unidades estructurales de alofano e imogolita, principales componentes de los Andosoles y con espacio de poro del 25% al 45%, crean agregados estables con el humus, otras arcillas y limos, favorecidos por su carga positiva y contenido de aluminio activo, de manera que se forman gran cantidad de microporos que explican su alta porosidad.

Los Andosoles profundos y negros llegan a retener hasta el 200% de agua (en peso seco) en el horizonte Bw. Los contenidos de agua varían de 22% a 40% a capacidad de campo y de 7% a 18% a punto de marchitez permanente (Miehlich, 1984 cit en: Dubroeuq *et al.*, 1992). Alcanzan el punto de liquidez con 160% a 250% de contenido de agua (Wesley, 1973 cit en: Dubroeuq *et al.*, 1992). Sin embargo, después de secarse al aire, el agua se pierde irreversiblemente y los suelos se convierten en friables y pulverulentos. Este comportamiento es el resultado de la organización microestructural, de la presencia de minerales amorfos con su alta superficie específica de absorción y de los altos contenidos de materia orgánica (Dubroeuq *et al.*, 1992). En ese sentido, la relación que se establece entre el volumen ocupado por agua y el ocupado por sólidos se incrementa con la profundidad; por ello, en el horizonte superficial, la densidad aparente es baja y la porosidad y capacidad de retención de agua son altas. Esto explica la susceptibilidad al intemperismo y a la erosión hídrica y eólica que manifiestan estos suelos, y permiten entender la causa de los daños en las raíces de las plantas por las heladas (Egawa, 1977 cit en: Valera, 1993).

En el horizonte superficial, los Andosoles contienen compuestos húmicos resistentes a la descomposición microbiana. Debido al dominio de los ácidos húmicos la proporción C/N es alta (15 a 25) al igual que el contenido de materia orgánica (>30% en el horizonte superficial). Son suelos ácidos, de pH generalmente mayor de 5, causado por la acción amortiguadora de los alofanos, y presentan problemas de mineralización del nitrógeno y alta posibilidad de fijación de fósforo.

La FAO-UNESCO (1990) define seis subgrupos de Andosoles, que presentan un horizonte de diagnóstico que los distingue: **háplico**, con un horizonte A ócrico y un horizonte B cámbico, posee una consistencia untuosa y una textura franco-limosa o más fina para la textura promedio de todos los horizontes comprendidos en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie; **mólico**, con horizonte A mólico; **úmbrico**, con un horizonte A úmbrico y geles con características mineralógicas que lo hacen sensible a la desecación; **vítrico**, no presenta consistencia untuosa o tiene una textura más gruesa que franco-limosa para el promedio de todos los horizontes comprendidos en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie, o cumplen ambos requisitos; **gléico**, con propiedades gléicas dentro de una

profundidad de 100 cm a partir de la superficie; y **géllico**, con permafrost dentro de una profundidad de 200 cm a partir de la superficie.

En México, los suelos derivados de cenizas volcánicas cubren la cuarta parte (490,750 km<sup>2</sup>) de la superficie (Aguilera, 1969 cit en: Valera, 1993) y se localizan primordialmente en el Sistema Volcánico Transversal; también se observan en la Sierra de los Tuxtlas y en la Sierra Madre de Chiapas -entre Tabasco y Chiapas-, sitios que manifiestan actividad volcánica cuaternaria y reciente. Sostienen la mayoría de los recursos forestales y representan más del 20% de la superficie cultivada del país (Cavallaro *et al.*, 1984 cit en: Valera, 1993; Etchevers, 1985). El subgrupo vítrico es el más abundante, al cubrir el 15% del total; sin embargo, en el estado de Veracruz, los Andosoles úmbricos superan en cobertura a los demás. Se les encuentra en una vasta superficie montañosa del Cofre de Perote, en las porciones altas del Pico de Orizaba y algunas zonas de las sierras de Huayacocotla y de los Tuxtlas (INEGI, 1988).

El interés por estudiar los Andosoles en México tiene más de treinta años y los propósitos han sido fundamentalmente el mejoramiento de la fertilidad, porque a estos suelos se les reconoce un potencial agrícola muy alto, debido a que poseen en la materia orgánica, altos contenidos de nitrógeno, fósforo y azufre, por tal consideración han sido cultivados intensamente (Etchevers, 1985). No obstante, presentan severos problemas para su uso agrícola inherentes a sus propiedades físicas y químicas, en especial lo referente a su alta capacidad de retención de fosfatos, alto contenido de aluminio y hierro activos, ya que bajo cultivo la relación inversa que se establece entre el carbono orgánico y el aluminio y hierro activos se acentúa. Todo lo anterior refleja esencialmente baja productividad del suelo, entre otras cosas por la poca o nula disponibilidad de fósforo para las plantas, propiciando una fertilización química continua.

## 2.2 Paisaje y el proceso de fragmentación

“Paisaje” es la traducción del vocablo alemán “landschaft”, utilizado por Von Richthoffen con el que se refería a un método de observación, sugerido para los viajes científicos que se realizaban en el siglo pasado, mediante el cual se les recomendaba a los exploradores interesarse por los diferentes aspectos de la naturaleza y relacionarlos entre sí. Más tarde este término fue adoptado por Dokuchaev para caracterizar la zonalidad de los suelos, con lo que enlaza los componentes suelo y vegetación (Tricart y Kilian, 1979).

El concepto de paisaje es eminentemente de carácter geográfico y de naturaleza fisonómica; coincide con la unidad natural o sistema natural, de la escuela francesa y con el complejo natural de la escuela soviética. Se concibe como un sistema dinámico limitado en espacio y tiempo, que mantiene interacciones e interrelaciones entre sus componentes (relieve, clima, suelo y vegetación). El paisaje geográfico consiste en unidades físico-geográficas con límites interrelacionados y son espacios del territorio con un mismo tipo de relieve, estructura geológica, clima, hidrología y conjugaciones secuenciales de suelos, vegetación y fauna (Lugo, 1989).

Aunque, a mediados del presente siglo, en Alemania se habla de ecología del paisaje (Troll, 1939 cit en: Forman, 1995), refiriéndose a las observaciones hechas sobre perfiles -toposecuencia- para establecer relaciones entre las diferentes biocenosis, definidas sobre todo por sus especies, y las características del medio: posición topográfica, material, suelos y condiciones hídricas. En ese sentido, G. Haase (1967 cit en: Tricart y Kilian, 1979), considera que la ecología de los paisajes estudia las relaciones verticales entre los elementos de la biocenosis y su distribución en el espacio; debiendo tomar en consideración los intercambios de materia y energía y las modificaciones en el tiempo, periódicas y generales, que indican una evolución.

Tanto en el ámbito geográfico como en su primera aplicación pedológica, la perspectiva del paisaje había sido de índole fisonómica y estática, carente de una dimensión evolutiva y dinámica. No obstante, G. Cabaussel (1967 cit en: Tricart y Kilian, 1979), interesado por establecer vínculos entre paisaje y ecología, considera que el tipo de paisaje corresponde a un modo de adaptación (fisonómico, específico o estructural) del conjunto formado por la vegetación natural (o transformada) y la acción humana (agrícola, pecuaria,...). Con la misma intención, G. Bertrand (1968 cit en: Tricart y Kilian, 1979), reconoce tres elementos en el paisaje: el medio físico, los ecosistemas y la intervención humana. Utiliza la teoría de la xeristasia, derivada de la teoría de H. Ehrhart, para diferenciar a los paisajes imponiéndoles esa dimensión temporal y una perspectiva dinámica y evolutiva que les hacía falta, además de definir los niveles de estabilidad de los paisajes.

Posteriormente, los ecólogos distinguen al paisaje como un mosaico compuesto por extensiones de terreno heterogéneos en tamaño, forma, origen, número, configuración y elementos,

definido a partir de un origen geomorfológico y un régimen de disturbios comunes (Godron y Forman, 1983; White *et al.*, 1993).

Por lo tanto, los paisajes son áreas globalmente homogéneas entre sí y frente a otras, las cuales no necesariamente tienen las mismas características en todos sus puntos, pero en su conjunto, se diferencian de las áreas vecinas y su carácter dinámico es dado por efecto de las actividades humanas y de los procesos físicos y biológicos, haciéndolos variar en contenido y en límites a través del tiempo.

Los paisajes se caracterizan por su estructura, su funcionamiento y su evolución. La estructura se refiere a las relaciones espaciales entre los ecosistemas representativos que lo componen; el funcionamiento corresponde a las interacciones que se establecen entre los ecosistemas y la evolución es el conjunto de eventos (disturbios, transformaciones o modificaciones) que afectan a la estructura y al funcionamiento del paisaje a través del tiempo (Godron y Forman, 1983, 1986; Turner, 1989).

La estructura del paisaje contiene tres elementos: matriz, parche y corredor, que denotan su forma y origen. La alteración en la estructura del paisaje provoca la reducción de los ecosistemas naturales que los constituyen, convirtiéndolos en pequeños parches y estrechos corredores inmersos en una gran matriz heterogénea, donde se aprecia un gradiente de perturbaciones que van desde ecosistemas naturales o restos de los mismos hasta paisajes rurales y urbanos. De modo que es necesario conocer la sensibilidad del medio natural respecto al tipo de intervención al que se encuentre sometido; o sea, su grado de estabilidad. En la tabla 1 se listan los niveles de modificación del paisaje a partir de transformaciones en la vegetación natural ante el cambio de uso del suelo. La matriz es la porción del ecosistema o del grupo de ecosistemas que se ha mantenido en apariencia unida, los parches son fragmentos de forma irregular y clara dispersión, y los corredores son fragmentos de forma lineal, dispersos o unidos a la matriz (Godron y Forman, 1983; Forman, 1995).

Tabla 1 Niveles de modificación de los paisajes (Godron y Forman, 1983)

NIVEL DE MODIFICACIÓN	TIPO DE PAISAJE	CARACTERÍSTICAS
1°	Vegetación natural	Ecosistemas intactos resultantes de o sometidos a un régimen de disturbios naturales.
2°	Áreas de reciente colonización	El hombre modifica la vegetación natural para construir viviendas y sus inmediaciones indispensables para actividades agropecuarias primordiales.
3°	Áreas sometidas a la extracción de recursos	El efecto de los disturbios se manifiesta en la vegetación natural sometida a la extracción de especies, energía y nutrientes.
4°	Áreas agropecuarias	Amplias extensiones en donde la vegetación natural ha sido sustituida por plantaciones.
5°	Áreas de asentamientos humanos	El poblamiento humano desplaza paulatinamente la vegetación natural convirtiéndose en espacios suburbanos o urbanos con algunas áreas de vegetación natural o de manejo del paisaje.
6°	Áreas urbanas y/o industriales	Ínfimos remanentes de vegetación natural o plantaciones.

La variación de la topografía y del tipo de suelo provoca importantes efectos en los paisajes, porque influye en el tamaño y el arreglo de los fragmentos, en los flujos de aire y agua, y en la incidencia de radiación e iluminación solar. Por ello puede inducir diferencias en la composición de especies y en el desarrollo del suelo a diversas escalas de fragmentación (Holland *et al.*, 1991). Las geoformas, el suelo y la vegetación o combinaciones de ellos, son usados como indicadores de una serie de características de los paisajes, entre ellas su potencialidad. Las propiedades del suelo y los tipos de geoformas advierten el grado de sensibilidad, vulnerabilidad y resistencia de un paisaje a un disturbio; son también factores que controlan su evolución y su capacidad de recuperación.

La vulnerabilidad de un paisaje ante un impacto depende de la naturaleza del disturbio, la resistencia original de los ecosistemas ante los cambios<sup>2</sup> y el tipo y manera de recuperación de los ecosistemas después del disturbio (Westman, 1984). Los disturbios de índole natural -procesos episódicos- tales como erupciones volcánicas, sismos, huracanes, incendios provocados por tormentas eléctricas, rigen la dinámica de los procesos geomórficos formadores y modeladores del relieve. Los disturbios originados directa o indirectamente por la acción humana, -procesos continuos- como la erosión, el cambio climático, el empobrecimiento de los suelos, etc., se manifiestan sobre el paisaje bajo un régimen<sup>3</sup> alterando su dinámica de interacción (Forman y Godron, 1986).

El proceso de fragmentación de los paisajes debido a la actividad antropogénica es uno de los problemas más críticos para la conservación ecológica. La diversidad vegetal y animal depende de las características biogeográficas del medio. Esta subordinación se expresa a través de relaciones verticales, al interior del paisaje y horizontales, entre paisajes. El proceso se manifiesta con la división de un hábitat continuo en pedazos más pequeños y aislados, lo que resulta en pérdida de tamaño y aislamiento; es decir, una transformación estructural y funcional del paisaje (Harris, 1984; Forman y Godron, 1986; Urban *et al.*, 1987; Hobbs y Saunders, 1993).

La fragmentación no se realiza al azar. Muchos procesos generados a partir de la ocupación del suelo han sido tratados por la geografía y manifestado los riesgos y oportunidades en cuanto al uso del espacio. En general, las zonas fácilmente accesibles, de topografía poco accidentada y con alta productividad, son las primeras en ser alteradas para utilizar la tierra en la agricultura, asentamientos humanos o extracción forestal, en donde se origina una pérdida paulatina del hábitat. El proceso puede ocurrir sin gran pérdida de hábitats, como en el caso de la construcción de carreteras, vías de ferrocarril, torres de alta tensión, cercas, etc. Los nuevos hábitats creados se vuelven barreras para unas especies y corredores para otros. La transformación de los paisajes naturales tiene dos efectos directos: perturbaciones en el hábitat de las especies animales y vegetales, y trastornos en el ciclo hidrológico.

---

<sup>2</sup> En términos espaciales son decisivas las geoformas y los materiales, porque estos componentes influyen en la magnitud e intensidad de los efectos del disturbio.

<sup>3</sup> El régimen evolutivo es la suma del tipo, frecuencia e intensidad de los disturbios o modificaciones a través del tiempo.

Desde el punto de vista ecológico, la fragmentación y la pérdida de hábitats influyen en la dinámica de las poblaciones vegetales y animales. En hábitats fragmentados se reduce el potencial para la dispersión y la colonización, y las poblaciones se subdividen. La respuesta de los organismos ante la fragmentación depende de la especie: a) especies dependientes de hábitats particulares, b) especies sensibles al aislamiento, c) especies sensibles al tamaño del área, d) especies sensibles a los cambios físicos y biológicos relacionados a los bordes, e) especies invasoras que se dispersan y colonizan los hábitats creados, no siempre tolerantes a la presencia de las comunidades originales, f) poblaciones con menor tamaño, vulnerables a la incertidumbre ambiental, demográfica y genética (Westman, 1984; Harris, 1984).

Con la fragmentación de los paisajes se crean los bordes, otrora conocidos como ecotonos o zona de transición (Holland, 1988 y Hansen *et al.*, 1988 cit. en: Holland *et al.*, 1991; Di Castri y Hansen, 1992; Delcourt y Delcourt, 1992), que se refieren a las condiciones periféricas (línea de contacto) de un fragmento (matriz, parche o corredor) creadas a partir de los cambios que experimentan los componentes del paisaje. La influencia del borde difiere de acuerdo al tipo de hábitat, a su posición en el paisaje y a las características de las especies. Los bordes son dinámicos y su influencia cambia a través del tiempo. Se crea una nueva estructura que favorece y atrae el establecimiento de otras especies afectando los procesos ecológicos de las comunidades.

El patrón espacial observado en los paisajes resulta de las complejas interacciones de fuerzas físicas, biológicas y sociales, formando mosaicos de parches heterogéneos que varían en tamaño, forma y arreglo, en función de las relaciones espaciales derivadas de su ubicación, grado de aislamiento, dispersión, accesibilidad e interacción. Estas interacciones bióticas y abióticas son indicadores muy sensibles de los cambios en el medio ambiente global (Godron y Forman, 1983; Turner, 1989; Forman, 1995).

La influencia de la actividad humana sobre los paisajes modifica sus componentes y sus ritmos naturales de evolución. Se incrementa así la heterogeneidad de los paisajes y se reduce la heterogeneidad de los hábitats naturales que los constituyen. Los efectos de esta influencia pueden transformarse en problemas muy graves pues involucran a los elementos del paisaje de forma concatenada y generalmente, exponencial. El relieve, el suelo, la hidrología, el clima, la vegetación, la fauna y el escenario son los principales componentes del paisaje y, en consecuencia, reciben el impacto de cualquier perturbación. Es fácil observar que los ríos se cargan de sedimentos, que las presas se azolvan, los pozos se secan, las cárcavas aumentan y la productividad de la tierra disminuye, y todo ello provocado por ejemplo, por la transformación de grandes extensiones de bosques y selvas en monocultivos. La tabla 2 muestra algunas actividades antropogénicas y los efectos que manifiestan en cada uno de los componentes del paisaje.

En la actualidad, y por todo el planeta, los remanentes de ecosistemas naturales y corredores de especies originados por procesos que fragmentan los paisajes, son el punto medular en los programas de restauración ecológica y de preservación de la biodiversidad, a partir de los cuales pueden desarrollarse acciones para regenerar, reintroducir y propiciar flujos de especies en el paisaje.



Tabla 2 Algunos efectos de las perturbaciones sobre los componentes del paisaje (adaptado de Chiappy, 1996).

COMPONENTE	AGENTE PERTURBADOR	EFECTOS
Relieve	A G	Destrucción de las formas del relieve Alteración de la morfodinámica local
Suelo	R I C U L T U R A í A	Desencadenamiento de procesos erosivos Compactación Denudación Sedimentación Alteración de procesos pedogenéticos Disminución de nutrientes y materia orgánica Pérdida de capacidad retenedora de agua Contaminación Salinización Modificaciones de las características físicas, químicas y biológicas Pérdida de fertilidad Pérdida de potencial productivo
Hidrología	H A M I E N T O	Alteración de los procesos de infiltración y circulación del agua Cambios en el régimen suelo-agua Colmatación de cursos de agua Aumento de carga de sedimentos en caudales y lechos Eutroficación de los cuerpos de agua Incremento de la turbidez del agua Reducción de la potabilidad Alteración del manto freático por sobreexplotación Lixiviación de pesticidas y fertilizantes Contaminación de las aguas superficiales o subsuperficiales Disminución de la calidad de las aguas y del potencial hidrológico
Clima	F O R E S T A L	Disminución de la humedad relativa Aumento local de la temperatura Alteraciones micro y mesoclimáticas Cambios en los procesos de evaporación, transpiración y filtración
Vegetación	L	Alteración de la composición florística Alteración de la sucesión y de la dinámica regenerativa de la vegetación Alteración de la estructura y estratos de vegetación Disminución de la riqueza y diversidad florística Pérdida del potencial forestal Aparición de contaminantes en la materia vegetal (hojas y frutos) Invasión de especies indeseables
Fauna	N I C A C I Ó N	Desplazamiento de la fauna silvestre Alteración de la composición faunística Eliminación del hábitat de la fauna Perturbación del hábitat de la fauna Destrucción directa de la fauna Incremento poblacional de especies dañinas y perjudiciales Cambios en las dietas
Escenario (paisajístico)	S	Disminución de los atributos estéticos y culturales de los paisajes Disminución de la biodiversidad de los paisajes naturales Influencia negativa sobre los paisajes vecinos Contaminación atmosférica y emisión de radioactividad Contaminación del aire por olores y ruidos Peligros de explosión Propagación de enfermedades Disminución de la calidad ambiental

### 2.2.1 Desforestación en laderas

De acuerdo con Vázquez y Orozco (1991) en nuestro país, el 88% del territorio se considera montañoso (60% con inclinación mayor al 10% y el 28% con pendientes mayores al 25%). Lo anterior significa que dominan los paisajes de ladera y por ello, estos registran un proceso histórico y actual de fragmentación debido a presiones sobre el espacio y sus recursos.

Las **laderas** son unidades del relieve formadas esencialmente por fenómenos de origen interno (orogenia, actividad volcánica, levantamientos y hundimientos, entre otros). La erosión se encarga de modelarlas a través de la acción de los ríos, los hielos, el agua subterránea, procesos gravitacionales, etc. (Lugo, 1988).

La mayor superficie de laderas de origen volcánico se presenta en el Sistema Volcánico Transmexicano; por sus condiciones climáticas y edáficas se les reconoce un potencial agrícola elevado, aunque se omite su carácter efímero. Por tal motivo este espacio ha sido ancestralmente, el sitio de un alto poblamiento y fuerte actividad económica. La acción humana en esta región, como en muchas otras, ha perturbado el equilibrio de fuerzas entre los procesos de formación de suelo y los erosivos, sobre todo al eliminar la vegetación natural (desforestación) de los terrenos para dedicarlos a la agricultura o al pastoreo, sin considerar su capacidad de uso o su vocación y limitantes, propiciando un fuerte deterioro del paisaje. Un caso muy ejemplificador es la región del Bajío, en donde los bosques de pino y encino casi han desaparecido y en su lugar se observan paisajes agropecuarios bajo sistemas intensivos de producción y con severos problemas en el régimen pluvial.

La **desforestación**, disturbio provocado por la acción humana, es un mecanismo de apropiación de los recursos naturales y un proceso modificador del paisaje. Uno de los principales motivos de la destrucción de los bosques son los desmontes con fines agrícolas, especialmente drástico en laderas con bosques templados, debido a sus particularidades de relieve y suelo. Muchos millones de hectáreas de suelo en el mundo, ahora improductivos, han pasado por este proceso. La remoción de grandes masas vegetales supone un cambio en la humedad del ambiente al imposibilitar los fenómenos de evapotranspiración de las plantas, lo cual favorece la gestación de incendios forestales al disminuir la humedad natural de ciertas áreas, entre otras consecuencias.

El proceso de fragmentación del paisaje que se produce a raíz de la desforestación manifiesta su impacto en el componente edáfico a través del ciclo hidrológico, que es el sistema circulatorio de la naturaleza y el agente esencial en la geodinámica -procesos morfogénicos y pedogénicos- del cual dependen fenómenos tan importantes como el movimiento de los nutrientes en el suelo, la fisiología y la fenología de las plantas. Desde el punto de vista pedogenético, la desaparición del estrato arbóreo modifica bruscamente el microclima y la biología de los suelos.

En México se estima que antes de la llegada de los conquistadores existía un 60% de cobertura boscosa original en el territorio y a la fecha, más del 40% del total del territorio ya no cuenta con su vegetación arbórea, o sea que han desaparecido alrededor de 18 millones de hectáreas de

bosques y 26 millones de hectáreas de selvas en menos de un siglo (Manzanilla, 1985 cit en: Vázquez y Orozco, 1991). La pérdida asciende al 51% de selvas, el 34% de bosques y el 15% de vegetación de zonas áridas (SEMARNAP, 1996). La historia forestal de nuestro país ha dado por resultado una tasa actual de desforestación superior a las 700 mil hectáreas por año (SARH, 1992 cit en: Boege *et al.*, 1995), de las cuales cerca de 30% se desertifican por el deterioro gradual a causa de la destrucción del bosque, aunado a prácticas agrícolas mal planificadas y a la ganadería sin control. En esta temporada 1997-1998 los incendios forestales han acabado con extensas superficies forestales y de regeneración, tan solo en el Cofre de Perote se estima una afectación de por lo menos ocho mil hectáreas (com. pers., cifras no oficiales; Desarrollo Forestal, Gob. del Edo.).

No sólo la explotación legal y clandestina de los recursos forestales es la causa del deterioro, sino problemas tan graves como los generados por el derribo constante de árboles para leña y carbón de consumo doméstico, que suman alrededor de 15 millones de m<sup>3</sup> de madera al año para el consumo de 21 millones de mexicanos que todavía utilizan este recurso como combustible. Las áreas protegidas no escapan a este proceso de extracción (García-Aguirre, 1986 cit en: Vázquez y Orozco, 1991).

El pastoreo en los bosques afecta considerablemente la regeneración de los árboles, el ganado se come las yemas de crecimiento y las plántulas o las pisotean y, además afecta la estructura y la biología del suelo, debido a que el peso y el continuo apisonamiento lo endurecen y modifican su porosidad, dificultando la oxigenación de las raíces y el establecimiento de las plántulas. La magnitud y la severidad de sus efectos dependen del tipo de ganado, de la densidad de los hatos y de las características del suelo y la comunidad vegetal.

Aunque los bosques y las selvas no contribuyen en forma significativa a la economía nacional, pues representan el 3.6% del producto bruto industrial, menos del 1% del producto nacional y mantienen alrededor de 300 mil empleos; existen razones muy poderosas para el interés nacional en el mejoramiento no sólo de los bosques y selvas, sino de las poblaciones que las habitan. Son más de 17 millones de personas las que dependen directamente de estos recursos forestales y que, de no encontrar alternativas de supervivencia en sus lugares, generarán -como ya se ha visto- fuertes presiones sobre todo en las áreas urbanas y de emigración ilegal "braserismo". No debemos olvidar que "la sustentabilidad del ambiente depende directamente de la sustentabilidad de las relaciones sociales", máxime si consideramos que estas poblaciones son portadoras de historia y de cultura que se desgastan junto con el medio natural (Chapela, 1992; Organizaciones Forestales, 1992; Gerez, 1992).

Por el lado del propio recurso, la conservación de la cubierta de bosques y selvas garantiza el abastecimiento futuro de productos como madera, papel, resinas y otros que van abriendo la brecha en el déficit comercial mexicano, y de agua en las partes bajas de las cuencas hidrológicas, donde se ubican las ciudades (Chapela, 1992). Además esta vegetación natural juega un papel muy importante en la reducción de bióxido de carbono y su relación con el calentamiento de la atmósfera; así como en la conservación de la biodiversidad. En ese sentido, los bosques de coníferas han tenido y tienen un

lugar preponderante en la vegetación de nuestro país, su explotación inmoderada trastoca la complejidad de su funcionamiento y los hace vulnerables hasta su extinción.

En muchas ocasiones las causas de la deforestación han sido los mismos programas oficiales, las líneas de crédito a la ganadería y a la agricultura; pero también surge como respuesta a la ausencia de asistencia técnica y a la carencia de infraestructura mínima para practicar la agricultura y la ganadería intensivas y rentables. La falta de opciones silvícolas e industriales, productivas y permanentes para los campesinos de las zonas forestales, tiene por consecuencia una participación desigual en el mercado frente a una estructura de precios del producto forestal desfavorable. Mientras que la silvicultura y el aprovechamiento integral agrosilvopastoril, son prácticas poco aplicadas.

La consecuencia más evidente de la remoción de la cubierta vegetal y la transformación del ciclo hidrológico es la pérdida de suelo por **erosión**. México está considerado entre los países latinoamericanos con problemas de erosión hídrica severos (Lal, 1977 cit en: Maass y García-Oliva, 1990). Hasta 1950, se había erosionado el 7.9% (15.5 millones de hectáreas) del territorio nacional; en 1960, la superficie afectada llegó a un 30% del total nacional (58.9 millones de hectáreas) y en 1980 sumaban una superficie mayor a los 80 millones de hectáreas. Lo anterior significa que en 30 años se han destruido cinco veces más tierras que en toda la historia anterior. Varios autores concuerdan en que el 75% (147.2 millones de hectáreas) del territorio nacional muestra evidencias de erosión edáfica acelerada (Maass y García-Oliva, 1990). Por su parte, Andrade (1974, 1975) analiza el grado de erosión<sup>4</sup> de la tierra y define un 34.89% de superficie libre de erosión o con erosión incipiente; 23.96% con erosión moderada; 26.16% de suelos con erosión acelerada y 14% del territorio correspondiente a zonas montañosas ahora ya improductivas, con erosión drástica.

Los daños provocados por la erosión acelerada afectan tanto al lugar donde se generan como a sitios distantes, que se relacionan con aquel a través de flujos de energía y materia. Las afectaciones sobre el suelo van desde la reducción de espesor en su capa superficial, la pérdida de nutrientes disponibles y potenciales, la baja en su capacidad de retención de agua, el endurecimiento, el afloramiento de gravas y rocas, la formación de grietas, cárcavas y barrancas; la pérdida de la capacidad regenerativa de la vegetación original, la reducción de la capacidad de infiltración y de la recarga de acuíferos; el arrastre de sedimentos, la turbiedad del agua de las corrientes, la sedimentación, el asolve de los cauces y su desborde; la resequedad y la formación de tolvaneras, hasta la pérdida por completo de la capa superficial; es decir, la pérdida de la capa del suelo donde se desarrolla la cubierta vegetal, incluyendo especialmente los cultivos.

Lo anterior repercute en un problema social al disminuir la productividad de la tierra y de los cuerpos de agua. Además, sobre el suelo se experimentan otros daños, directa o indirectamente

---

<sup>4</sup> Niveles de erosión: libre de erosión o erosión incipiente se refiere a la pérdida de menos del 25% de suelo arable, erosión moderada es la pérdida del 25 al 50% de suelo arable, erosión acelerada la pérdida del 50 al 75% de la capa arable y erosión drástica cuando la pérdida es mayor del 75% de la capa arable.

vinculados con la desaparición de la vegetación arbórea original, que no se aprecian con facilidad, tan dañinos como la erosión e impactantes en la sobrevivencia de las plantas. Ellos son: la pérdida de materia orgánica, la compactación, la insolubilidad, la lixiviación, la acidificación o alcalinización excesiva, entre otros, que disponen al suelo para la erosión y alteran la productividad potencial del mismo.

En el estado de Veracruz, el 20% de la superficie (1'500 mil hectáreas) posee una inclinación del terreno mayor a 15% de pendiente<sup>5</sup>. La cobertura de vegetación arbórea del Estado es de 1'562,083 ha, que corresponden a 22% del territorio estatal (SARH, 1992 cit en: Boege *et al.*, 1995); su deforestación y el uso del suelo bajo sistemas productivos de alto impacto, como la agricultura y la ganadería, han afectado la capacidad de infiltración en las cuencas altas y, a la vez, provocado la pérdida de suelo. Se ha destruido la función amortiguadora que la vegetación tiene sobre el suelo. Este fenómeno explica gran parte de las fuertes inundaciones y deslaves ocurridos durante los últimos años en las zonas bajas.

No obstante, Veracruz cuenta con buenas condiciones de humedad durante todo el año y temperaturas cálidas a templadas, lo cual ayuda a que la cubierta vegetal se recupere rápidamente, por eso 60% de la superficie estatal presenta poca o nula erosión, pero en el 40% restante se incrementa el riesgo de erosión, debido a que se trata de serranías con laderas de fuerte inclinación en donde se desarrollan sistemas agroproductivos de bajos rendimientos y, por lo mismo, de amplia extensión; son además, sitios que registran lluvias muy intensas; manifestandose una redepositación de suelos a lo largo de la ladera (Toledo *et al.*, 1989 cit en: Boege *et al.*, 1995).

Estrada y Ortiz (1982 cit en: Ordóñez y García-Oliva, 1992) reconocen que una pérdida de suelo mayor a 50 ton/ha/año es signo de erosión severa. Con lo cual se define para el territorio veracruzano, un 29.5% con erosión moderada, 8.75% con erosión alta y 0.86% con erosión severa. Sin embargo, algunos estudios locales realizados en las principales cuencas y en áreas agroproductivas del centro del estado reportan datos anuales de pérdida de suelo y movimiento de sedimentos, en toneladas por hectárea, verdaderamente alarmantes: Pánuco, 2,274; Tuxpán-Nautla, 3,080; La Antigua, 13.5 a 1,296; Papaloapan, 3,229; Coatzacoalcos, 4,073; región Xalapa, 30.7 (varios autores cit en: Boege *et al.*, 1995). En la vertiente oriental del Cofre de Perote la cifra de erosión en parcelas de maíz es de 531 y en parcelas de papa de 373, valores que superan en mucho al promedio reportado en este caso, para la región de Xalapa (Ten Raa, 1983 cit en: Boege *et al.*, 1995).

Los perniciosos efectos del desmonte y la creciente superficie erosionada conjugados con las adversidades climáticas, topográficas y las de tipo socioeconómico, han transformado la dinámica de los paisajes de ladera y consecuentemente sus áreas de influencia. Las laderas en México y particularmente en Veracruz, son un componente ambiental muy importante del paisaje, contienen una

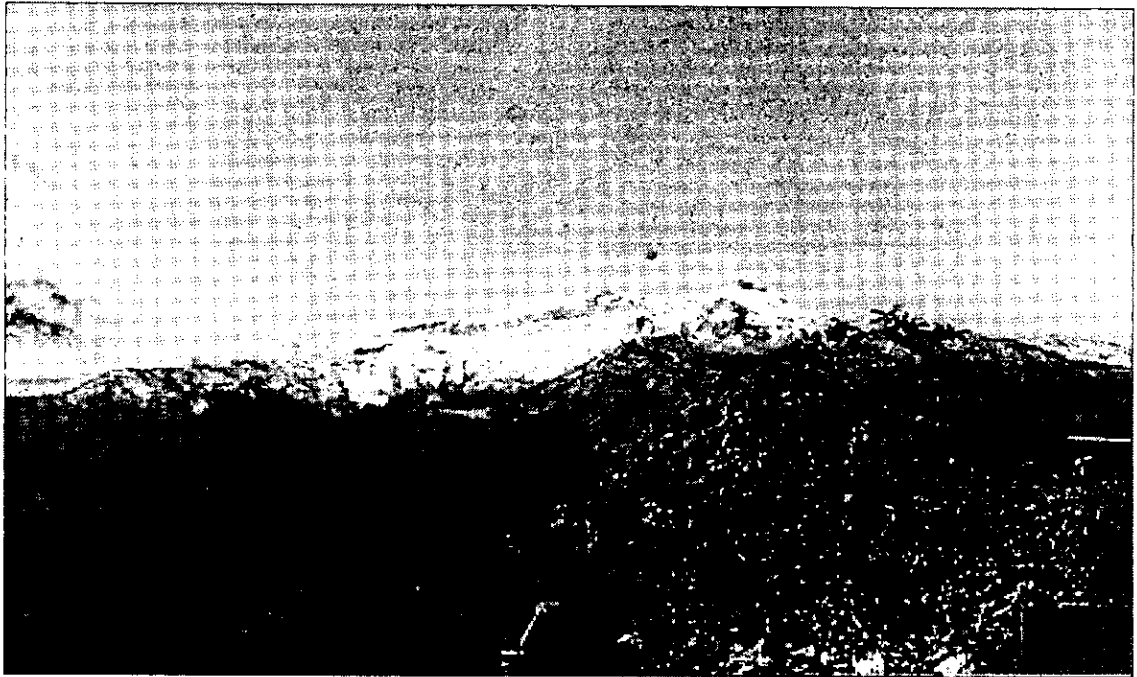
---

<sup>5</sup> Técnicamente, los suelos con pendientes mayores a 15% se clasifican en las clases del cinco al ocho y su uso observa ciertas restricciones que los hace terrenos propios para uso forestal, vida silvestre, silvopastoril, recarga de acuíferos y recreación (CP-SARH, 1977 cit en: Eckart *et al.*, 1995).

gran proporción de la biodiversidad del país, son territorio de varias culturas indígenas, de plantaciones agrocomerciales como el café y proporcionan el servicio ecológico al resto del estado, mediante la aportación de agua, entre otras, necesaria para las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, pesqueras, urbanas e industriales. Por lo cual se debe recapitular en las estrategias de planeación que permitan asegurar la permanencia de toda la diversidad y riqueza natural y cultural que albergan esos paisajes.

## *2. Antecedentes. Marco Espacial de Referencia*

*El Nauhcampatépetl en náhuatl "cerro de cuatro lados"*



### 2.3 El sistema natural "Cofre de Perote"

#### Localización

El Nauhcampatépelt o Cofre de Perote se localiza entre el altiplano y la vertiente del Golfo de México. Pertenece al grupo de volcanes del Sistema Transmexicano, enclavado en la intersección de éste con la Sierra Madre Oriental. Corresponde a un gran estrato-volcán aislado, topografía dentro de la subprovincia fisiográfica denominada Lagos y Volcanes de Anáhuac en la provincia Eje Neovolcánico (INEGI, 1988). Forma con el Pico de Orizaba la Sierra Volcánica Cofre-Orizaba, principal sistema montañoso de la región. El Cofre se delimita al norte por la zona transicional de la Sierra de Jalacingo y las cañadas de Tatatila y Las Minas; al sur por el conjunto de lomeríos que enlazan al Cofre de Perote con el Pico de Orizaba; al oeste por el nivel de base del Valle de Perote, y al este por la línea de ruptura entre las laderas quebradas del Cofre y los lomeríos más suaves en la transición hacia la llanura costera (INEGI-ORSTOM, 1991). Su ubicación geográfica está definida por los paralelos 19°20' y 19°39' de latitud norte y los meridianos 96°56' y 97°17' de longitud oeste.

#### Clima

La montaña del Cofre de Perote presenta, según Koeppen modificado por García (Soto y Angulo, 1990; INEGI, 1989; cit en: Geissert, 1994), los siguientes tipos de clima: templado húmedo, semifrío húmedo y subhúmedo y, frío subhúmedo y semiárido, fuertemente determinados por la posición geográfica de la entidad con respecto a los vientos alisios del hemisferio norte, por su localización en el límite de la zona tropical y la zona árida del noroeste del país, y por la influencia de las perturbaciones atmosféricas tales como ciclones tropicales y frentes fríos del norte. El Cofre constituye una barrera para los vientos cálidos provenientes del Golfo de México, los que al chocar con la montaña suben rápidamente y se enfrían, propiciando neblina o lluvia en la ladera oriental (barlovento), mientras que en la ladera occidental (sotavento) se crea un efecto de sombra orográfica que explica la diferencia proporcional de 4:1 en las precipitaciones de sus vertientes.

En el lado de barlovento, desde los 1,000 o 1,200 m.s.n.m. hasta los 1,500 m.s.n.m. se presenta una franja de clima C(fm), templado húmedo con lluvias todo el año, registrando de 2,000 a 3,000 mm de precipitación anual, cantidad que disminuye de sureste a noreste hasta 1,600 y 1,200



mm, y temperatura media en un rango de 18°C a 12°C. Hacia arriba, entre los 1,900 y 2,300 m.s.n.m. se presenta un clima C(m) templado húmedo con abundantes lluvias de verano. Progresivamente, con el aumento de la altitud, a los 2,300 m.s.n.m. se presenta el tipo de clima C(E)(m), semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano, temperaturas entre 12°C y 5°C y precipitaciones de 1,800 mm; subiendo a los 3,000 m.s.n.m. se registra un C(E)(w2)(w), semifrío subhúmedo también con lluvias de verano, y más arriba a los 3,700 m de altitud, se reporta un clima ETH frío y subhúmedo, con una temperatura media anual entre 5°C y -2°C, y precipitación media anual de 1,200 mm, registrando más de 250 días al año de ciclos de hielo/deshielo.

El flanco de sotavento se caracteriza por un incremento de la sequía. Presenta zonas semihúmedas (7-8 meses húmedos /año) en las partes altas y semiáridas (5-6 meses húmedos /año) en el piedemonte hacia el Valle de Perote. Estos cambios en el régimen hídrico son el resultado de varios fenómenos: *a)* el recalentamiento del aire al pasar la barrera orográfica y la consecuente disminución de humedad relativa, *b)* las masas de aire del golfo que logran pasar la montaña o alcanzan a penetrar por la zona de cañadas de la Sierra de Chiconquiaco, por el norte y noreste; y *c)* los vientos secos, ocasionalmente húmedos, que incursionan por el collado entre el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote, por el sur. En las porciones altas se manifiestan los tipos climáticos de ETH y C(E)(w2)(w). Hacia abajo, a los 3,500 m.s.n.m. se registra un tipo de clima C(E)(w1)(w) semifrío semihúmedo, más seco que el anterior y, a los 2,700 m.s.n.m. el tipo BS1k'w, semiárido templado con lluvias de verano y canícula. Este último reporta precipitaciones de 800 mm en el noroeste a 500 mm en la porción suroeste, y temperaturas de 12°C a 18°C; estas condiciones de aridez se acentúan por efecto de los fuertes vientos generados en el Valle de Perote que resecan el suelo.

## Hidrología

El macizo montañoso del Cofre de Perote constituye la cabecera de tres ríos muy importantes para el centro del estado: La Antigua, Actopan y Bobos, cuyos escurrimientos de una manera directa o indirecta proveen de agua a toda la región. En consecuencia es el punto de partida de tres regiones hidrológicas: la región hidrológica (RH) No. 28 "Papaloapan" en su cuenca B "Río Jamapa y otros" que incluye a los ríos La Antigua, por el este y sur de la montaña y Actopan, por el noreste; la RH No. 27 "Tuxpán-Nautla" en la cuenca A "Río Nautla y otros" con el río Bobos, al norte y noroeste; además, la porción suroeste del Cofre de Perote aporta escurrimientos a la cuenca endorreica "Carmen-Oriental", que forma parte de la cuenca A "Río Atoyac" de la RH No. 18 "Balsas" (INEGI, 1984, 1988; INEGI-ORSTOM, 1991).

La vertiente occidental presenta una red hidrográfica conformada por pequeños arroyos poco ramificados con escurrimiento intermitente y con cierto diseño subparalelo. Las barrancas Cañada

Honda, Paso de la Loba, La Teta, Miranda Chica, Domingo Hernández, Torrecillas, El Rosillo, Santos, El Tigre y Tío Rosendo son las más importantes. En la vertiente oriental la red hidrográfica está bien definida, de tipo subdendrítico y subparalelo, con innumerables ramificaciones de escurrimientos permanentes y caudalosos que forman profundas barrancas, entre las cuales destacan: La Funda, Tepetlayo, Infiernillo, Morey, El Caracol, Revolcadero y Los Capulines.

## Geomorfología

La montaña del Cofre de Perote se extiende de los 2,400 m.s.n.m. que corresponden al nivel base en el Valle de Perote, hasta los 4,250 m.s.n.m. en el punto más alto conocido como "La Peña", y desciende hacia el este hasta los 1,200 m.s.n.m., en donde se convierte en una sucesión de mesetas y lomeríos con barrancas, en la transición hacia la llanura costera. En la porción montañosa se distinguen tres grupos de geformas (Rossignol, 1987; Rossignol *et al.*, 1987; Rossignol y Geissert, 1987; Geissert *et al.* 1994):

- a) El edificio volcánico superior data del Plioceno-Pleistoceno inferior. Está constituido por un domo intrusivo de dacitas rodeado por extensas corrientes de lava andesítica, originadas durante las erupciones de un gran foco volcánico. Estos materiales son la base de las laderas y dieron origen a los acantilados; más tarde, en el Pleistoceno medio y superior, se cubrieron con emisiones de flujos piroclásticos de cenizas y bloques. Está surcado por pequeños valles fluvio-glaciares y barrancas.
- b) Las laderas altas, entre 3,000 y 4,000 m.s.n.m. son escarpadas con interfluvios angostos, en ocasiones amplios; se asocian con mesetas inclinadas y lomeríos alargados, de pendientes fuertes, recubiertas por cenizas volcánicas pumíticas y brechas que sobreyacen a las rocas andesíticas. Particularmente interesantes son los valles en forma de "U" con laderas abruptas y fondos anchos e inclinados, cuyas cabeceras semicirculares posiblemente correspondieron a antiguas calderas o corredores de flujos piroclásticos.
- c) Las laderas bajas orientales y piedemonte occidental representadas en el oriente a partir de los 3,000 m.s.n.m. y hasta los 2,000 m.s.n.m., por mesetas planas, onduladas, lomeríos redondeados, valles de fondo plano, terrazas y depresiones, con pendientes suaves y formadas por depósitos piroclásticos y brechoídes bajo procesos de modelado fluvial. En el occidente, por abajo de los 3,000 y hasta el Valle de Perote (2,400 m.s.n.m.), se observan laderas inclinadas, planicies onduladas y mesetas de débil inclinación, cubiertas por depósitos múltiples de pómez de caída atmosférica (tepetzil) de edad Pliocénica media.

## Suelo

En el Cofre de Perote se han registrado **Andosoles úmbricos** en la vertiente húmeda y **Andosoles háplicos** en la vertiente seca (Geissert, 1994; Meza, 1996). Los primeros poseen horizontes negros alofánicos con una porosidad de 70% a 80% que favorece la circulación del aire y sobre todo del agua; con alta capacidad para retener agua, equivalente a 530 l/m<sup>3</sup> de suelo en Andosoles úmbricos profundos y 410 l/m<sup>3</sup> en suelos poco profundos (Dubroeuq *et al.*, 1992). Empero, como esta retención se efectúa a tensiones altas, sólo la cuarta parte del agua se encuentra disponible para las plantas y los escurrimientos. En condiciones naturales presentan fertilidad química baja, tanto en cationes intercambiables como en fósforo disponible. Estas características hacen de los Andosoles úmbricos suelos muy frágiles, por lo que su exposición al aire libre y a la radiación solar directa pueden reducir hasta de manera irreversible su capacidad de retener humedad y disminuir su buena estabilidad estructural. Los Andosoles háplicos son de color pardo a claro, con poca materia orgánica y en su mayoría se presentan degradados por procesos erosivos y de coluvionamiento. Poseen cierto grado de compactación aunque desprotegidos se vuelven sueltos y polvosos.

En la cima del volcán se presentan suelos de tipo **Litosol ándico**, caracterizados por ser muy someros y desarrollarse en zonas de pendiente fuerte, sobre laderas o dentro de barrancas. Estos mismos suelos se desarrollan también sobre las coladas de lava recientes (Geissert, 1994).

## Vegetación

Para el Cofre de Perote, Narave (1985) define seis pisos altitudinales que representan a las comunidades vegetales más importantes:

De 1,500 a 2,000 m.s.n.m., **bosque mesófilo de montaña**. Se registra sobre todo en la porción húmeda. Este tipo de bosque es una comunidad subperennifolia de transición entre los bosques de pino-encino y caducifolio. Comúnmente se encuentra en forma de fragmentos en barrancas y zonas de neblina muy densa y frecuente. Es un ecotono que registra 47 especies de 32 familias incluyendo 10 helechos.

De 1,800 a 2,300 m.s.n.m., **bosque de encino y pino-encino**. Los principales componentes arbóreos de esta comunidad son *Pinus patula*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrabus*, *Quercus laurina* y *Arbutus xalapensis*, asociados a *Meliosma dentata* y otras especies del estrato arbustivo. Su distribución se restringe a las cañadas y zonas de fuerte pendiente o con suelos no aptos para la agricultura. Importantes extensiones de este bosque han sido sustituidas por agricultura de maíz y

pastizales para ganado bovino. Ocasionalmente se observan bosquecillos de *Cupressus benthami* sobre terrenos planos o con ligera pendiente. El autor registra para esta comunidad, 426 especies correspondientes a 80 familias de plantas vasculares, incluyendo 26 helechos y 2 licopodios.

De 2,200 a 3,000 m.s.n.m., **bosque de pino**. Los pinares del Cofre de Perote se diferencian de acuerdo a la exposición de las vertientes y pueden cohabitar varias especies en una misma zona o conformar manchones monoespecíficos. En la porción oriental donde las condiciones de humedad son frecuentes, se observan *Pinus ayacahuite*, *Pinus patula* y además, una especie endémica de nuestro país: *Abies hickelii*. En tanto en la porción occidental, las especies de árboles son: *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus pseudostrobus var. oaxacana* y *Quercus crassifolia*. El estrato arbustivo está representado por individuos inmaduros de las especies arbóreas, acompañadas por *Senecio sinuatus* y en sitios perturbados se presenta *Baccharis conferta*. Estas comunidades han sido fuertemente modificadas por las prácticas agropecuarias y en algunos casos sólo quedan pequeños manchones.

De 2,900 a 3,600 m.s.n.m., **bosque de oyamel** (*Abies religiosa*). Se trata de una comunidad vegetal monoespecífica, presente en un clima templado (Cw) con humedad elevada (precipitaciones mayores a 1,000 mm anuales y no más de cuatro meses de sequía), ocurrencia de nevadas y temperaturas bajo cero. En zonas de barrancas se asocia con *Arbutus xalapensis* (madroño). El estrato herbáceo está dominado por una gran cantidad de plántulas de *Abies*, que da cuenta de su capacidad de regeneración natural. Para esta comunidad se reportan en total 122 especies correspondientes a 40 familias de plantas vasculares incluyendo 6 helechos.

De 3,500 a 4,000 m.s.n.m., **bosque de *Pinus hartwegii***. Una de las especies arbóreas que más resiste a las bajas temperaturas y suelos poco desarrollados. Se reportan en este bosque 38 especies de 18 familias de plantas vasculares, que incluyen a una especie de helecho. Esta comunidad de pinos constituye el límite altitudinal superior de la vegetación arbórea. Es un bosque monoespecífico con un estrato arbóreo que alcanza hasta 20 m de alto y es generalmente de poca cobertura. Fue sometido a intensas extracciones y ahora presenta una apariencia de regeneración natural y artificial con algunos árboles adultos reminiscentes asociados a un estrato herbáceo, que ha sido aprovechado por muchos años para el pastoreo de ganado ovicaprino.

De 3,900 m.s.n.m. hasta la cima, se encuentra el **páramo de altura** (zacatonal), cuyo establecimiento está normado por las bajas temperaturas y la ocurrencia de hielo y nieve, siendo pocas especies las que lo conforman. El aspecto general de esta vegetación es de pastizal, razón por lo cual también se le llama pastizal alpino, en donde las gramíneas son las especies más abundantes. En esta comunidad se registran 49 especies, entre ellas algunos arbustos que adoptan una fisonomía rastrera en sitios rocosos y de suelos pobres en materia orgánica, además de colonias de musgos que ocupan laderas rocosas y de fuerte inclinación.

## **Historia del uso de los recursos naturales**

Los recursos de la región del Cofre de Perote han sido utilizados desde tiempos prehispánicos, con el empleo de fibras y hojas de algunas plantas para la elaboración de cestas (Gerez, 1982). En los primeros años del presente siglo, los hacendados y los propietarios privados, cuyas grandes posesiones abarcaban hasta la cima de la montaña, obtenían de las partes más altas madera, carbón, tejamanil y resina de ocote, entre otros productos forestales. La madera se utilizó en gran escala en la construcción de casas, barcos y durmientes para ferrocarril (SARH, 1982 cit en: Jardel, 1986).

Posteriormente se inician otras actividades como el pastoreo de ovicaprinos y la agricultura, de lo cual se obtenía queso y leche de cabra, lana de borrego y papa. En el Valle de Perote, las tierras secas de las haciendas se dedicaban al cultivo de maíz, cebada, trigo, avena y mantenían un importante hato de ganado ovicaprino. Las extensas propiedades de la vertiente oriental utilizaban las tierras bajas para el cultivo de café, naranja, plátano, caña de azúcar y practicaban la ganadería mayor (Gerez, 1983).

Los poblados de la montaña se fundaron en su mayoría a partir de la instalación de aserraderos, que se movían de sitio en busca de mejores bosques. Los trabajadores de los aserraderos se quedaban usufructuando las tierras ya intervenidas dedicándolas a la agricultura, la extracción de madera y la ganadería menor, con la esperanza de recibirlas como ejido. Dicho proceso agrario se comienza a presentar a mediados de la década de los años treinta.

Durante muchos años, las zonas forestales estuvieron vistas por el gobierno como áreas improductivas y sólo se establecían apoyos para incorporarlas a la producción agrícola y ganadera, o en su defecto, para otorgarlas en concesión a empresas madereras. En el Cofre de Perote, este proceso repercutió en una fuerte deforestación, frente a la cual se decreta en 1937 Parque Nacional a la porción más alta de la montaña, abarcando 11,700 ha a partir de la curva de nivel de los 3,000 m, territorio que quedaría bajo la vigilancia del entonces Departamento Forestal de Caza y Pesca. No obstante, las tierras ahora federales, se habían entregado meses antes -y también después- a los ejidos conformados por antiguos trabajadores de los aserraderos e inmigrantes que se quedaron en las tierras intervenidas por los madereros. Esa doble propiedad de la tierra favoreció a los madereros, pues siguieron extrayendo madera, hasta que se decreta la veda forestal en 1952, que lejos de proteger los bosques incrementó la tala clandestina, la apertura de tierras para el cultivo de papa y el impacto del pastoreo sobre el bosque (Ramírez, 1983; Jardel, 1986).

Ante el evidente fracaso, se levanta la veda forestal en 1978 y se impulsa un programa de aprovechamiento forestal con capacitación campesina. Sin embargo, entre 1982 y 1989, los habitantes de Xalapa, una parte de la opinión pública mal informada que se sentía más dueña del agua que los campesinos de sus bosques, presionan a través de los medios de comunicación para que las instancias gubernamentales suspendieran los permisos forestales en el Cofre de Perote, dejando a los

productores nuevamente bajo una explotación ilegal y fuera del proceso de manejo y cultura forestal que se estaba dando en otras regiones forestales del estado (Gerez, 1983, 1985, 1992a, 1992b).

Paralelamente, la bonanza del cultivo de la papa en los años setenta y ochenta propició la apertura de nuevos terrenos agrícolas en detrimento de los bosques. La inmigración de "medieros" (socios aportadores de capital) y la proliferación de créditos a la producción de la solanácea en la región, estimularon más esa apertura, a pesar de que esa actividad sólo se orienta a producir para el mercado con altos rendimientos, sin considerar la potencialidad de los suelos y la utilización de prácticas adecuadas. Los efectos se manifestaron a muy corto tiempo: a finales de los ochenta los suelos estaban agotados, erosionados, abandonados y se había duplicado la superficie desforestada (CCPNCP-CID, 1991-1995).

A comienzos de la presente década, el cultivo de la papa entró en un período de crisis de producción y de mercado, del cual aún no ha podido salir. Se observa una superficie considerable de tierras de cultivo que se encuentra en descanso, con algunas parcelas que tienen entre tres y cinco años sin producir, cuyos dueños buscan alternativas de subsistencia en la ganadería extensiva o emigran para ser jornaleros o subempleados en los pueblos más grandes y las ciudades (CCPNCP-CID, 1991-1995).

En 1989 se establece un programa estatal muy ambicioso con el objetivo de lograr el manejo integral e impulsar el desarrollo de una cultura forestal en la región. Empero, la situación se presenta más difícil pues la montaña se encuentra transformada en diversos grados. Durante un sexenio se alcanzaron algunos resultados relativos a la protección de lo que queda de propiedad federal, a la reforestación de zonas críticas, al control de la erosión, al mejoramiento en el manejo de las tierras agrícolas, a la disminución del pastoreo libre en el bosque procurando una ganadería estabulada y producción de forrajes como la veza de invierno<sup>6</sup>, y a la capacitación y organización campesina para el manejo del bosque (Gov. del Edo. de Ver., 1989).

Sin embargo, el panorama que se observa en la montaña es desolador. La contradicción jurídica de tenencia de la tierra, la expansión de la agricultura y del sobrepastoreo, la contaminación del suelo por plagas, la erosión y la pérdida de la capacidad retenedora de agua de los suelos, la mala planificación del aprovechamiento forestal, el empobrecimiento de los habitantes, la migración de fuerza de trabajo, la inseguridad de los visitantes al Parque Nacional, los incendios y la tala clandestina son algunos de los problemas que requieren de una solución urgente, bajo un esquema integral y duradero, que articule a los pequeños, aunque valiosos, esfuerzos que se realizan en la región. Mucho se ha invertido en reforestaciones artificiales sin recordar que la montaña posee un índice alto de reforestación natural (Robles, 1983). Las condiciones del Parque Nacional lo llevan a ser calificado en la categoría de malo (Ramírez, 1983); sin embargo, las funciones que desempeña son de primordial importancia para la región, lo cual reclama la atención debida y permanente con el fin de darle verdadero sentido al parque.

---

<sup>6</sup> En 1997, el estado de Veracruz y en particular la región de Perote obtuvieron el primer lugar nacional en producción de veza de invierno.

### *3. Metodología*

*Geoformas cóncavas y convexas en el bosque de oyamel y pino*



### 3.1 Marco metodológico

Considerando que la región dispone de pocos trabajos relativos a los aspectos geográficos y ecológicos que sirvieran de referencia y sustento para elegir el área de estudio, y aunque el enfoque primordial de este trabajo es el proceso de cambio de uso del suelo y sus efectos en los ecosistemas, se consideró importante desarrollar una primera etapa de caracterización del área, indispensable para la selección de los sitios de muestreo.

Se recurrió al concepto de cuenca como unidad hidrogeográfica, con límites de parteaguas definidos y permanentes, para la delimitación espacial de un área suficientemente homogénea en cuanto a vegetación, relieve, tipo de suelo y uso del mismo.

Las características estructurales y funcionales de la cuenca permiten entender la dinámica de los paisajes que la integran; de esta manera, el análisis geográfico y ecológico en el área, denominado para estos fines geoecológico, definió el marco ambiental más idóneo para el estudio de las propiedades edáficas.

La segunda etapa constituye el asunto medular del estudio y se refiere al análisis de la variación en las propiedades edáficas entre suelos forestales y de cultivo, de acuerdo a su posición en el relieve.

Finalmente, recurriendo a la valoración de la calidad del suelo se establece una homologación de las condiciones edáficas en todo el paisaje.



## 3.2 Etapas del trabajo

### 3.2.1 Caracterización del área de estudio

#### *Revisión de material bibliográfico*

Recopilación de la información básica sobre el tema de estudio:

- ▶ Revisión bibliográfica sobre suelo, relación suelo-topografía, relación suelo-vegetación, Andosoles, paisajes, fragmentación de paisajes, paisajes de laderas volcánicas.
- ▶ Revisión documental sobre el Cofre de Perote.
- ▶ Consultas de material cartográfico y fotográfico.

#### *Definición del espacio de análisis*

Para la selección del área se recurrió a los siguientes criterios:

- ▶ Cuenca (unión de dos cuencas de 2° orden, en una red hidrográfica vista a escala 1:50,000).
- ▶ Presencia de Andosol bien desarrollado y una evidente diferenciación de estos suelos en el área.
- ▶ Diversidad en el relieve, presencia de distintas unidades de ladera (rectas, cóncavas y convexas).
- ▶ Variedad en el uso del suelo (bosque, agricultura y ganadería).
- ▶ Paisajes de bosque claramente fragmentados.

Se eligió una cuenca en la cabecera del sistema hidrológico del río Nautla, correspondiendo a una pequeña área de captación de dos escurrimientos de segundo orden, de carácter permanente, en la zona más elevada del Cofre de Perote, con la finalidad de identificar y registrar los procesos que influyen en la dinámica del espacio aguas abajo sobretodo en la porción baja de la cuenca elegida en donde se realizaron las observaciones respecto de los cambios en el suelo, y porque es una zona ubicada en la transición de sotavento y barlovento, orientada al norte.

### **Elaboración de la cartografía**

Interpretación de fotografías aéreas blanco y negro, escala 1:20,000 de febrero de 1993, con lo que se elaboraron tres mapas:

- ▶ El **mapa hidrográfico** contiene la red hidrológica permanente, intermitente y efímera en la cabecera de la cuenca. Se trabajó a escala 1:50,000 confirmada a 1:20,000 y sólo considerando escurrimientos permanentes y no temporales y efímeros para su jerarquización.
  
- ▶ El **mapa de geoformas** destaca los diferentes tipos de laderas a partir de la forma o geometría que presentan, ya que las laderas son las formas del relieve (geoformas) dominantes en la zona y consecuentemente, los sitios en donde se registra la presión humana con fines agrícolas. Las unidades de ladera se definieron a partir del perfil (longitudinal) y plano (transversal) que muestran, considerando el criterio utilizado por Parsons (1988, cit en: Summerfield, 1991) en su clasificación tridimensional de las formas de ladera. También se definen las cimas, las cañadas y planicies con base al criterio geomorfológico (Lugo, 1989). Las cimas se dividieron en aplanadas: angostas y amplias; agudas: tendidas y en pico y, domos. Para la definición de cañadas o cauces distinguimos cóncavo amplio, de fondo agudo "V" y de fondo plano "U". Las planicies conforman una sola categoría por ser escasas y de poca extensión.
  
- ▶ El **mapa de vegetación** representa los tipos de vegetación y asociaciones vegetales en función de su grado de cobertura, considerando los valores de: >90%, 90-70%, 70-50% en las áreas boscosas y, 50-25%, 25-5% y <5% en las perturbadas, incluye las áreas totalmente agrícolas.

### **Integración de datos en un sistema de información geográfica (SIG)**

Con el uso del *Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS)* (ITC, 1992) se capturó la información cartográfica generada, se sometió a un manejo por sobreposición de mapas y se generaron nuevos mapas como: combinaciones geoformas-uso para diseñar el muestreo, paisajes geocológicos, niveles de modificación del paisaje, entre otros.

### 3.2.2 Análisis de la variación en las propiedades edáficas

#### *Selección de sitios*

Se definieron dos tipos de muestreo:

a) Muestreo de 7 perfiles de **referencia** para la caracterización de los suelos de toda la cuenca, localizados en un transecto longitudinal (gradiente de altitud y temperatura) y otro transversal (gradiente de humedad).

b) Mediante la sobreposición de los mapas, se identificaron las combinaciones de geoforma-uso del paisaje de laderas onduladas, con mayor influencia agrícola, que cubren mayor superficie respecto de la cuenca y que representan las situaciones más contrastantes. Estas son:

Bosque de <i>Abies</i> -pino (bosque) en ladera recta-convexa	Cultivo en ladera recta-convexa
Bosque de <i>Abies</i> -pino (bosque) en ladera convexa-convexa	Cultivo en ladera convexa-convexa
Bosque de <i>Abies</i> -pino (bosque) en ladera recta-cóncava	Cultivo en ladera recta-cóncava

Se seleccionaron los sitios de muestreo en las seis combinaciones, definiendo seis repeticiones para cada tipo de combinación, lo que hace treinta y seis sitios.

Las fotografías aéreas reflejan la situación imperante en el año 1993, se definieron sitios de cultivo que más tarde se comprobó que ya tenían algunos años en descanso agrícola.

#### *Obtención de muestras*

El muestreo del horizonte superficial en los 36 sitios y en los perfiles de referencia se realizó durante los meses de julio a octubre de 1996.

1. Perfiles de referencia para determinar los parámetros físicos y químicos de todos los horizontes del perfil de suelo, seleccionados estratégicamente y representativos de toda la cuenca.

- ▶ Se realizó una excavación de entre 100 y 200 cm.
- ▶ Se identificaron los horizontes que conforman el perfil.
- ▶ En cada horizonte se tomó una muestra para análisis y otra con cilindro.
- ▶ Se describieron todos los horizontes y las características del sitio.

2. Muestreo del horizonte superficial para la determinación de las características físicas y químicas. Se eligió el horizonte superficial porque en él se desarrollan la mayoría de los procesos edáficos de índole biológico.

- ▶ En cada sitio se hizo una excavación de 30 cm para la toma de la muestra.
- ▶ Se verificó el espesor de los horizontes de cada sitio, mediante barrenación hasta 100 cm de profundidad, que además permitió conocer algunas características de los horizontes.
- ▶ En cada sitio se tomó una muestra para análisis y otra, con cilindro, para la determinación de la densidad aparente.
- ▶ Se describió el horizonte A, incluyendo las características en el contacto con el siguiente horizonte y las características del perfil observables mediante la barrenación.
- ▶ Se describió el sitio, el entorno ecológico y los rasgos de perturbación en las inmediaciones al lugar.

#### ***Levantamiento de encuestas. Evaluación del medio antropogénico***

Se preparó un guión de encuesta de campo (Anexo No. 2) para aplicarse a los poseedores de algunas parcelas seleccionadas como sitios de muestreo con el fin de:

- ▶ Conocer y evaluar las actividades humanas.
- ▶ Obtener una apreciación cronológica de las formas de uso del suelo.
- ▶ Dimensionar cualitativa y cuantitativamente la presión que se ejerce sobre los recursos naturales.

#### ***Preparación de las muestras para análisis de laboratorio***

##### **a) Muestra en bolsa**

Las muestras de suelo se extienden en una charola de cartón, se deshacen los terrones y se ponen a secar, a temperatura ambiente. Los suelos se tamizan con malla de 2 mm.

##### **b) Muestra en cilindro**

Se toman los datos de peso en húmedo y se lleva a la estufa para secado.

### **Determinación de parámetros físicos y químicos**

Para la determinación del **color** se tomaron dos pequeñas porciones de cada una de las muestras, una en seco y otra humedecida, y se confrontaron con la Carta de Color de Munsell (1954).

La **densidad aparente** se determina mediante el método del cilindro o del núcleo. Se utiliza la muestra tomada en campo, en el cilindro rígido. Se pesa el suelo húmedo (con la humedad que trae de campo) contenido en el cilindro y se divide entre el volumen del cilindro. La **densidad real o densidad de partículas**, se determina por el método del picnómetro (Dewis y Freitas, 1984) y la **porosidad** se obtiene de la relación entre ambas densidades (d.r.-d.a./d.r.).

El contenido de **humedad** resulta de la diferencia del peso de suelo húmedo y el peso seco.

En la determinación de la **textura** se empleó el método de Bouyoucos (1962) para las muestras del horizonte superficial y el método de la pipeta para los perfiles de referencia.

Se determina el contenido de **carbono orgánico** mediante el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982) y de este valor se calcula la **materia orgánica**.

El contenido de **nitrógeno total** se determinó por el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

Para la determinación del **pH** en **NaF** y en **KCl 1N** se utilizó el procedimiento del potenciómetro propuesto por Fieldes y Perrot (1966 cit en: Aguilera, 1989). El **pH** en **agua**, relación 1:2, se determinó por potenciometría (Mc Lean, 1982).

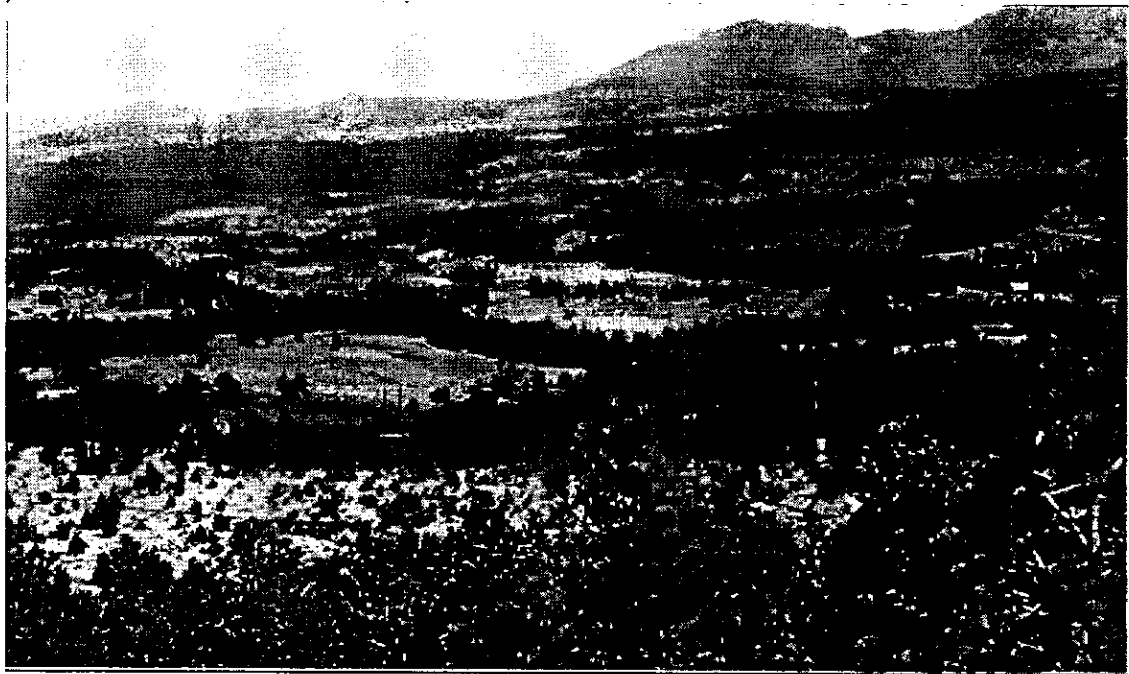
El **fósforo extractable** se determinó por el método Bray 1 (Olsen y Sommers, 1982) y las **bases intercambiables o cationes** fueron extraídos con una solución de acetato de amonio 1N, a pH 7. El **sodio** y **potasio** se cuantificaron por fotometría de flama (flamometría) (Knudsen, Peterson y Pratt, 1982), en tanto que el **calcio** y el **magnesio** por absorción atómica (Lanyon y Heald, 1982). La **capacidad de intercambio catiónico efectiva**, es la determinación que se recomienda para suelos ácidos, se refiere a la suma de los contenidos de cationes y la **acidez intercambiable**, que a su vez es la suma del **aluminio** y del **hidrógeno intercambiables**, determinados por el método de titulación (Barnhisel y Bertsch, 1982).

**Manejo y tratamiento de datos**

- ▶ Perfiles de referencia. Los datos obtenidos del análisis fisicoquímico de las muestras de siete perfiles de referencia sirven para caracterizar el tipo de suelo en la cuenca.
- ▶ Datos de 36 sitios de muestreo del horizonte superficial. Con esta muestra se realizó un análisis estadístico para conocer su comportamiento y encontrar las diferencias estadísticamente significativas a una confiabilidad de 0.05% ( $P < 0.05$  y  $P < 0.001$ ) entre grupos de geoformas (RCx, CxCx y RCv) y usos (bosque y cultivo), mediante una ANOVA de una y dos vías. En todos los análisis se utilizan seis repeticiones para cada combinación ubicadas en distintos sitios de muestreo.
- ▶ La base de datos cartográficos integrados en un SIG-ILWIS se emplea para la realización de cuantificaciones, sobreposiciones de mapas, para establecer relaciones entre ellos y generar nuevos mapas.
- ▶ Datos obtenidos en campo. Observaciones y encuesta para obtener una apreciación cronológica de las formas de uso del suelo y dimensionar cualitativa y cuantitativamente la presión antrópica en el suelo.

#### *4. Resultados. Caracterización de la cuenca de estudio*

*El proceso de fragmentación en el paisaje de laderas onduladas con abetos*



## 4.1 Caracterización de la cuenca de estudio

### 4.1.1 El medio natural

La unidad geográfica que nos ocupa es una cuenca localizada en la vertiente norte del volcán Cofre de Perote y se inserta en el parque nacional del mismo nombre; este último comprende la porción más elevada, a partir de los 3,000 m.s.n.m (Figura 2). El área de estudio representa la zona forestal con influencia agrícola a mayor altitud en la montaña. Se configura con la superficie de captación de dos ríos de segundo orden que localmente se conocen como las barrancas de "Cañada Honda" y "Paso de la Loba", correspondientes a la cabecera de la cuenca del río Bobos.

El área de estudio abarca una superficie de 974.18 ha, comprendiendo desde los 3,060 m.s.n.m. hasta la cima del volcán a los 4,250 m.s.n.m. Ofrece un desnivel de 1,190 m aproximadamente, en una distancia de 6.25 km de longitud máxima y 2.7 km de amplitud máxima. Su ubicación geográfica está dada por los paralelos 19°29'30" y 19°32'55" de latitud norte y los meridianos 97°08'10" y 97°09'41" de longitud oeste (Figura 3).

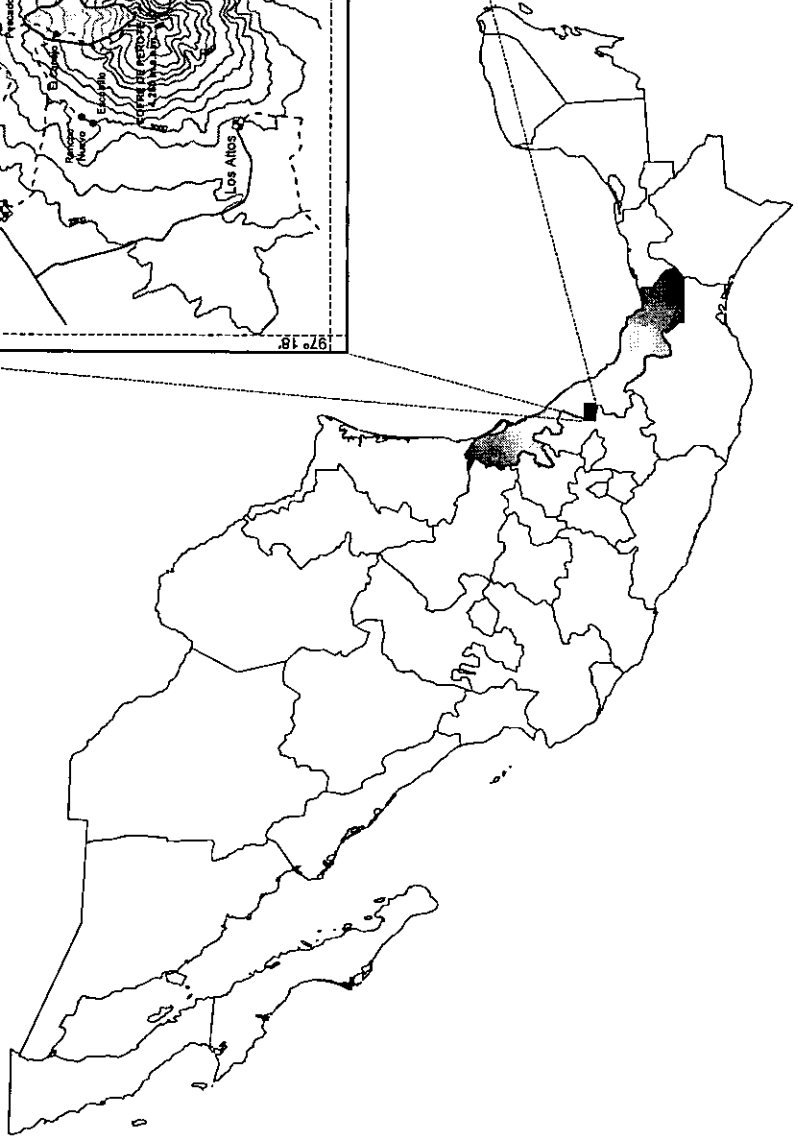
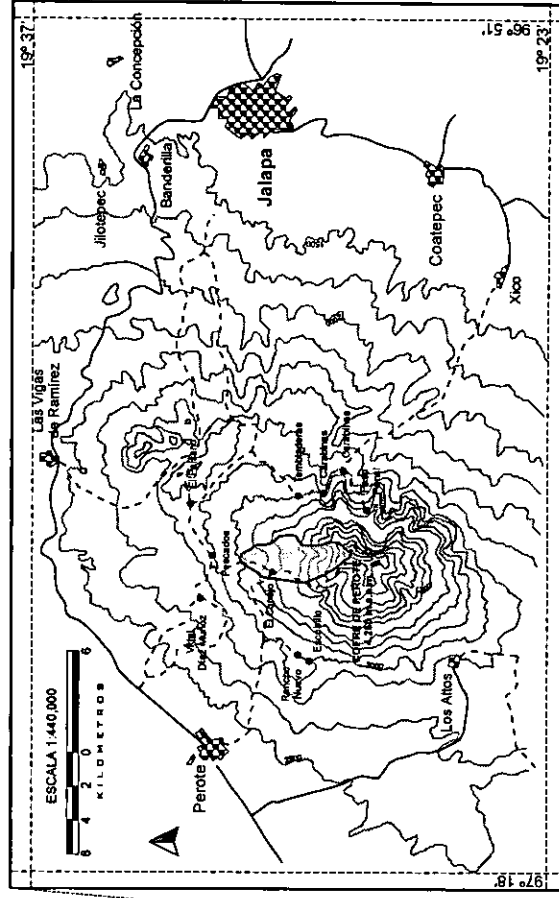
Por su posición geográfica orientada hacia el norte, la cuenca se ubica en la transición de barlovento y sotavento de la montaña, por lo cual manifiesta transversalmente condiciones húmedas y cálidas por la influencia del Golfo de México, además de condiciones semi-áridas y frías por la influencia del altiplano mexicano. En la misma Figura 3 se observan las características termopluviométricas de la cuenca. La isoyeta de 1,100 mm es casi paralela al parteaguas oriental y la de 900 mm al parteaguas occidental; la de 1,000 mm cubre los poblados de El Conejo y Agua de los Pescados.

Asimismo, el clima en la cuenca responde a un gradiente altitudinal, que le confiere de sur a norte un gradiente de temperatura. La isoterma<sup>1</sup> de 4°C se registra cerca de la cima, la de 6°C alrededor de los 3,500 m.s.n.m. en la transición de los dos principales paisajes -también transición entre bosques de *P. hartwegii* y de *Abies*-, la de 8°C, próxima a los 3,200 m.s.n.m., justo donde se encuentra el poblado y, por último, la isoterma de 10°C coincide con los 3,000 m.s.n.m. abajo de la confluencia de los parteaguas que configuran la cuenca. En su porción oriental (Cañada Honda), la cuenca recibe una cantidad importante de niebla, misma que al pasar por los bosques de abetos y pinos es captada y precipitada, contribuyendo en forma notable a la hidratación del suelo.

<sup>1</sup> La información de isolíneas de temperatura y precipitación fue tomada e interpolada del anexo cartográfico incluido en el Cuaderno de Información Básica para el Cofre de Perote (INEGI-ORSTOM, 1991).

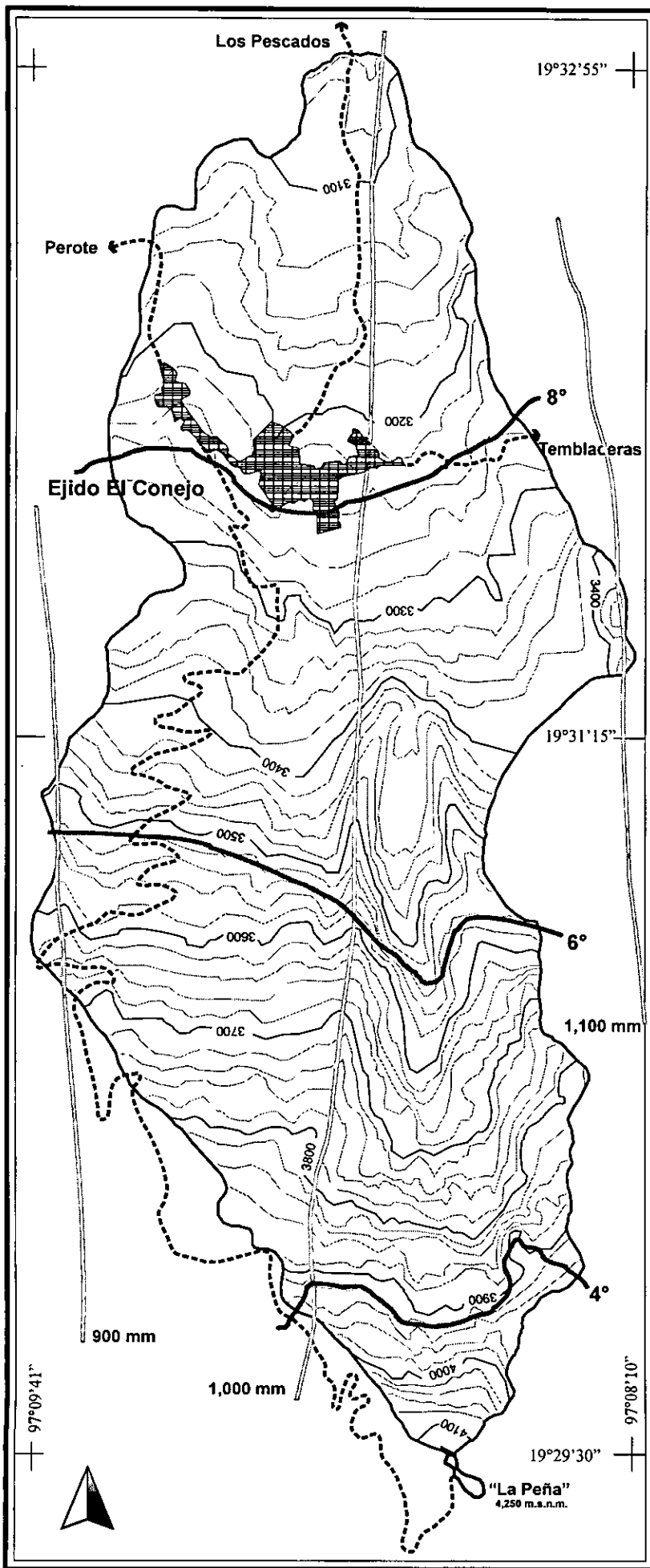


**Fig. 2 Mapa de ubicación geográfica de la cuenca de estudio**




Fuente:  
INEGI, 1982. Carta Topográfica Esc. 1:250,000  
VERACRUZ (E14-3), México.

Elaboró: María Ramírez    Diseñó: Evelia Ramírez

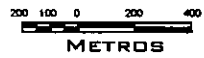


**Fig. 3 Mapa topográfico y termopluviométrico**

**SIMBOLOGÍA**

- Curvas Auxiliares
- 1000— Curvas Acotadas
- Isoterma
- Isoyeta
- - - - Terracería
-  Poblado

Escala 1:27,000



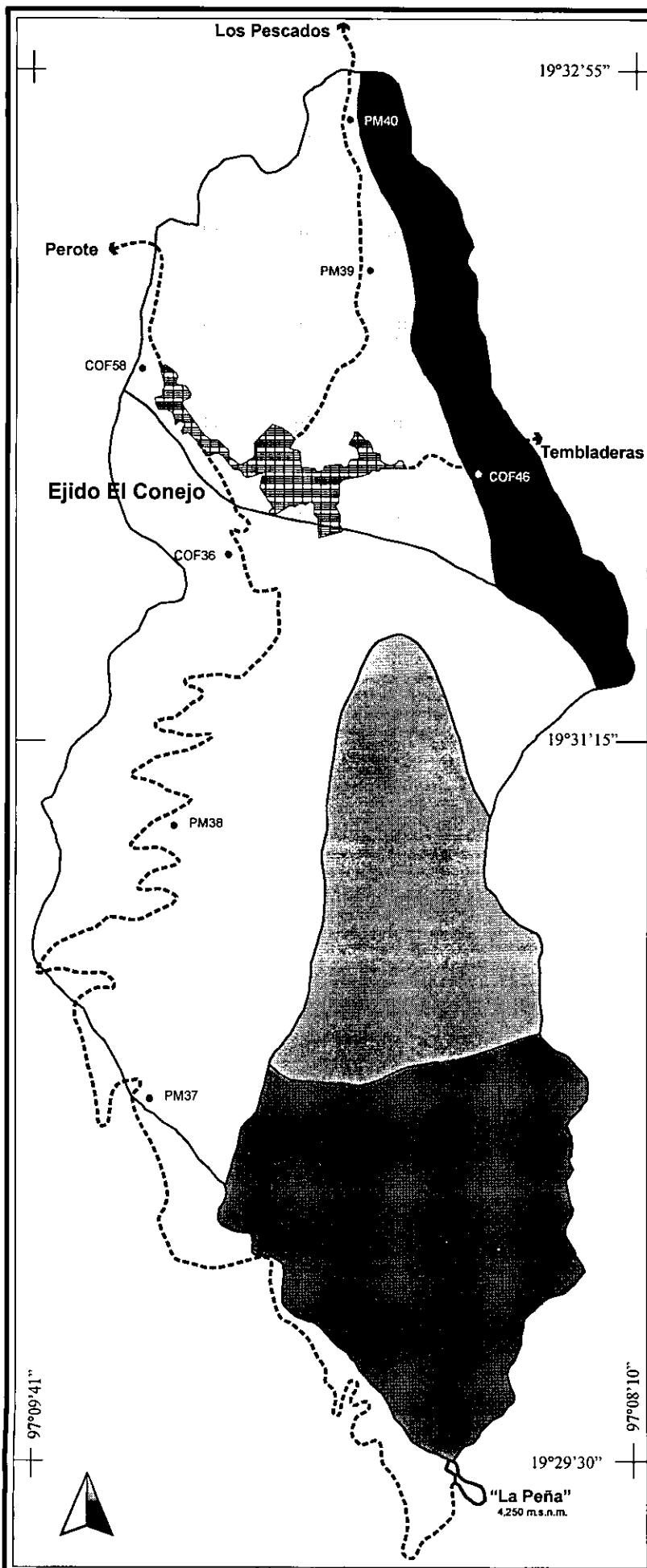
Fuente:  
 INEGI, 1967. Cartas Topográficas Esc. 1:50,000 PEROTE (E14828) y XICO (E14830), México.  
 INEGI-ORSTOM, 1991. Cuaderno de Información Básica. Región Coahuila de Perote. Anexo Cartográfico. Mapa de temperatura y precipitación. Esc. 1:100,000 México.

La cuenca se localiza en una zona de topografía predominantemente ondulada que se forma a partir de los depósitos de flujos de cenizas con bloques y avalanchas de carácter volcánico, excepto en la porción más alta, en donde se presentan geofomas escarpadas como parte del afloramiento dacítico del domo extrusivo. En general, el tipo y grado de alteración de estos materiales definen la distribución y el nivel de desarrollo de los Andosoles en la cuenca.

El trabajo sobre caracterización y cartografía de paisajes geomorfoedafológicos para la montaña Cofre de Perote, realizado por Geissert *et al.* (1994), en el cual se analiza la relación materiales de origen, modelado y suelo; sirvió de referencia para el reconocimiento general de la cuenca, en ella quedan incluidos parcialmente, cinco paisajes geomorfoedafológicos (Figura 4) a los que se les asignó un nombre local para tener mejor referencia, y sus características son: “La Peña” es el nombre con el que se reconoce a la cima del volcán (4,250 m.s.n.m.), tiene una forma cuadrada y aspecto de «cofre», correspondiendo a un dique en el interior del antiguo cráter del volcán, tal vez el responsable de la explosión que destruyó la parte superior del edificio, en un pasado geológico relativamente reciente. Este paisaje se extiende hasta los 3,800 m.s.n.m., en donde se observa un cambio de pendiente y de material litológico; es un escenario de macizos rocosos, amplios conos y taludes de derrubios en laderas muy escarpadas. Se desarrolla un suelo incipiente de tipo Litosol ándico y Andosol úmbrico (húmico) en sitios ligeramente más estables.

En torno al cuerpo intrusivo (dique), en las porciones altas de la montaña (3,800 a 4,200 m.s.n.m.), se reportan lavas dacíticas del Pleistoceno medio que forman el domo del volcán. Estos materiales constituyen las laderas altas y escarpadas de la montaña y presentan disección moderada a muy fuerte y pendientes fuerte a excesivamente fuerte, con acantilados. En el relieve se observan rasgos de modelado glacial y nival, valles en forma de U con cabeceras semicirculares de paredes abruptas e irregulares, y fondos anchos ligeramente inclinados. “Cañada Honda” es una barranca de forma parecida a una «cubeta» extensa, constituida por depósitos de flujo de cenizas y bloques sobre un basamento de andesita que conforma las laderas de pendiente fuerte en la montaña. Estos depósitos datan del Pleistoceno superior y manifiestan modelado glacial y nival, y más reciente han sido modificadas por la acción fluvial, adoptando una forma de V. Es un área de captación de agua superficial y resurgencia de agua subterránea, en donde se origina uno de los cauces permanentes de la cuenca, cuyo talweg experimenta una nueva etapa de erosión, surcando la planicie en el fondo del valle.

En las laderas y en el fondo plano, los depósitos de flujo de cenizas y bloques presentan una matriz areno-limosa, con bloques angulosos a subredondeados y heterométricos (tamaño que puede ser superior a 1m), en las cuales se han podido observar fisuras radiales de enfriamiento. Son materiales de poca alteración, por lo que la matriz presenta coloraciones de café oscuro a claro amarillento, con tonos de ocre; en ocasiones, el depósito presenta un color rojizo, indicador de calentamiento. Generalmente los depósitos en los interfluvios tienen un espesor reducido (inferior a 2 m) y más amplio en los ejes de drenaje (3 a 5 m). Se presenta una asociación de Andosol úmbrico con Litosol ándico.



**Fig. 4 Mapa de paisajes geomorfoedafológicos**

**SIMBOLOGÍA**

- "Los Pescados"
- "El Conejo"
- "Paso de la Loba"
- "Cañada Honda"
- "La Peña"
- Perfiles de Referencia

Escala 1:27,000



Fuente:  
 Geissert D., D. Dubroeuq, A. Campos y E. Meza. 1994.  
 Paisajes geomorfoedafológicos de la Región Volcánica  
 Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México.  
 Esc. 1:75,000 Inst. Ecol.-ORSTOM-CONACYT.  
 Xalapa, Ver.

Elaboró: María Ramírez      Diseñó: Evelia Ramírez

El tercero de los paisajes geomorfoedafológicos es la barranca "Paso de la Loba" que corresponde a las laderas más amplias y menos disectadas, en la porción occidental de la cuenca. Constituida por el mismo tipo de depósitos de flujos de cenizas y bloques que sobreyace a un sustrato andesítico del Pleistoceno superior, presenta modelado irregular con pendientes moderadas (3° a 11°) y fuerte en pequeñas zonas altas (11° a 22°). En su parte más superficial se observa una cubierta de coluvión periglacial moderadamente disectada. El relieve ondulado favorece un mayor desarrollo del suelo presentando Andosol úmbrico moderadamente profundo. "El Conejo" es una zona de laderas onduladas en la porción occidental de la cuenca. Tiene una base de andesita intemperizada, cubierta por depósitos de flujo de poco espesor de cenizas y algunos bloques. Presenta pendiente y disección moderadas.

Finalmente, "Los Pescados" corresponde a la porción baja de la cuenca, sobre su ladera oriental. Presenta depósitos de avalancha volcánica rocosa, también del Pleistoceno superior, poco intemperizados, cubriendo la ladera de andesita y a su vez, subyacen a un flujo de cenizas de espesor variable. Posee una pendiente y disección moderada. Una síntesis de las principales características se concentra en la Tabla 3 y permite observar una relativa similitud entre los paisajes de "La Peña" y "Cañada Honda" por un lado, y entre los tres restantes, por otro.

Tabla 3 Paisajes geomorfoedafológicos para la cuenca (adaptado de Geissert *et al.*, 1994)

Paisajes Geomorfoedafológicos	Cima de la montaña	Laderas de la montaña			
	"La Peña"	"Cañada Honda"	"Paso de la Loba"	"El Conejo"	"Los Pescados"
<b>Materiales</b>	Domo extrusivo de dacita	Basamento de andesita			Depósito de avalancha volcánica rocosa
		Depósitos de flujos de cenizas y bloques			
		delgado (< 2 m) Poco intemperizado	poco espesor pocos bloques intemperizados	bloques poco intemperizado	
<b>Edad</b>	Pleistoceno medio	Pleistoceno superior			
<b>Disección y modelado</b>	moderada a muy fuerte disección (desde 10 m hasta más de 200m)	moderada disección (desde 10 m hasta 50 m de profundidad de disección)			
	modelado glacial y nival	cubierta por coluvión periglacial	cubierta irregular y delgada de la Toba Faby	cubierta por flujo de cenizas de espesor variable	
<b>Pendiente</b>	fuerte a excesivamente fuerte (11° a >39°)	fuerte (11° a 22°)	moderada y fuerte (3° a 22°)	moderada (3° a 11°)	moderada y fuerte (3° a 22°)
<b>Suelos*</b>	Litosol ándico y Andosol húmico	Andosol húmico poco profundo y Litosol ándico	Andosol húmico poco y moderadamente profundo y Andosol ótrico-dístrico	Andosol ótrico- éútrico y Andosol dístrico	Andosol húmico poco profundo y profundo

\* La términos utilizados para la denominación del tipo de suelo Andosol conserva la Taxonomía anterior.

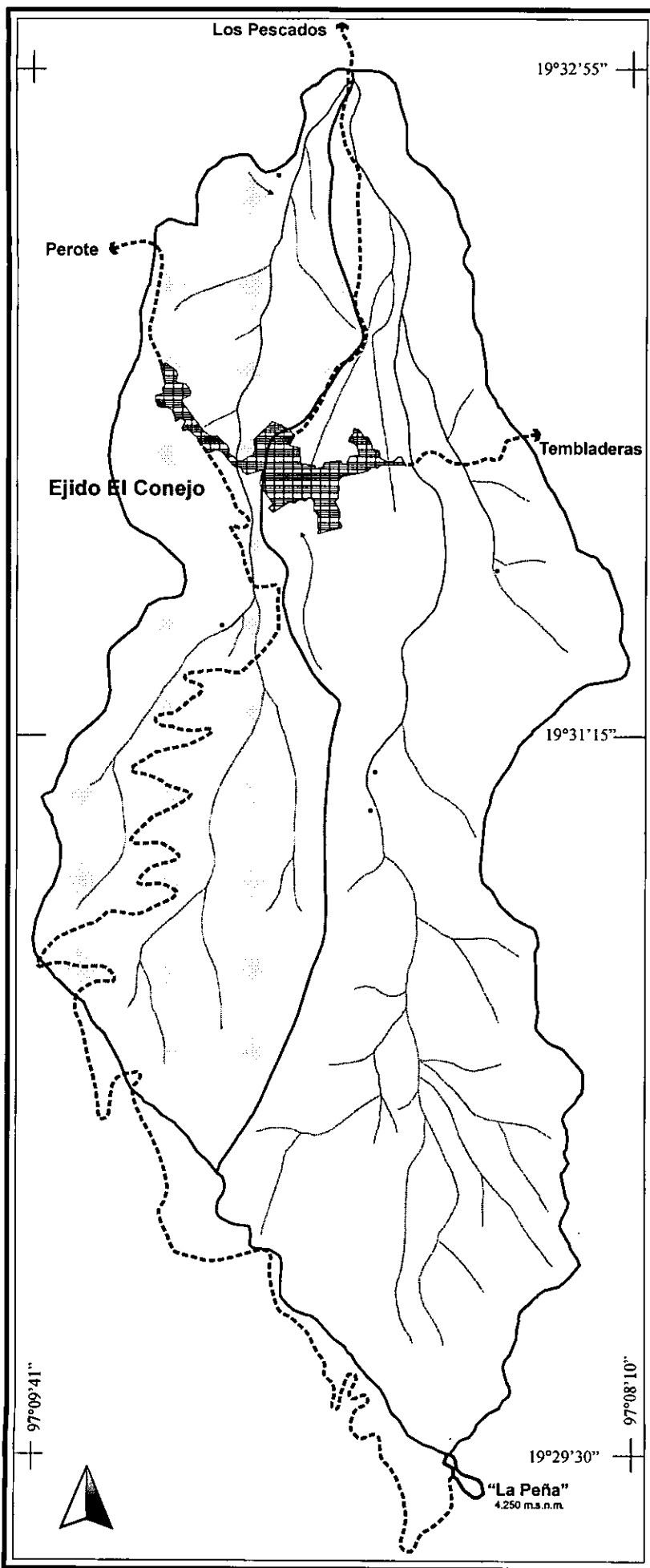
La cuenca de cabecera presenta una forma alargada ligeramente ovalada. Se integra por dos microcuencas de segundo orden: "Cañada Honda" con 587.10 ha y "Barranca Paso de la Loba" con 387.08 ha (Figura 5). Ambas forman parte de la cabecera de cuenca del río Valsequillo, el cual desciende al Valle de Perote y se une al río Churrero, que viene de Sierra de Agua, para seguir descendiendo hacia las barrancas de Las Minas y Tatatila; en este punto, una parte de su caudal es captado en una represa y utilizado con fines urbanos e industriales. El escurrimiento que logra seguir constituye el caudal principal del río Bobos, afluente importante del río Nautla.

Dentro de la cuenca los dos escurrimientos principales son de carácter permanente, tienen una dirección S-N y se abastecen de manantiales permanentes, a los que se suma el caudal de ríos y manantiales durante e inmediatos a la temporada de lluvias. En las laderas escarpadas sobre todo de la porción alta, se desarrollan corrientes pequeñas y efímeras. A medida que se suaviza la pendiente de las laderas, la formación de corrientes intermitentes es más común. En conjunto diseñan un patrón de drenaje de tipo subparalelo, más frecuente en la parte alta, y subdendrítico en el resto del área.

Existen dos zonas de mal drenaje precisamente en las áreas de planicie y tienen manantiales permanentes, abastecedores de agua para varias poblaciones asentadas en el Valle de Perote. Así mismo, en la época de lluvias se generan muchos manantiales intermitentes cuya producción se almacena en construcciones denominadas "cajas de agua" y que es aprovechada también con fines domésticos. Muy poco se emplea el agua para riego en la agricultura pues no existen las condiciones técnicas para realizarlo; sin embargo, las parcelas que se ubican cercanas a las mencionadas planicies en ocasiones, instalan mangueras con esa finalidad.

En la cuenca dominan los Andosoles, suelos que se originaron a partir de la intemperización de materiales volcánicos en un ambiente húmedo y templado de altura. Destaca el tipo Andosol úmbrico (FAO, 1990) en las áreas de mayor humedad (entre las isoyetas de 1,000 y 1,100 mm) y con presencia de bosque, que ocupa la porción oriental de la cuenca, sobre laderas rectas y cóncavas. En áreas de menor humedad y vinculadas con el uso agrícola, en el extremo occidental, se presenta el tipo Andosol háplico. La porción más alta presenta una asociación de Andosol úmbrico y Litosol ándico, este último localizado en sitios más escarpados y rocosos. Los dos transectos con siete perfiles que se muestrearon sirven de referencia para caracterizar los suelos de la zona (Figura 4, pág. 49). El muestreo transversal considera el gradiente de humedad y el longitudinal responde al gradiente de temperatura, función de la altitud. Sus características y los parámetros físicos y químicos se presentan en el Anexo No. 1.

De estos perfiles se observa que seis de los siete corresponden al tipo Andosol úmbrico profundo, con un horizonte A oscuro a negro y espeso; sólo uno representa al Andosol háplico (COF58). De la zona fría a semifría se observa mayor diferenciación morfológica en los horizontes; el espesor del horizonte A disminuye y se inicia un desarrollo incipiente del horizonte B. Asimismo, se presenta un ligero aumento en el pH y en la capacidad de intercambio catiónico efectiva (Tabla 4).



**Fig. 5 Mapa de hidrografía**

**SIMBOLOGÍA**

- Cuenca "Paso de la Loba"
- Cuenca "Cañada Honda"
- Parteaguas
- Escurrimiento Permanente
- Escurrimiento Temporal
- Infiltración
- Manantial

Escala 1:27,000  
 200 100 0 200 400  
 METROS

Fuente:  
 INEGI, 1987, Cartas Topográficas Esc. 1:50,000 PEROTE (E14826) y  
 XICO (E14836), México.  
 Elaboró: María Ramírez      Diseñó: Evelia Ramírez

Tabla 4 Características edáficas del horizonte superficial en un gradiente altitudinal

Perfil	Uso del suelo	Altitud (m.s.n.m.)	Temperatura (°C) *	Color en húmedo	Morfología de los horizontes	Espesor (cm)	d. a. (Mgm <sup>-2</sup> )	pH** 1:2	m.o. (%)	CiCe (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )
PM37	<i>P. hartwegii</i>	3,825	5°	10YR2/2	A-AC-C	60	1.0	5.3	11.3	2.25
PM38	<i>P. hartwegii</i>	3,560	6°	10YR2/1	A-AC-C	50	0.8	5.1	13.7	7.47
COF36	<i>Abies</i>	3,340	7°	10YR2/2	ABwC	27	-	6.5	8.4	19.33
PM39	<i>Abies-Pinus-Baccharis</i>	3,160	8.5°	10YR2/2	ABwC	44	1.0	5.2	7.3	7.56
PM40	<i>Abies-Pinus-Baccharis</i>	3,085	9.5°	10YR2/2	ABwC	30	0.9	5.6	11.3	17.26

\* valor de la temperatura media anual

\*\* valor de pH determinado en agua

Por su parte, de la zona húmeda a la seca, se observa una ligera disminución en el espesor del horizonte superficial y cambios en el color, el contenido de materia orgánica y el pH. El color va de negro a café muy oscuro y pardo oscuro amarillento en la porción seca; el contenido de materia orgánica varía de medio a alto<sup>2</sup>, pero es ligeramente bajo en el perfil ubicado en la porción menos húmeda (COF58), y muy alto en el de mayor humedad (COF46), mientras que la acidez es muy fuerte a ligera de sitios húmedos a más secos (Tabla 5).

Tabla 5 Características edáficas del horizonte superficial en un gradiente de humedad

Perfil	Uso del suelo	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación (mm)*	Color en húmedo	Morfología de los horizontes	Espesor (cm)	d. a. (Mgm <sup>-2</sup> )	pH** 1:2	m.o. (%)	CiCe (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )
COF46	<i>Abies</i>	3,300	1,050	2.5YR2.5	ABwC	30	0.7	5.2	17.2	2.90
PM39	<i>Abies-Pinus-Baccharis</i>	3,160	1,000	10YR2/2	ABwC	44	1.0	5.2	7.3	7.56
COF36	<i>Abies</i>	3,340	900	10YR2/2	ABwC	27	-	6.5	8.4	19.33
COF58	<i>Abies</i>	3,240	850	10YR3/4	ABwC	25	0.4	6.0	5.9	8.00

\* valor de la precipitación media anual

\*\* valor de pH determinado en agua

En el parque nacional Cofre de Perote la historia de transformaciones generadas a partir del uso indiscriminado del bosque y del suelo, muestra cambios en las posibilidades agroproductivas de este último y dan cuenta de perturbaciones en los ecosistemas naturales, cuyos efectos se manifiestan en el ciclo hidrológico regional y en el hábitat de las especies; traduciéndose en la pérdida de flora y fauna, patrimonio biológico.

Si bien la vegetación de la cuenca es conocida, no se dispone de un estudio detallado para la fauna. No obstante, se sabe que la fauna existente se encuentra diezmada debido a la pérdida drástica

<sup>2</sup> Según criterios de calificación propuestos por Etchevers *et al.* (1988) para los suelos volcánicos.



del hábitat y a la cacería ininterrumpida y descontrolada. Se reconoce la desaparición de especies de fauna como el venado y el gato montés. Los mamíferos como el coyote, zorrillo, oncilla, ardilla, conejo, y roedores como tuzas, ratas y ratones de campo, han sobrevivido al "stress" en que los mantienen los cazadores. Las especies migratorias y residentes de avifauna soportan condiciones similares frente a la pérdida de los bosques; quedan sólo algunas especies que se han adaptado a las perturbaciones como el pájaro carpintero, la calandria, la codorniz, la gallinilla, la primavera y el cardenal, entre otros. Todo ello es un reflejo del proceso de fragmentación que sufren los ecosistemas en la cuenca.

Las actividades humanas en el Cofre de Perote se han convertido en un factor determinante en la dinámica de los paisajes y han sido el agente de transformación y perturbación de los ecosistemas. Actualmente la cuenca tiene una superficie de 628.49 ha cubiertas de vegetación arbórea, de las cuales 328.48 ha presentan una clara fragmentación debida a la actividad agrícola o acciones derivadas de ésta. Se practica la agricultura de ladera, la ganadería de ovinos semiestabulada, la extracción forestal -la pérdida de cobertura arbórea sin manejo- y esporádicamente las actividades turísticas.

La agricultura que se desarrolla en la cuenca se basa en el cultivo de papa que es un cultivo de escarda y propicia la exposición permanente del suelo sin sustrato herbáceo. También se siembra avena forrajera, haba y cebada como cultivos de rotación. En las partes bajas se siembran pequeñas extensiones de maíz con muchos riesgos de siniestro por heladas.

No sólo los desmontes con fines agropecuarios, sino también la extracción clandestina de madera para uso doméstico -leña y madera para la construcción de casas-, los incendios, las plagas y la extracción de arbolitos en la época navideña, contribuyen al deterioro de los paisajes. En las parcelas abiertas al cultivo y bajo labranza continua -el caso de algunas parcelas en la zona seca-, es común observar procesos de erosión, principalmente durante las temporadas de lluvia y tolvaneras.

En la zona alta el manejo de la ganadería de ovinos bajo el sistema de libre pastoreo, impide la regeneración natural del bosque, propicia la erosión y la compactación del suelo, y fomenta las quemadas de zacatón para su rebrote, práctica que ha sido causa de innumerables incendios forestales. La ganadería es una actividad poco redituable, ya que el tipo de manejo confronta un relativo bajo costo de producción ante un crecimiento lento del animal y una baja calidad de la carne. Sin embargo, representa la única actividad generadora de ingresos para la subsistencia de los habitantes.

Por otro lado, existe una afluencia turística debida al potencial escénico de la montaña como alternativa de recreo, esparcimiento y educación ambiental, sólo que el parque nacional carece de un plan que oriente y ordene las actividades, de manera que se mantenga un equilibrio en la convivencia de los paseantes con los recursos naturales del parque. Los visitantes no encuentran los servicios ni la infraestructura que les ofrezca una estancia segura, y los bosques quedan a merced de las acciones destructivas de algunos visitantes.

#### 4.1.2 El medio socioeconómico

La cuenca que se analiza forma parte del parque nacional Cofre de Perote y por ello es propiedad de la nación. Sin embargo, dentro del área de estudio, a los 3,200 m.s.n.m. se encuentra el asentamiento poblacional del ejido El Conejo que tiene dentro de la cuenca 450 ha -el 60% aproximadamente de sus 768 ha de territorio ejidal-, el ejido Agua de los Pescados participa en la cuenca con una pequeña fracción aproximada de 75 ha y las 449.18 ha restantes son reconocidas como propiedad federal, aunque existe un acta que establece una Colonia Agrícola, Pecuaria y Forestal en esos terrenos del parque, una especie de concesión a particulares, aunque ésta no opera pues los colonos no trabajan ni protegen esas tierras.

El asentamiento humano de El Conejo se originó, como muchos en la montaña, de un grupo de trabajadores de la Hacienda de San José de los Molinos en 1924, contratados para explotar el bosque y abastecer de materia prima al aserradero que fue instalado en ese lugar. En 1932 se iniciaron los trámites de solicitud de tierras para constituir el ejido mismo que fue dotado en forma oficial en abril de 1934, beneficiando a 67 ejidatarios, y en 1936 se publicó la resolución presidencial. Ante este hecho, el aserradero se trasladó a la comunidad de Agua de los Pescados, ubicada a los 3,000 m.s.n.m., y los nuevos ejidatarios se dedicaron a la actividad ganadera y al cultivo de papa.

El primer presidente del comisariado ejidal de El Conejo Sr. León González, desconociendo la legislación sobre el uso del bosque, permitió que el derribo de árboles por los madereros<sup>3</sup> continuara, bajo una supuesta autorización del gobierno. Aunque, como se dijo antes, la comunidad ya no contaba con el aserradero y la ocupación de mano de obra se redujo. La creación del parque nacional en 1937 no cambió la vida de la comunidad<sup>4</sup>. Se fomentó el cultivo de papa en la medida en que se abrían "claros" en los bosques por parte de los taladores de los aserraderos. Todo ello ante el desconocimiento de los pobladores respecto de la reglamentación de los parques nacionales.

---

<sup>3</sup> Los señores Josafat Melgarejo y Manuel Morales fueron quizá los madereros más poderosos de la zona y más tarde el Sr. Morales oriundo del pueblo de Los Molinos, promovió la colonización ilegítima en los terrenos nacionales del Cofre de Perote. A él se debe la conformación de la Colonia Agrícola, Ganadera y Forestal "El Progreso", mediante la cual en 1963, la S.R.A. otorgó lotes de 25 y 50 ha. a 120 colonos abarcando hasta la cima de la montaña en su porción norte; algunos de estos colonos son ajenos a la región y no conocen la ubicación de sus propiedades.

<sup>4</sup> En 1937, el entonces presidente de la nación, Gral. Lázaro Cárdenas, decretó Parque Nacional a la montaña del Cofre de Perote a partir de la cota de los 3,000 m.s.n.m hasta la cima, abarcando una superficie total de 11,700 ha. En dicho decreto se consideran las cualidades de la montaña por su importancia hidrológica y climática que influye en las principales ciudades aledañas, entre las que se encuentra la capital del estado, además de la protección de la fauna silvestre y la potencialidad del turismo como fuente de recursos para los pueblos. Asimismo, en su artículo tercero el decreto estipula que "Los terrenos comprendidos dentro de los límites que fije el Departamento Forestal de Caza y Pesca... quedarán en posesión de sus dueños respectivos en tanto cumplan con los ordenamientos que sobre el particular dicte el servicio forestal en beneficio del parque nacional...". Hasta el momento del decreto, existían ya 6,435 ha. entregadas a los ejidatarios y como propiedad federal se mantenían las 5,265 ha. restantes. El Servicio Forestal asume la administración del parque, pero nunca se conoció algún ordenamiento o plan de manejo; en suma, la tala, la caza, el pastoreo, los incendios y la apertura de tierras a la agricultura no pudo controlarse. Por otro lado, el gobierno federal continuó realizando dotaciones agrarias afectando la superficie del parque, incluyendo la entrega de 1,570 ha. a la colonia El Progreso.

Hacia 1945, la actividad depredadora de los señores Manuel Morales y Josafat Melgarejo continuaba sin mayor objeción, ya que generaba fuentes de trabajo y propiciaba la apertura de tierras para la agricultura. Estos años fueron económicamente buenos, sobre todo para los taladores; los campesinos podían dedicarse al trabajo en los aserraderos, cultivar un poco de papa y/o mantener un hato de cabras en el monte. La Figura 6 muestra los niveles de presión en un grado del 0 al 6, ejercida sobre el bosque en función del tipo de actividad desarrollada.

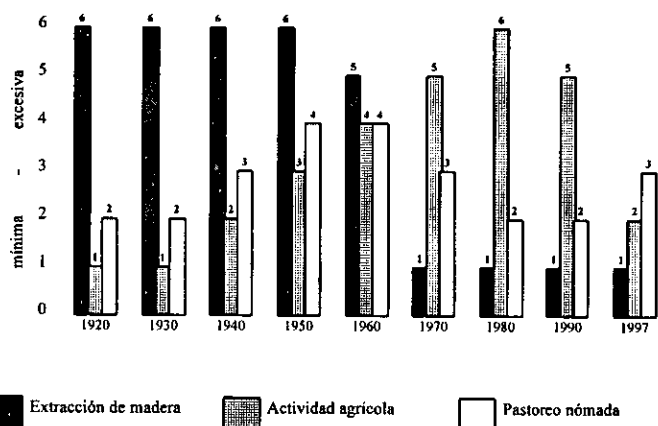


Figura 6 Tipo y grado de presión sobre el bosque en el Ejido El Conejo.

Al principio la actividad forestal dominó por cuanto a la superficie que comprendía como por la fuerza de trabajo ocupada, seguida por la presión del pastoreo y entre los años sesenta y noventa la agricultura cobró importancia.

La agricultura se inició como actividad complementaria y de huerto. En 1935, se tenía una superficie de 500 m<sup>2</sup> dedicada a producir papa. Con la fundación del ejido y el desplazamiento del aserradero a la comunidad de Agua

de Los Pescados, los trabajadores se dedicaron entonces a la elaboración de tejamanil y carbón vegetal, se incrementó la ganadería de ovinos y se iniciaron los "escombros" (derribo de árboles) para los barbechos del cultivo de papa.

La expansión del cultivo de la papa se favoreció con el desarrollo de las vías de comunicación y por la influencia de productores del altiplano -Puebla y Tlaxcala-. Para el año de 1938, la producción de papa empieza a incrementarse. Durante 1945, se presenta una intensa apertura de tierras para el cultivo y en 1965, se manifiestan procesos de empobrecimiento de suelo, fomentando así la apertura de nuevas tierras y las aplicaciones de fuertes cantidades de fertilizantes químicos, elevando los costos de producción, sin que por ello se afectaran los niveles de ganancia (CCPNCP-CID, 1991-1995; encuesta levantada para este trabajo, 1997).

El volumen o rendimiento de la cosecha era el único objetivo por el que se invertía todo para asegurar la producción y abastecer el mercado. Los campesinos miden el rendimiento por mata -planta- lo cual les permite estimar gastos y ganancias. En la Figura 7 se observa una comparación de los rendimientos promedio por planta de papa bajo dos distintos tratamientos y refleja los niveles de productividad del suelo con aplicaciones de abono orgánico, en los primeros ciclos de la actividad, en terrenos recién desforestados. Para los años cincuenta, las parcelas con 20 años de trabajo agrícola permanente manifestaron una drástica disminución en el rendimiento de papa. Hasta principios de los

sesenta no se usaba fertilizante químico para el cultivo (CCPNCP-CID, 1991-1995; encuesta levantada para este trabajo, 1997).

Aunque la veda forestal se decretó en 1952, en el ejido de El Conejo se instauró hasta 1955. El entonces presidente del comisariado ejidal suspendió la extracción de madera para abastecer a los aserraderos, argumentando una desigualdad en el reparto de beneficios generados. Esta medida se resintió en la falta de empleo, por lo que algunas familias comenzaron a dedicarse a la extracción y venta de leña, carbón vegetal y tejamanil, orientada al mercado de las ciudades más próximas, entre ellas

Xalapa. En un principio se utilizaron los enormes desperdicios de madera generados durante las anteriores extracciones, pero después la demanda obligó a derribar árboles para esos fines bonanza del cultivo de la papa en los años setenta y ochenta (1974-82) propició la apertura de nuevos terrenos agrícolas en detrimento de los bosques (Figura 8). En ese período mejoraron de forma considerable los precios de la papa en el mercado, las tierras recién abiertas al cultivo ofrecían altas posibilidades de obtener mayor producción en calidad y cantidad.

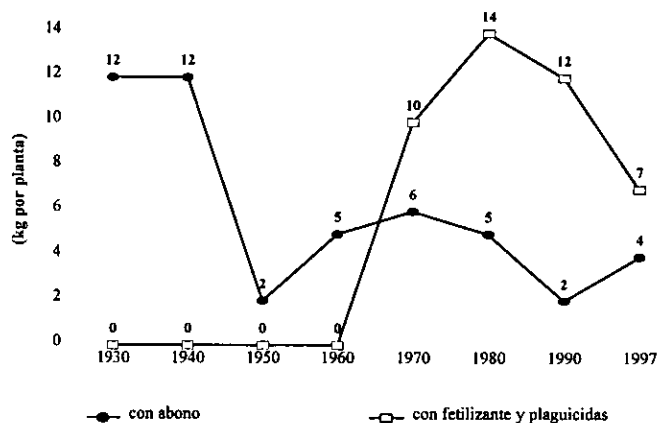


Figura 7 Evolución del rendimiento por planta de papa en situación de abono orgánico y de aplicación de fertilizantes y plaguicidas. En las primeras décadas no se aplicaban agroquímicos.

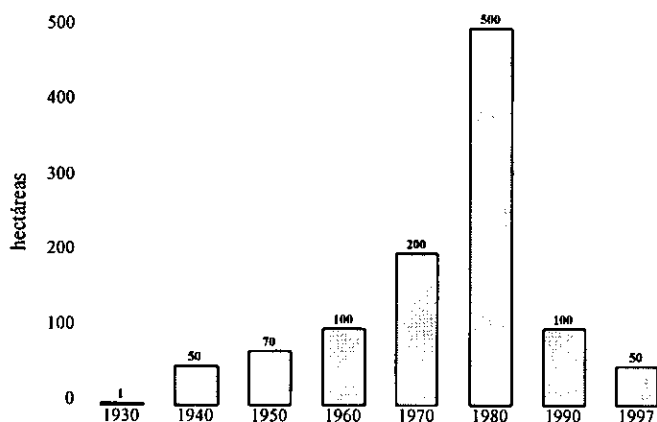


Figura 8 Proceso de incorporación de tierras al cultivo de papa. Para 1990 el ejido El Conejo había desforestado alrededor del 65% de su territorio, de lo cual sólo la quinta parte se encontraba en producción, 400 ha en descanso por falta de capital.

El ciclo 79-80 fue muy importante para la producción, se tenían tierras todavía muy fértiles, buena calidad del producto y buen precio. En consecuencia, durante 1982 se inicia el financiamiento bancario y pronto abarca toda la zona papera fomentando la intensificación del uso de fertilizantes químicos, plaguicidas y fungicidas.

En los primeros años se mejoró la calidad del producto y se incrementó el volumen de las cosechas. Se presenta por ese entonces, la inmigración de "medieros" -socios que aportan el capital y la proliferación de créditos a la producción de la solanácea, factores importantes para la expansión de la agricultura (CCPNCP- CID, 1991-1995; encuesta levantada para este trabajo, 1997).

Dicha actividad, sólo orientada a producir para el mercado con altos rendimientos, soslaya la potencialidad de los suelos y propicia la utilización de prácticas inadecuadas, por lo que los efectos no se hicieron esperar: suelos agotados, erosionados, abandonados y sustituidos por parcelas recién abiertas. Para el año 1983, las plagas como el chauixtle, la rizotonia y el nemátodo, entre otras, se convierten en un problema muy serio que se combate con altas inversiones de "venenos químicos". En 1985 ocurre la primera gran crisis del mercado de la papa y, en consecuencia, disminuye la capacidad de pago de los productores para con las instituciones bancarias.

En 1990 se declararon las carteras vencidas para los deudores de El Conejo, pues su monto superaba el millón de pesos actuales; ya para entonces tenían 500 ha abiertas al cultivo, de las cuales sólo 100 ha se encontraban cultivadas, la mayoría con altos niveles de erosión, presencia de cárcavas y afloramiento rocoso. Para 1992, la crisis del mercado, los altos costos de producción y el deterioro del suelo, sólo permitían la existencia de 50 ha en posibilidad de ser cultivadas. Se observa una superficie considerable de tierras de cultivo en descanso, algunas parcelas tienen entre tres y cinco años sin producir, debido a la crisis en que se encuentran los productores y a la falta de apoyos para esta actividad en la zona. En 1992 los precios en el mercado eran de siete u ocho pesos por caja de papa; en 1997, de 10 y 12 pesos por caja, que no recupera ni los costos de producción y cosecha. Atrás se quedaron los ciclos en que el precio de venta por lo menos, triplicaba al de producción.

El programa gubernamental que se implementó en 1989 tenía entre sus objetivos apoyar a los campesinos productores de papa que se encontraban en crisis. Se les otorgaron facilidades para la comercialización del producto, se ofrecieron alternativas productivas como la ganadería estabulada, la producción de veza de invierno, el cardado de lana, entre otros, pero básicamente se les ofreció trabajo como jornaleros en la producción de planta, reforestación y construcción de tinajas ciegas y presas filtrantes como técnicas de protección para el suelo y mejoramiento en la capacidad retenedora de agua. Con la suspensión de este programa, en 1992, las acciones y proyectos perdieron su continuidad y más aún, se abandonaron, incrementando así la desconfianza e incertidumbre entre los campesinos con respecto de las instancias gubernamentales.

Actualmente, la comunidad tiene un poco más de 500 habitantes, resultado de un proceso de emigración que le llevó a disminuir en un 50% respecto a los más de 1,000 habitantes que tenía en la década de los ochenta. Este proceso se debe a la aguda crisis agrícola que experimenta la zona, tanto por la descapitalización, producto de los bajos precios en el mercado de la papa, como por la sobreexplotación de la tierra y sus consecuencias en la calidad del producto y en el deterioro del suelo. La fuerza de trabajo que emigró agrupa a los jefes de familia sin tierra, que ya no encuentran un trabajo de jornaleros en el ejido; los descapitalizados que tienen poca tierra y carecen de capital de trabajo

para hacerla producir, y los jóvenes o familias completas que cambian su vida rural por condiciones suburbanas.

El Conejo es una comunidad campesina conformada por 150 familias y sólo 84 campesinos son ejidatarios con tierra, los demás son hijos de ejidatario o avecindados. La máxima autoridad, a pesar del Art. 27 Constitucional, es la asamblea general, integrada por los ejidatarios y representada por el comisariado ejidal, el consejo de vigilancia y la agencia municipal, quienes se dedican a establecer el orden y el cumplimiento de los reglamentos. Los hijos de ejidatarios y avecindados, jornaleros sin tierra, no tienen voto en los asuntos del ejido, aunque sí en los de la comunidad.

Los pobladores mantienen vínculos con algunas instituciones en la medida en que reciben apoyos y/o asesoría; tal es el caso del DIF y la SSA, que les han equipado con un centro de salud en donde se les atiende y se les proporcionan medicamentos y leche en polvo. Se cuenta con escuelas de nivel jardín de niños, primaria y, recientemente, telesecundaria, que por supuesto también han tenido sus altibajos en población de alumnos<sup>5</sup>, acorde con los momentos de crisis económico-sociales de la comunidad. En tales situaciones, los niños y niñas tienen que dedicarse a labores domésticas y agropecuarias cuando los padres se encuentran lejos o, en el peor de los casos, los más jovencitos tienen que irse de la comunidad a trabajar con sus padres. Los campesinos han recibido algunos cursos de capacitación en áreas de la ganadería de ovicaprinos, atención veterinaria, curtido de pieles, cardado de lana, elaboración de subproductos, cultivo de forrajes y germinados, hortalizas, costura y enfermería, elaboración de láminas de fibrocemento, entre otros, pero la falta de recursos financieros les ha impedido concretar proyectos para poner en práctica su aprendizaje.

Asimismo, los problemas más graves de alimentación y salud responden a los momentos de inestabilidad económica de la comunidad. Muchos de los padecimientos que tienen relación con las condiciones geográficas en que se encuentra el poblado, en período de crisis, se transforman en motivos de muerte, ya que encuentran organismos indefensos que además no pueden acceder a las atenciones médicas necesarias. Más del 70% de los habitantes registra niveles altos de desnutrición.

En 1998, la situación económica del mercado sigue igual, los campesinos de El Conejo continúan sin poder salvar la crisis, reflejo de la situación regional. Empero en el campo las cosas han cambiado, los campesinos salieron del pueblo para ser jornaleros, subempleados urbanos u obreros,

---

<sup>5</sup> Esta crisis en la educación se acentúa por la incompatibilidad de los calendarios escolares con los agrícolas, los planes de estudio que no incorporan la condición rural y campesina de los educandos pero, esencialmente, por la ineficiencia de los maestros atribuible a múltiples causas. Entre estas se encuentran:

a) La concepción que se tiene respecto de las plazas docentes en el campo. Para la mayoría de los maestros la ubicación en una escuela rural es vista como un castigo y su objetivo es "acercarse a una escuela urbana" porque tendrán muchas ventajas: acceso a cursos de actualización, a bibliotecas, a un mejor sueldo, a una "doble plaza", menores gastos de transportación y de estancia, mejores condiciones de vida (en el caso de los cada vez menos profesores que viven en la comunidad), etc...

b) La incorrecta planeación de la instrucción rural por parte del sector educativo. En el caso de la comunidad de El Conejo, un maestro atiende a tres grupos de distinto nivel; las clases se reducen a 2 ó 3 horas al día porque la llegada de los maestros es a las 10:00 A.M. hora en que llega el único autobús del día y se terminan las clases a las 12:30 o 13:00 porque los maestros tienen que bajar al poblado más cercano para abordar un autobús que los lleva a la Cd. de Perote, de donde saldrán a otro trabajo o a sus lugares de origen; en ocasiones la llegada a su casa es a las 4:00 o 5:00 P.M.

c) La falta de apoyos técnicos y didáctico que favorezcan la enseñanza rural acorde con su medio.

de manera que las tierras que han dejado de ser agrícolas tuvieron distintos fines: algunas se utilizaron para el pastoreo pues es la actividad que les permite subsistir, otras que por haber estado en descanso varios años tiene posibilidades de producir sin recurrir a mucha inversión en fertilizantes y cuyos dueños envían dinero, se incorporan a la producción de papa o experimentan con otros cultivos; y las más, que continúan en descanso experimentando un lento proceso de recuperación edáfica y forestal.

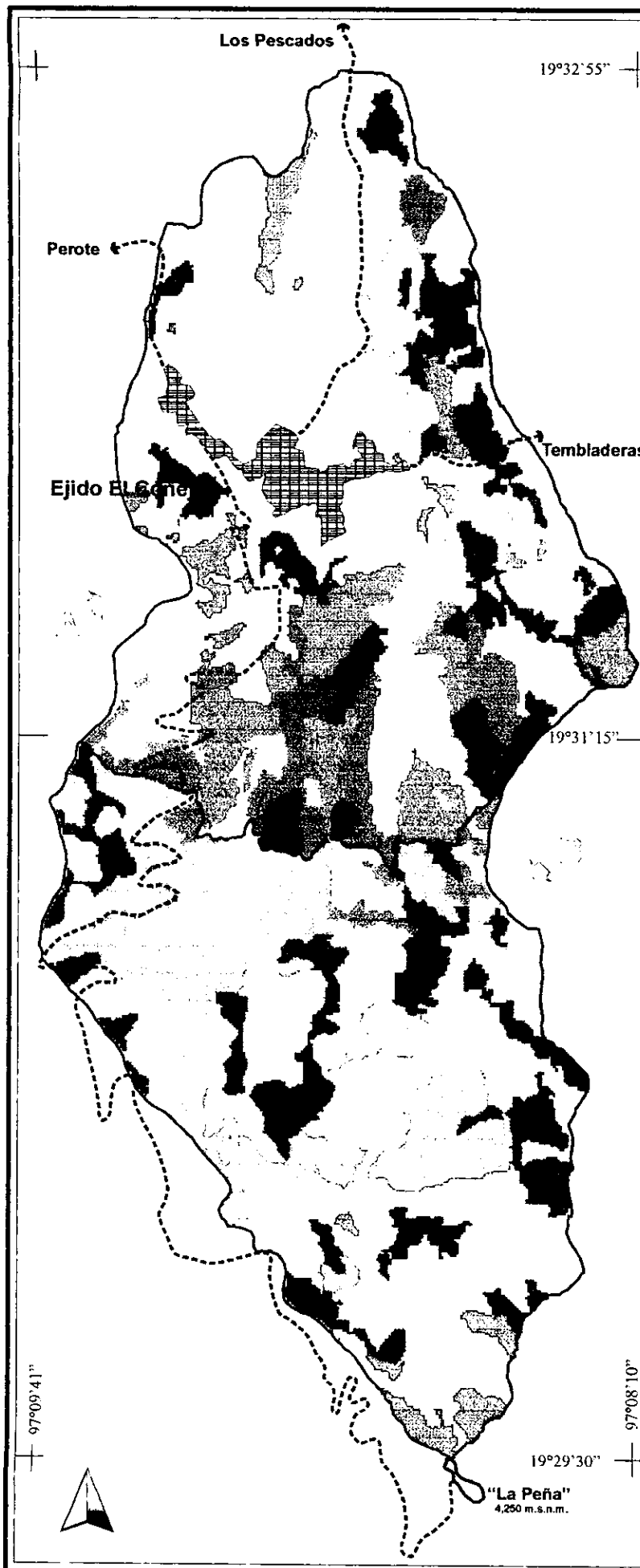
Existe un potencial silvícola y ecoturístico todavía no explorado con amplias expectativas en beneficio de la comunidad, del parque nacional, de los pobladores de las ciudades aledañas y del propio estado. Todavía ahora, los pobladores del parque y de El Conejo en particular, no se han podido incorporar a un proceso de manejo silvícola, y nadie lo ha propiciado, puesto que "en las áreas protegidas está prohibida la actividad forestal" (distinto de la silvicultura) a pesar de ser habitantes de una zona boscosa. No obstante, en la comunidad se han desarrollado algunas experiencias individuales con éxito en relación al cultivo de árboles de navidad, de flores, ajos y en la piscicultura, manejando recursos propios y sin apoyo técnico, con el único afán de encontrar alternativas a nivel familiar, de diversificación de sus actividades y subsistencia.

#### 4.1.3 Paisajes geoecológicos

Con la interpretación de las fotografías aéreas de la zona se elaboraron dos mapas, uno de asociaciones vegetales y su grado de cobertura (Figura 9) y otro de geoformas (Figura 10). El análisis de los componentes geográficos y ecológicos de la cuenca permitieron diferenciar dos paisajes en donde las características de los materiales, relieve, clima, suelo, vegetación y formas de manejo a los que han estado sometidos, reflejan una clara división del espacio en la cuenca. Consecuentemente, se les asignó el nombre de paisajes geoecológicos: de **alta montaña** y de **laderas onduladas con abetos**, por conjugar atributos y dinámicas distintas.

El **paisaje de alta montaña** corresponde a la porción más elevada de la cuenca. Ocupa el piso altitudinal de los 3,500 m.s.n.m. y hasta la cima a los 4,250 m.s.n.m., abarcando 435.36 ha. Predominan las unidades de laderas cóncavo-cóncavas, recto-cóncavas y recto-rectas de pendientes fuertes. La presencia de una superficie considerable de cimas constata la existencia de filos y cornisas rocosas (Tabla 6).

**Fig. 9 Mapa de paisajes geocológicos y asociaciones vegetales**



**SIMBOLOGÍA**

**Paisaje de laderas onduladas con abetos**

- A1 : *Abies religiosa*, >90%
- ▨ A2 : *Abies religiosa*, 70 a 90%
- A3 : *Abies religiosa*, 50 a 70%
- AP1 : *Abies* y pino, >90%
- AP2 : *Abies* y pino, 70 a 90%
- AP3 : *Abies* y pino, 50 a 70%
- CAP1 : Cultivo, *Abies* y pino, 25 a 50%
- ▨ CAP2 : Cultivo, *Abies* y pino, 5 a 25%
- CAP3 : Cultivo, *Abies* y pino, <5%
- B1 : *Baccharis*, 25 a 50%
- B2 : *Baccharis*, 5 a 25%
- ▨ B3 : *Baccharis*, <5%
- P2 : Pastizal, 5 a 25%
- G1 : Veg. de corredor, 25 a 50%
- G2 : Veg. de corredor, 5 a 25%
- G3 : Veg. de corredor, <5%
- C : Cultivo

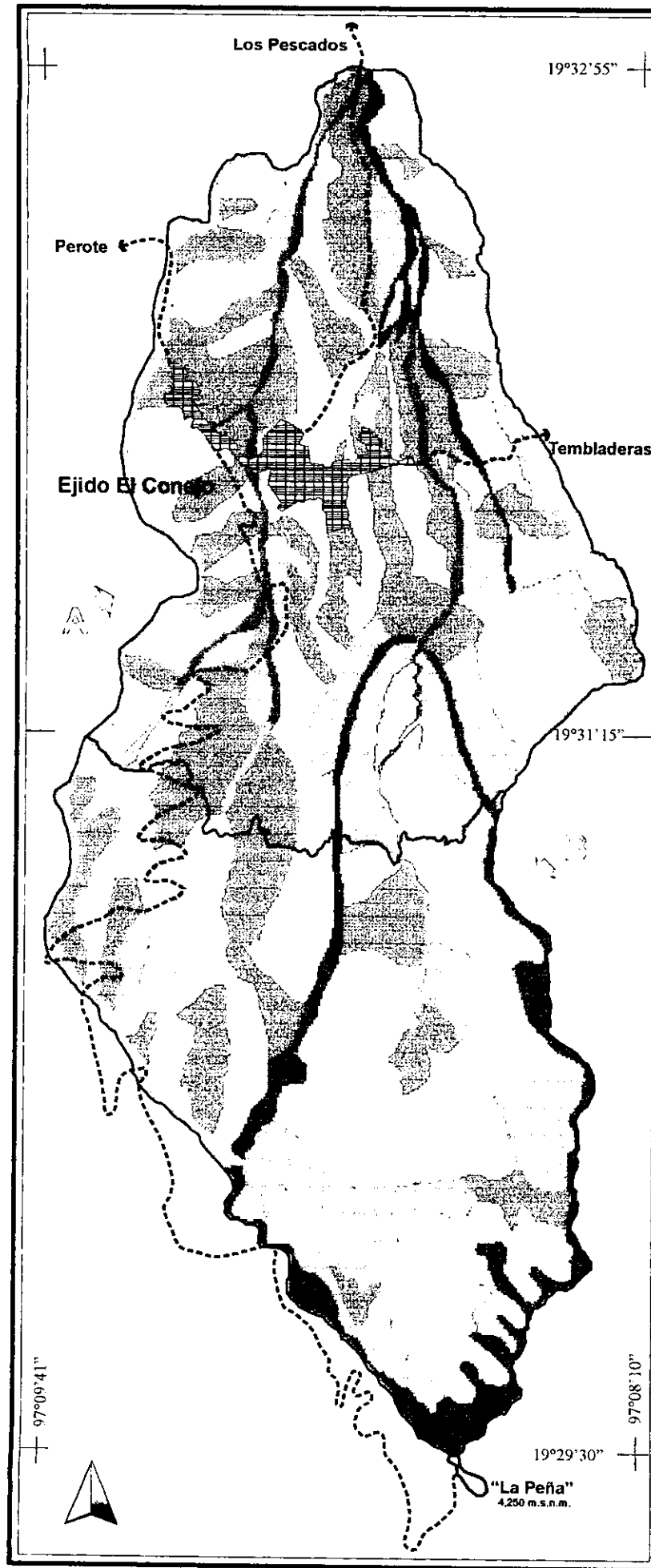
**Paisaje de alta montaña**

- Z1 : Zacatón, 25 a 50%
- ▨ Z2 : Zacatón, 5 a 25%
- Z3 : Zacatón, <5%
- ZH1 : Zacatón y *P. hartwegii*, 25 a 50%
- ZH2 : Zacatón y *P. hartwegii*, 5 a 25%
- ZH3 : Zacatón y *P. hartwegii*, <5%
- H2 : *P. hartwegii*, 70 a 90%
- H3 : *P. hartwegii*, 50 a 70%
- HA1 : *P. hartwegii* y *Abies*, >90%
- ▨ HA2 : *P. hartwegii* y *Abies*, 70 a 90%
- ▨ HA3 : *P. hartwegii* y *Abies*, 50 a 70%

Escala 1:27,000





















**Fig. 10 Mapa de geoformas**

**SIMBOLOGÍA**




**Cima**

-  Aplanada angosta
-  Aplanada amplia
-  Aguda tendida
-  Aguda en pico
-  Domo


**Ladera**


-  Recto convexa
-  Recto cóncava
-  Recto recta
-  Cóncavo convexa
-  Cóncavo cóncava
-  Cóncavo recta
-  Convexo convexa
-  Convexo cóncava
-  Convexo recta


**Cañada**

-  Cauce cóncavo amplio
-  Cauce con fondo agudo
-  Cauce con fondo plano

**Planicie**

-  Planicie

 Paisaje de laderas onduladas con abetos

 Paisaje de alta montaña

Escala 1:27,000



Tabla 6 Superficie ocupada por tipo de geoforma

CLAVE	TIPO DE GEOFORMA	SUPERFICIE (ha)		
		Paisaje de alta montaña	Paisaje de laderas onduladas con abetos	Cuenca completa
<b>Cima</b>				
AN1	Aplanada angosta	26.09	19.15	45.24
AN2	Aplanada amplia	0.01	9.96	9.97
AG1	Aguda tendida	25.98	-	25.98
AG2	Aguda en pico	4.66	-	4.66
D	Domo	-	6.59	6.59
<b>Ladera</b>				
RCx	Recto-convexa	31.59	90.33	121.92
RCv	Recto-cóncava	67.74	76.79	144.53
RR	Recto-recta	60.23	72.53	132.76
CvCx	Cóncavo-convexa	25.90	11.56	37.46
CvCv	Cóncavo-cóncava	99.89	61.13	161.02
CvR	Cóncavo-recta	5.36	34.84	40.20
CxCx	Convexo-convexa	45.31	85.71	131.02
CxCv	Convexo-cóncava	16.86	11.03	27.89
CxR	Convexo-recta	24.17	17.66	41.83
<b>Cañada</b>				
J	Cauce cóncavo amplio	1.57	3.95	5.52
M	Cauce con fondo agudo	-	16.66	16.66
V	Cauce con fondo plano	-	11.36	11.36
<b>Planicie</b>				
P	Planicie	-	9.57	9.57

Por su cobertura identificamos dos tipos de vegetación: pastizal de alta montaña (zacatonal) y bosque de *Pinus hartwegii*, incluyendo sus ecotonos, lo mismo se observa entre *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* que ocupa un nivel altitudinal inferior. El pastizal de alta montaña, también llamado pastizal alpino o páramo de altura, se ubica en la parte más elevada y se compone de 49 especies herbáceas entre las que se cuentan *Calamagrostis tolucensis*, *Festuca tolucensis*, *Trisetum spicatum*, *Arenaria bryoides*, *Draba nivicola*, *Draba jorullensis*, *Cirsium nivale*, *Gnaphalium lavaendulum*, *Oxilobus arbutifolius*, *Erysimum aff. macradenium* y *Castilleja tolucensis*; además, se encuentran elementos arbustivos de apariencia rastrera como *Juniperus monticola* y *Berberis schiedeana*. Sobre las rocas se forman extensas colonias de musgos destacando los géneros *Grimmia*, *Tortula*, *Leptodontium*, *Morinia* y *Pholia* (Narave, 1985).

A los 4,000 m.s.n.m. aparece el bosque de *Pinus hartwegii*, una de las especies arbóreas de mayor resistencia a las bajas temperaturas y a suelos poco desarrollados. Es un bosque poco denso, sometido a intensas extracciones de madera y actividad de pastoreo nómada hace 30 o 35 años, por

fortuna cada vez menor. En la actualidad, este bosque presenta una apariencia de regeneración natural, entre 1990 y 1996 se han realizado también reforestaciones y prácticas de conservación de suelo y agua que contribuyen con esta regeneración. El paisaje se ve dominado por pinos de 3 a 4 m de altura y de 10 o 12 años de edad, con presencia de algunos árboles adultos reminiscentes, asociados a un estrato herbáceo integrado por especies como: *Stipa ichu*, *Trisetum spicatum*, *Calamagrostis tolucensis*, *Muhlenbergia macroura*, *Lupinus montanus*, *Ottoa oenantoides* y *Lewisia megarhiza*. Los pinos experimentan un crecimiento lento provocado por las condiciones climáticas prevalecientes a esa altitud (Narave, 1985).

La comunidad vegetal que ocupa mayor superficie dentro de este paisaje es la asociación de zacatón de alta montaña y *Pinus hartwegii* con un porcentaje de cobertura arbórea entre 25% y 50%, seguido por el bosque de *P. hartwegii* con 70% a 90% de cubierta arbórea (Tabla 7).

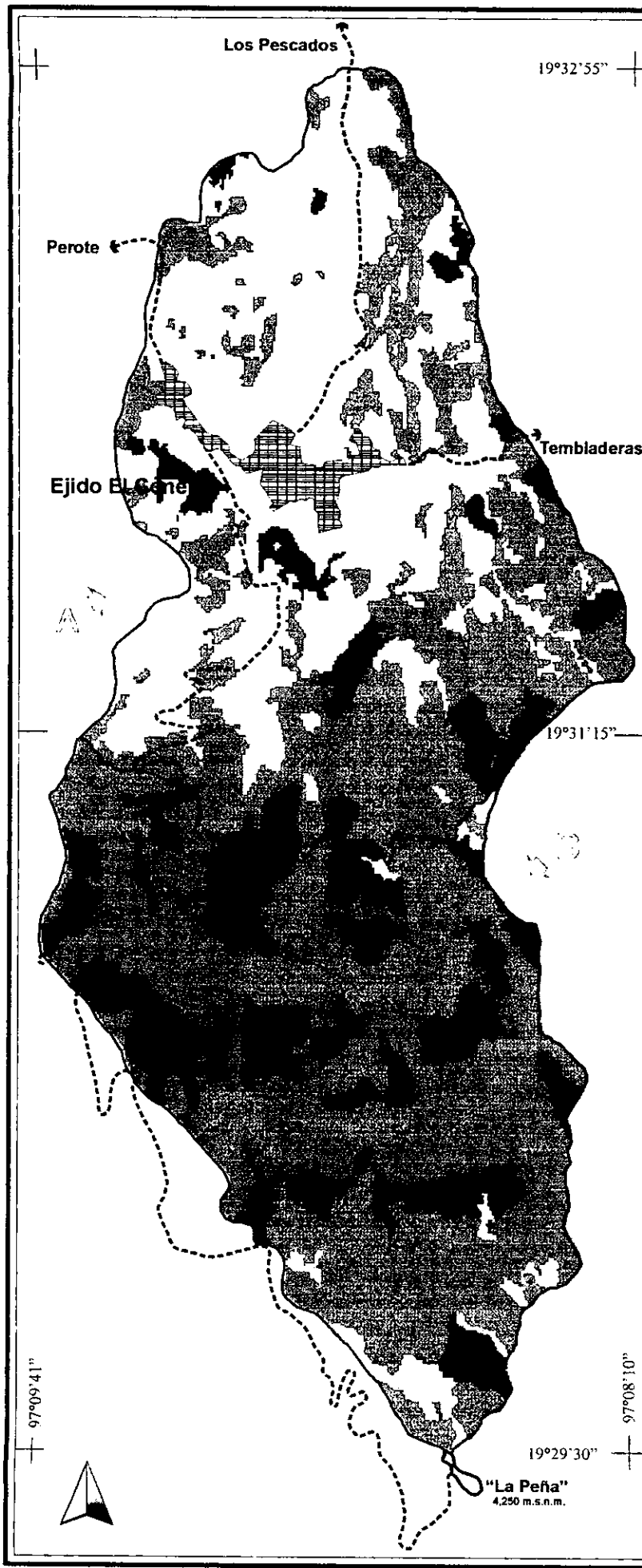
Tabla 7 Superficie ocupada por tipo de vegetación en el paisaje de alta montaña

CLAVE	TIPO DE VEGETACIÓN	COBERTURA (%)	SUPERFICIE (ha)
Z1	Zacatón de alta montaña	25-50*	9.93
Z2	Zacatón de alta montaña	5-25*	11.39
Z3	Zacatón de alta montaña	<5*	13.44
ZH1	Zacatón de alta montaña asociado con <i>P. hartwegii</i>	25-50	106.25
ZH2	Zacatón de alta montaña asociado con <i>P. hartwegii</i>	5-25	60.65
ZH3	Zacatón de alta montaña asociado con <i>P. hartwegii</i>	<5	18.65
H1	<i>Pinus hartwegii</i>	>90	0
H2	<i>Pinus hartwegii</i>	70-90	100.63
H3	<i>Pinus hartwegii</i>	50-70	75.49
HA1	<i>Pinus hartwegii</i> asociado con <i>Abies religiosa</i>	>90	9.53
HA2	<i>Pinus hartwegii</i> asociado con <i>Abies religiosa</i>	70-90	8.02
HA3	<i>Pinus hartwegii</i> asociado con <i>Abies religiosa</i>	50-70	21.38








\* En el caso del zacatón la cobertura se refiere a la presencia de arbustos.

Si consideramos que el bosque comprende todos los tipos de vegetación excepto el zacatón (Z1, Z2 y Z3) entonces, el 92% (400.60 ha) de la superficie de este paisaje estuvo cubierto por bosque. Sin embargo, a la fecha, aproximadamente la mitad (215.05 ha) mantiene una cobertura mayor al 50% de arbolado. El grado de deforestación que presentan estos bosques permiten visualizar el deterioro de las especies debido a que existen individuos del estrato arbóreo con malformaciones y en la peor de las situaciones, bosques gravemente destruidos. Con estos criterios se estableció una escala de niveles de modificación a través de la percepción cualitativa de la cobertura arbórea, sobre las fotografías aéreas, y se elaboró un mapa de niveles de modificación (Figura 11), en el cual se definen cinco niveles: ligero, con 125.71 ha; parcial con 169.30 ha; moderado con 126.91 ha y fuerte con 13.44

**Fig. 11 Mapa de niveles de modificación**



**SIMBOLOGÍA**

-  Ligeramente
-  Parcialmente
-  Moderado
-  Fuerte
-  Muy Fuerte
  
-  Paisaje de laderas onduladas con abetos
-  Paisaje de alta montaña

Escala 1:27,000



ha (Tabla 8). Las causas de dichas modificaciones han sido en orden de incidencia: las actividades de extracción de madera, los incendios forestales y el pastoreo nómada, procesos que fueron intensos en el pasado, y ahora, menores, clandestino y constantes.

Tabla 8 Niveles de modificación de los paisajes en la cuenca

NIVELES DE MODIFICACIÓN	UNIDAD DE TIPO Y COBERTURA VEGETAL	SUPERFICIE (ha)		
		Paisaje de alta montaña	Paisaje de laderas onduladas con abetos	Cuenca completa
LIGERO	Z1, ZH1, HA1, A1, AP1	125.71	43.74	169.45
PARCIAL	ZH2, H2, HA2, A2, AP2, CAP1	169.30	95.70	265.00
MODERADO	Z2, ZH3, H3, HA3, P2, A3, AP3, G1, CAP2, B1	126.91	102.79	229.70
FUERTE	Z3, CAP3, G2, B2,	13.44	75.92	89.36
MUY FUERTE	B3, G3, C, U	0	220.67	220.67

NOTA: niveles de transformación perturbación y modificación son utilizados como sinónimos

Los esfuerzos por repoblar artificialmente de árboles las zonas deterioradas se enfrenta a múltiples carencias y/o adversidades, entre otras las atribuibles al tipo de material vegetal que se utiliza, factor importante en el éxito de los programas de reforestación, ya que se tienen experiencias de plantaciones con especies no adaptadas a las condiciones microclimáticas. La mejor respuesta se ha observado en la protección de áreas de reforestación natural, pues se tienen evidencias de que en sitios no pastoreados ni cultivados, el porcentaje de germinación es muy alto. No obstante, en laderas convexas de interfluvios amplios, el repoblamiento natural ha sido muy difícil debido al grado de compactación en que se encuentra el suelo y a la exposición de esos sitios al viento, a la radiación solar directa y a las bajas temperaturas. En consecuencia, la reforestación artificial y/o la prosperidad de algún intento, es poco probable. En otros lugares con ambientes microclimáticos más benignos, laderas cóncavas y recto-cóncavas, se incrementan las posibilidades de germinación de las semillas procedentes de parches de bosques aledaños o de alguno de los escasos árboles viejos y/o mal conformados que se salvaron del derribo.

El paisaje de laderas onduladas con abetos corresponde a la porción media y baja de la cuenca, y se extiende desde los 3,600 m.s.n.m. hacia los 3,060 m.s.n.m., abarcando 521.61 ha. Dominan las laderas rectas en plano y perfiles convexas, cóncavos y rectos; también se presentan con abundancia las combinaciones convexas en plano y perfil, y cóncavas respectivamente (Tabla 6, pág. 63). Este paisaje representa el límite de la frontera agrícola en la montaña y por lo mismo manifiesta un proceso de fragmentación más severo, provocado de forma primordial por la actividad agrícola. Los bosques permanecieron en corredores y pequeños parches en las zonas pedregosas.

Los bosques de *Abies religiosa* (abeto u oyamel) cubren el piso altitudinal de los 2,900 hasta los 3,600 m.s.n.m., es la especie dominante y se encuentra formando bosques "puros" y asociaciones en sus bordes superior con los *P. hartwegii* e inferior con *P. teocote*, *P. montezumae* y *P. ayacahuite*, de acuerdo a las características de humedad de la ladera. Los factores primordiales que permiten el establecimiento del oyamel son la altitud y el relieve, en consecuencia el clima y el suelo. Requiere un clima templado con temperatura media anual de 12°C a 18°C, precipitaciones mayores a 1,000 mm anuales, menos de cuatro meses de sequía al año y ocurrencia de nevadas y temperaturas bajo cero.

Estos bosques de oyamel también fueron desforestados, pero a diferencia del *P. hartwegii*, poseen una capacidad de regeneración mayor debido a las condiciones climáticas y de relieve, que les permitieron recuperarse de aquella histórica explotación; empero, después fueron sustituidos por cultivos de papa. Los bosques de oyamel-pino en los niveles inferiores corrieron la misma suerte, con la ventaja para los pinos de poder coexistir relativamente con los cultivos, ya que su dosel alto y de menor cobertura forma un campo de influencia microclimática de menor impacto sobre las matas de papa.

Las condiciones geográficas y edáficas de esta zona favorecen el cultivo de papa, avena y haba, por lo que los bosques de propiedad ejidal en este paisaje se restringen a las barrancas, convexidades pedregosas, laderas abruptas y elevadas; mientras que en los del parque nacional se realizan actividades de extracción de madera, leña, hongos, entre otros productos forestales, además de pastoreo nómada. Actualmente, este proceso de fragmentación muestra un paisaje modificado de forma drástica, ya que sólo se cuenta con un 37% (193.13 ha) de la superficie total del paisaje con una cobertura arbolada mayor de 50% y el 63% (328.48 ha) contiene menos de 50% (Tabla 9).

Las dimensiones del proceso de fragmentación en este paisaje quedan de manifiesto con el análisis del ejido El Conejo, que ocupa la mayor superficie y es la población con mayor influencia en el paisaje. En 1936, este ejido recibió 600 ha cubiertas con bosque, primordialmente oyamel; desde 1992 y hasta la fecha -período que coincide con la crisis en el precio de la papa-, se han mantenido 200 ha con bosque (26% del total del territorio ejidal), ubicadas en laderas convexas y pedregosas con pendientes fuertes, cuya incorporación a la agricultura es desde luego difícil. Asimismo, la población de la comunidad consume 200 cargas de leña a la semana, lo que supone una demanda de 14 m<sup>3</sup>r (metro cúbico rollo) anuales. A esto debemos sumar la extracción clandestina de arbolitos de hasta 2 m y puntas de árboles adultos, no sólo de oyamel sino también de todas las demás especies de pinos, que durante la época navideña se realiza en la zona y que constituye un problema para la regeneración y daños a las especies productoras de semillas.

Los sistemas agroproductivos en la cuenca propician fuertes perturbaciones en las comunidades vegetales tanto por los derribos como por la fragmentación que manifiestan, los disturbios que experimentan favorecen el establecimiento de vegetación secundaria como *Alnus jorullensis* (aile o ilite), *Baccharis conferta* (escobo), *Arbutus xalapensis* (madroño), *Salix cana* (sauce) y *Senecio* (jarilla) entre otros. En porciones de laderas convexas expuestas a fuertes vientos, los pinos se encuentran más dispersos, son de menor tamaño y poseen una conformación irregular (malformados).

Mientras que en las laderas cóncavas, protegidas del viento y bajo condiciones de temperatura y humedad más estables, se desarrollan árboles más altos y mejor conformados, de copas más extendidas y de forma piramidal.

Tabla 9 Superficie ocupada por tipo de vegetación en el paisaje de laderas onduladas con abetos

CLAVE	TIPO DE VEGETACIÓN	COBERTURA (%)	SUPERFICIE (ha)
<b>Áreas predominantemente forestales</b>			
A1	<i>Abies religiosa</i>	>90	34.53
A2	<i>Abies religiosa</i>	70-90	47.60
A3	<i>Abies religiosa</i>	50-70	32.75
AP1	<i>Abies religiosa</i> asociado con <i>Pinus spp.</i>	>90	9.21
AP2	<i>Abies religiosa</i> asociado con <i>Pinus spp.</i>	70-90	40.07
AP3	<i>Abies religiosa</i> asociado con <i>Pinus spp.</i>	50-70	28.97
<b>Áreas perturbadas por la actividad agrícola</b>			
CAP1	Cultivo asociado con <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus spp.</i>	25-50	8.03
CAP2	Cultivo asociado con <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus spp.</i>	5-25	4.84
CAP3	Cultivo asociado con <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus spp.</i>	<5	36.14
<b>Áreas abandonadas o en descanso agrícola</b>			
B1	<i>Baccharis</i> y estrato herbáceo con algunos <i>Abies</i> y/o <i>Pinus</i>	25-50	11.50
B2	<i>Baccharis</i> y estrato herbáceo con algunos <i>Abies</i> y/o <i>Pinus</i>	5-25	24.00
B3	<i>Baccharis</i> y estrato herbáceo con algunos <i>Abies</i> y/o <i>Pinus</i>	<5	26.77
P1	Pastos de zonas planas sujetas a heladas con algunos <i>Abies</i> y/o <i>Pinus</i>	25-50	0
P2	Pastos de zonas planas sujetas a heladas con algunos <i>Abies</i> y/o <i>Pinus</i>	5-25	7.29
P3	Pastos de zonas planas sujetas a heladas con algunos <i>Abies</i> y/o <i>Pinus</i>	<5	0
G1	Vegetación arbórea o arbustiva en corredores*	25-50	17.44
G2	Vegetación arbórea o arbustiva en corredores*	5-25	15.78
G3	Vegetación arbórea o arbustiva en corredores*	<5	1.96
<b>Áreas completamente desforestadas</b>			
C	Cultivos	0	174.73

\* Presencia de algunos *Abies*, *Pinus*, *Alnus*, *Baccharis*, etc. dispuestos a lo largo de barrancas.

Los niveles de fragmentación en este paisaje permiten definir una superficie de 43.74 ha con modificación ligera de su cubierta vegetal; 95.70 ha en nivel parcial; 102.79 ha, moderado; 75.92 ha, fuerte y una extensión de 220.67 ha muy fuertemente perturbada. Este último nivel corresponde al 42.3% del paisaje e incluye el uso urbano (fundo legal del Ejido El Conejo) de 17.21 ha (Tabla 8, pág. 66 y Figura 11, pág. 65). El factor de perturbación es la agricultura y el proceso de incorporación de tierras a la agricultura comienza con la selección de sitio y su desforestación paulatina -este proceso responde al carácter clandestino tanto de la apertura de tierras como del derribo de árboles en el parque nacional. El cultivo de papa (cultivo de escarda) ha reducido los bosques de oyamel y pino.

Los campesinos tienen una clasificación de la tierra sustentada en las cualidades físicas y productivas, para lo cual toman en cuenta el color (negra o amarilla), la pedregosidad (pedregosa o limpia), la inclinación (plana o inclinada), la humedad (húmeda o seca) y la temperatura (fría o tibia), y esto rige sus ciclos agrícolas. Desde la creación del parque nacional, el derribo de árboles está restringido, por ello las parcelas abiertas clandestinamente, en el primer ciclo de siembra tenían una cobertura arbórea hasta del 50%, misma que disminuiría con cada ciclo posterior y que evitará la influencia de humedad debida a la presencia de árboles y su efecto ante la niebla, perjudicial para el cultivo de papa, por lo que la desforestación de las parcelas se procura total. En la época de mayores rendimientos, la ilegalidad y la corrupción ante la apertura de tierras a la agricultura imperó en toda la región. Por eso al inicio de la crisis del mercado, las parcelas con pocos ciclos de cultivo, más lejanas y costos de producción ahora elevados, fueron las primeras en quedar abandonadas, y son lo que se observa con coberturas de 90%, 70%, 50% y 25%.

La información obtenida respecto a la historia y la forma de manejo de las tierras en los sitios de muestreo (Anexo No. 2), permite conocer este paisaje. Se cultivan las variedades "San José" (papa de color rojo), "Yemma" (papa de color amarillo y redonda), "Marciana o López" (papa grande y de color rojo) y ocasionalmente en zonas menos húmedas se utiliza "Alpha" (de color amarilla, grande y alargada), pues su cultivo requiere mayor inversión de productos químicos, por ello sólo se establece en sitios con condiciones topográficas y microclimáticas que aseguren bajo riesgo para el cultivo. Los ciclos de cultivo varían en función de la "tibieza" de la tierra: en sitios más secos (porción occidental del paisaje) la siembra se hace en abril y se cosecha en septiembre o antes, mientras que en sitios de mayor humedad, las mismas variedades deben sembrarse en marzo para cosecharse a fines de septiembre.

El rendimiento de papa está supeditado a las aplicaciones de agroquímicos, ya que el cultivo orgánico ofrece todavía pocos niveles de rendimiento o inclusive altos índices de siniestro. Normalmente la aplicación de agroquímicos se realiza durante la siembra, se utilizan fertilizantes cuyos elementos principales son el nitrógeno, fósforo y potasio, en dosis: 18-46-0, triple 17, 6-10-10. También se continua con el uso de abono de ganado (de borrego). Después del primer "aporque"; es decir, deshierbe y limpieza de la mata, se efectúa una fumigación foliar para favorecer el desarrollo del follaje y evitar la incidencia de plagas como rosquilla, mosquito y nemátodo, en este proceso se utilizan: temik-15, furadán-5, counter-5 y mocap-10, entre cuyas fórmulas destaca el contenido de fósforo y, se aplican en una dosis de siete kilogramos por hectárea de cada producto que se decida utilizar. Además se emplean fertilizantes foliares para ayudar al crecimiento del follaje. Para tal efecto se usan en la zona, nitrofosca (5-15-5) y grogreen (20-30-10) que incluyen además elementos secundarios como hierro, zinc, boro, calcio, magnesio y cobre.

Las labores se realizan con miembros de la familia y/o con jornaleros cuando hay dinero para contratar. La semilla llega a representar, en ciertos años, casi la mitad del costo total de producción y más de la mitad de las salidas en efectivo. Por ésta y otras razones las parcelas son rentadas o sembradas "a medias" entre el propietario de la parcela y el mediero (productor de papa). En este caso



#### *4. Resultados. Características de la muestra*

*Perfil de referencia en el bosque de P. hartwegii. Andosol húmico*



## 4.2 Características de la muestra

### 4.2.1 El muestreo en el paisaje geocológico de laderas onduladas con abetos

El muestreo se realizó en el **paisaje de laderas onduladas con abetos** por las siguientes razones: *a)* el bosque de *Abies religiosa* es una comunidad clímax, definida fisonómicamente y florísticamente, con una especie abundante y dominante; *b)* es un bosque que posee cualidades estético-recreativas y una gran importancia como hábitat para la conservación de la fauna silvestre y por su función para captar agua en las cuencas; *c)* ocupa el piso altitudinal más elevado en toda la montaña donde las condiciones climáticas y edáficas constituyen el límite de la frontera agrícola, y *d)* experimenta un proceso de fragmentación, debido a los fuertes desmontes para el cultivo de papa.

La distribución espacial y la extensión de las combinaciones de geoformas-uso-cobertura vegetal (Tabla 10) permitió elegir la comunidad de *Abies* en asociación con pino, con cobertura arbórea de 70% a 90% (AP2), como el tipo de vegetación más representativo del bosque (40.07 ha) y las geoformas de laderas RCv y RCx, por ser contrastantes y frecuentes en todo el paisaje. También se analizaron las posiciones CxCx debido a que reflejan situaciones más adversas para la agricultura. Las áreas de cultivo sin vegetación arbórea ocupan la mayor superficie en todo el paisaje (174.73 ha) y en esas tres formas de ladera se encuentran las mayores extensiones; por tal motivo se establece una comparación entre bosque (*Abies*-pino) y cultivo (cultivo sin vegetación arbórea) en cada una de ellas. De modo que se estudian las combinaciones AP2-RCv, AP2-RCx, AP2-CxCx, C-RCv, C-RCx y C-CxCx, mismas que se destacan en la tabla citada, con seis repeticiones espacialmente distribuidas de cada combinación.

La pendiente de la ladera fue una variable no considerada en su justa dimensión. El interés por encontrar diferencias establecidas por el uso del suelo restringió el control de la pendiente en los sitios de muestreo; sin embargo, se procuró mantener una mínima variabilidad en las condiciones de pendiente y exposición. Las mayores y menores pendientes se registraron en las laderas RCx, tanto en cultivo (4° a 20°) como en bosque (0° a 25°), mientras que en las laderas CxCx se presentaron rangos más homogéneos, de 5° a 15° en sitios de cultivo y 0° a 9° en bosque, las laderas RCv manifestaron una inclinación del terreno de 4° a 11° en cultivo y de 7° a 18° en bosque. En promedio, la pendiente de los sitios muestreados en bosque es de 9° y en cultivo es de 8°. La Tabla 11 contiene las características de ubicación y ambiente en que se encuentran los sitios de muestreo.

La exposición de la ladera mantuvo un patrón relativamente homogéneo. De los 36 sitios muestreados, 21 se encuentran orientados hacia el NW-N-NE; ocho hacia el NW-W-WSW y siete hacia el ENE-E-SSE, lo que manifiesta una relativa homogeneidad en cuanto a la incidencia de humedad,

4. Resultados. Características de la muestra

Tabla 10 Superficie en hectáreas de las combinaciones geoforma-uso en la cuenca y selección para el muestreo

VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO		GEOFORMAS																			
TIPO DE VEGETACIÓN	CLAVE	% de Cobertura Vegetal	CIMA			DOMO			LADERA			CANADA O CAUCE			PLANICIE						
			APLANADA	ANGOSTA	AMPLIA	TRONDA	PIED.	AGUDA	RECTO	CÓNCAVO	RECTO	CÓNCAVO	RECTO	CÓNCAVO		RECTO	PLANO	FONDO	ARREGLO	CÓNCAVO	AMPLIO
B	Pinus hartwegii	H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	
		H2	1.10	0.01	3.48	0.06	-	-	8.72	22.94	9.21	23.33	25.86	-	-	3.61	1.39	0.86	-	-	-
		H3	6.08	-	0.56	3.94	-	-	5.25	6.34	13.47	0.30	32.65	-	-	3.20	1.19	2.51	-	-	-
O	P. hartwegii asoc. Abies	HA1	0.59	-	-	-	-	-	-	-	0.48	-	0.66	4.28	3.52	-	-	-	-	-	-
		HA2	0.33	-	-	-	-	-	-	0.52	-	-	-	-	4.58	-	-	2.09	-	-	-
		HA3	1.45	-	-	-	-	-	-	4.03	-	-	-	-	2.60	0.02	8.17	-	-	-	0.37
Q	Abies	A1	1.53	0.65	-	-	-	-	5.85	2.73	12.81	1.19	1.63	1.18	5.41	-	-	-	-	0.01	-
		A2	1.75	0.05	-	-	-	0.92	9.88	1.68	5.67	-	6.37	1.66	12.77	-	-	4.16	1.60	0.58	0.71
		A3	0.90	-	-	-	-	-	1.62	7.30	9.48	-	3.61	0.81	5.26	1.01	1.72	-	0.50	0.54	-
U	Abies asoc. Pimus	AP1	0.45	1.70	-	-	-	-	1.80	0.09	1.48	-	1.40	0.37	1.62	-	-	-	0.07	-	-
		AP2	0.40	5.22	-	-	-	0.57	6.17	11.29	3.67	-	1.60	1.40	8.47	-	-	0.01	0.34	0.86	-
		AP3	1.97	1.61	-	-	-	-	1.09	1.75	8.30	-	8.44	0.75	3.77	-	-	-	0.02	-	-
P	Zacatón	Z1	-	-	2.61	0.43	-	-	-	3.15	1.73	0.24	1.77	-	-	-	-	-	-	-	-
	(pastizal de alta montaña)	Z2	-	-	7.53	-	-	-	-	0.34	2.76	0.12	0.64	-	-	-	-	-	-	-	-
		Z3	-	-	4.13	-	-	-	0.09	0.88	4.53	0.31	3.50	-	-	-	-	-	-	-	-
A	Zacatón asoc. P. hartwegii	ZH1	7.76	-	1.35	-	-	-	14.33	15.49	13.12	1.60	16.01	-	22.98	10.19	3.42	-	-	-	-
		ZH2	7.83	-	5.57	-	-	-	3.02	11.33	11.14	-	8.59	-	3.88	3.18	5.47	-	-	-	0.64
		ZH3	0.95	-	0.75	0.23	-	-	0.18	2.72	3.79	-	5.97	0.08	0.94	0.89	1.65	-	-	-	0.50
S	Zacatón en llanos	P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(heladas)	P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		P3	-	-	-	-	-	-	-	-	1.21	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	0.02
I	Baccharis y pastos en áreas de desamonte y en descanso agrícola.	B1	0.18	-	-	-	-	-	0.77	1.55	0.61	-	2.63	-	1.81	-	-	-	-	-	0.27
		B2	2.04	0.12	-	-	-	0.08	4.23	5.21	3.86	-	2.49	1.09	0.88	1.78	0.50	-	0.12	0.74	0.48
		B3	0.56	0.05	-	-	-	-	6.05	5.54	6.21	-	1.29	2.27	2.95	-	-	0.18	-	1.34	0.33
L	Baccharis y pastos en márgenes pedregosos.	G1	-	-	-	-	-	-	2.88	1.14	5.39	-	0.39	0.36	0.01	-	-	-	-	4.28	2.99
		G2	-	-	-	-	-	-	3.33	0.83	1.86	0.02	0.07	0.93	1.27	0.06	-	-	3.43	3.52	0.46
		G3	0.02	-	-	-	-	-	0.09	-	0.09	-	0.28	-	-	-	-	-	-	1.17	-
C	Cultivo asoc. Abies-pinus	CAP1	3.39	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	0.71	3.76	-	-	-	-	-	-
		CAP2	0.32	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.57	3.81	-	0.03	-	-	-	-	0.10	-
		CAP3	0.86	0.39	-	-	-	0.17	3.01	11.18	4.92	-	5.71	6.52	2.48	-	-	-	0.88	0.02	-
U	Cultivo sin veg. arborea	C	4.78	0.14	-	-	1.31	40.38	24.60	6.97	4.71	21.14	15.87	8.18	8.94	-	-	-	0.27	4.56	0.04
		U	-	-	3.38	1.90	-	-	3.38	1.90	-	5.07	-	0.92	3.65	-	-	-	-	0.33	-

4. Resultados. Características de la muestra

Tabla 11 Localización y características ambientales de los sitios de muestreo

CLAVE	GEOMORFIA	USO	UBICACIÓN	NOMBRE DEL PARAJE O DUEÑO DE LA PARCELA	ALTITUD m.s.n.m.	INCLINACIÓN	EXPOSICIÓN	ROCOSIDAD en superficie	PEDREGOSIDAD en superficie	BOSQUE	USO DEL AGRÍCOLA	SUELO	DESCANSO	CARACTERÍSTICAS DE USO
PM01	RCx		Cultivo Ej. A. Pescados	La Ciénega	3,110	4°	Nte. 10	mod. a abund. de diversos tamaños	gravillas pequeñas angulosas mod.		cultivo de avena	planas de 20-30 cm		
PM02	RCx		Bosque Ej. El Conejo	cima cercano a la Ciénega	3,120	7°	Nte. 40	abund. diversos tamaños.		Abies	cid. papa >5 años	reducida forma pedregosa, escobo y musgo		
PM03	Cx/Cx		Bosque Ej. A. Pescados	ladera oriental pasando el río	3,120	5°	Nte. 160	abund. rocas grandes redondeadas		Abies-pino		poca cob. alie y madroño, escobo y zacatón		
PM04	RCv		Bosque Ej. A. Pescados	parte baja de la concav. ant.	3,110	13°	Nte. 130	abund. rocas redondeadas		Abies-pino		poca cob. alie, madroño, algunos encinos y escobo		
PM05	RCv		Cultivo Ej. A. Pescados	en el centro de la concav. abajo de la Cx	3,110	5°	Nte. 40		gravillas pequeñas		cid. papa	sin cultivar >3 años		
PM06	Cx/Cx		Cultivo Ej. El Conejo	cerca del pueblo	3,210	7°	Nte. 10	abund. rocas		Abies-pino		sin cultivar >3 años		
PM07	Cx/Cx		Bosque Ej. A. Pescados	límite oriental. Ej. Pescados después del río	3,210	0°	centil		mod.	Abies	cid. de ant. cultivos	pocas pinos, renuevo de oyamel, abund. escobo, zacatón y musgo		
PM08	Cx/Cx		Bosque Ej. El Conejo	camino hacia El Escobillo	3,220	9°	Nte. 0 (franco)	mod		Abies	cultivo de avena	baja cob. alie, pasto		
PM09	Cx/Cx		Cultivo Ej. El Conejo	camino hacia El Escobillo	3,240	8°	Nte. 9 (franco)	poca	algunas gravas	Abies-pino	cultivo de maiz	plantas de 50 cm cercanas a cultivo de trigo		
PM10	Cx/Cx		Bosque Ej. El Conejo	camino hacia El Escobillo	3,160	8°	Nte. 260	algunas rocas	gravas de diferentes tamaños	Abies-pino		estrato herbáceo, hojarasca, escobo, zacatón y pasto-musgo		
PM11	Cx/Cx		Cultivo Ej. El Conejo	parte baja de la concavidad	3,190	11°	Nte. 230	algunas piedras grandes	gravas de diferentes tamaños	Abies		árboles maduros, pocos pinos, alie, escobo, estr. herbáceo, musgo		
PM12	Cx/Cx		Bosque Ej. El Conejo	en la porción oriental de la Cx	3,160	9°	Nte. 290	abund. rocas	algunas gravas	Abies		plantas de 1.5 m de crecimiento		
PM13	RCv		Cultivo Ej. El Conejo	oje de la concavidad arriba de los "resumideros"	3,140	9°	Nte. 270		algunas gravas	Abies		árboles maduros, pocos pinos, alie, escobo, estr. herbáceo, musgo		
PM14	RCv		Bosque Ej. El Conejo	parte alta de la Cx. cañecera-erosión	3,180	16°	Nte. 280	abund. rocas grandes redondeadas	gravas de diferentes tamaños	Abies		abund. hojo en flor		
PM15	RCv		Cultivo Ej. El Conejo	El Vaquero	3,390	15°	Nte. 140	mod. rocas grandes	algunas gravas	Abies		renuevo de oyamel, algunos pinos, escobo, pasto-musgo, hojarasca		
PM16	RCx		Cultivo Ej. El Conejo	El Vaquero	3,400	7°	Nte. 300	limpianro la superficie, anontonadas	abund. gravillas	Abies		veg. herbácea de 20 cm, escobo y pasto		
PM17	RCv		Cultivo Ej. El Conejo	El Vaquero	3,380	4°	Nte. 05	algunas rocas	abund. gravillas	Abies		sin cultivar >3 años		
PM18	RCv		Cultivo Ej. El Conejo	El Vaquero	3,370	8°	Nte. 40	limpianro la superficie, anontonadas	abund. gravillas	Abies		sin cultivar >6 años		
PM19	RCx		Cultivo Ej. El Conejo	ladera derecha a la salida de Cañada Honda	3,330	20°	Nte. 10	abund. rocas	gravas de diferentes tamaños	Abies		sin cultivar >5 años		
PM20	Cx/Cx		Cultivo Ej. El Conejo	El Pedregal, parcela del Sr. Raymundo	3,280	8°	Nte. 0 (franco)	algunas rocas	pedregosidad moderada	Abies		sin cultivar >5 años		
PM21	RCv		Cultivo Ej. El Conejo	El Llano, cerca de la pasadería y el teléfono	3,270	4°	Nte. 15		moderadas piedras pequeñas	Abies (70% cob)		en descanso este año		
PM22	RCx		Bosque Ej. A. Pescados	Camino a Tomblerías pasando el río	3,220	6°	Nte. 90	abund. rocas	moderada pedregosidad	Abies-pino		veg. herbácea, renuevo, pasto y musgo		
PM23	RCv		Bosque Ej. A. Pescados	costado del pantegano oriental	3,190	18°	Nte. 80	algunas piedras grandes	moderadas piedras pequeñas	Abies-pino		algunas pinos y alies en la periferia, renuevo de oyamel, escobo, pasto y musgo		
PM24	RCx		Bosque Ej. El Conejo	en los huertos de las casas cercanas a la Iglesia	3,230	0°	centil	muchas piedras grandes	abundantes gravas	Abies (50% cob)		renuevo de oyamel, estrato herbáceo, musgo y pasto		
PM25	Cx/Cx		Cultivo Ej. El Conejo	en los huertos de las casas cercanas a la Iglesia	3,240	5°	Nte. 240	algunas piedras grandes	algunas gravillas	Abies (70%)		en descanso este año		
PM26	RCx		Cultivo Ej. El Conejo	cerro cerca de la plantación de arbolitos de Miguel	3,190	10°	Nte. 05	pocas piedras grandes, limpianro	algunas gravillas	Abies (70%)		en descanso este año		
PM27	RCx		Bosque Prop. Federal	Parque La Capillita	3,390	25°	Nte. 100	abundantes rocas grandes	no hay gravillas	Abies (90%)		algunos pinos en los bordes hacia el plano, estrato herbáceo alto (1 m)		
PM281	RCv		Bosque Prop. Federal	Parque Nacional	3,410	10°	Nte. 355	algunas piedras	algunas	Abies (90%)		escasos pinos, abund. renuevo de oyamel, estrato herbáceo, pasto y musgo		
PM282	RCx		Bosque Prop. Federal	Parque Nacional	3,370	7°	Nte. 0 (franco)			Abies (90%)		bosque denso, abund. renuevo, estrato herbáceo de 50 cm zacatón y musgo		
PM30	RCv		Cultivo Ej. A. Pescados	Entrada al Plan hacia el collado	3,300	11°	Nte. 80	mod. rocas medianas	escasas	Abies (60%)		rodado de bosque, abund. zacatón, magrara, pasto y escobos de 50 cm		
PM31	RCv		Bosque Ej. A. Pescados	Entrada al Plan hacia el collado	3,340	7°	Nte. 90	abund. en un flanco de la ladera	algunas gravillas pequeñas	Abies (70%)		renuevo, estrato herbáceo de 30 cm, pasto, musgo y hongos		
PM32	RCx		Bosque Ej. El Conejo	cerro cerca de la plantación de arbolitos de Miguel	3,300	7°	Nte. 20	algunas rocas	algunas gravillas	Abies-pino (50%)		haciamiento, árboles jóvenes y delgados, hierba y musgo escaso		
PM33	Cx/Cx		Bosque Ej. A. Pescados	Entrada al Plan hacia el collado	3,310	6°	Nte. 30	algunas rocas	algunas gravillas	Abies		renuevo de oyamel, alie arbustos zacatón y musgo		
PM341	RCv		Bosque Ej. El Conejo	camino El Conejo-La Prata, pasando el puente	3,320	17°	Nte. 320	muchas rocas y bloques	algunas gravillas pequeñas	Abies		haciamiento árboles jóvenes, musgo		
PM35	RCx		Cultivo Ej. El Conejo	El Rancho, parcela del Sr. Juan Dominguez	3,230	7°	Nte. 290	algunas piedras pequeñas	pocas gravillas			pastoreo directo sobre la arena		
PM36	RCv		Cultivo Ej. El Conejo	La Capilla	3,300	9°	Nte. 10	algunas piedras medianas	abund. gravillas			abund. hojo, algunos escobos		

de insolación y de viento. Por último y considerando la forma alargada de la cuenca, resulta que tanto el flanco oriental como el occidental cuentan con 18 sitios de muestreo salvo que en el primero dominan los sitios de bosque y en el segundo los cultivos. Esto se debe a dos circunstancias: *a)* las parcelas en el flanco oriental pertenecen al ejido Agua de los Pescados y se protegen como reserva forestal, no siempre respetada, y *b)* las parcelas del flanco occidental se dedican con preferencia al uso agrícola por su menor humedad y topografía más suave.

La rocosidad más abundante se observa en los sitios CxCx y RCx de bosque, lo que explica el motivo de la permanencia del bosque. En general, todos los sitios presentan piedras pequeñas en la superficie, pero en áreas de cultivo con más tiempo de laborar, se ha hecho un trabajo de limpieza y en algunos casos se aprovechan las rocas y piedras para construir terrazas y/o zanjas en las parcelas, con el fin de amortiguar los procesos erosivos sobre el suelo cultivado. Once de los 18 sitios de cultivo se encontraron en descanso agrícola por el presente ciclo o hasta por más de tres años. Los puntos de muestreo PM02 y PM08 presentan, bajo los árboles, evidencias de cultivo de papa en ciclos anteriores; esto demuestra que varios sitios en proceso de apertura, en una primera fase de deforestación, fueron abandonados. En los sitios que han dejado de cultivarse se observa una ligera compactación por el pastoreo.

Todos los suelos muestreados presentan un perfil ABC con un horizonte B poco desarrollado. Con excepción del PM08, los demás sitios de bosque poseen una capa delgada de hojarasca sobreyaciendo al horizonte orgánico del suelo; en los sitios PM10, PM12, PM14, PM23, PM24, PM27 y PM29, dicha capa llega a tener 5 cm de espesor. En general, el espesor del horizonte superficial se mantiene homogéneo para ambos tipos de uso del suelo, por lo que pueden ser calificados como horizontes ligeramente profundos a profundos ya que en dos sitios de cultivo y siete de bosque el espesor es mayor de 30 cm y los demás se encuentran en un rango de 15 a 29 cm; la excepción es el sitio PM27 de bosque, que posee un horizonte superficial de 9 cm debido a que se encuentra en una convexidad sumamente rocosa.

Las características observadas en el horizonte superficial de cada sitio se describen en la Tabla 12. Dicho horizonte es de color oscuro y moderadamente pedregoso en el interior. La estructura es microgranular a subangular y en ocasiones poliédrica siempre de poco desarrollo. En tres casos de sitios agrícolas no se observó la formación de agregados, lo que probablemente se deba al tipo de labranza a la que ha sido sometido el suelo. En los bosques se observa una ligera compactación del suelo, resultado del pastoreo anterior y/o actual; no obstante, la abundancia de raíces de gramíneas y hierbas hacen que el suelo sea poroso y liviano. En las parcelas agrícolas se practica el pastoreo, normalmente después de la cosecha, de manera que se puede inferir cierto grado de compactación en el suelo y, aunque la siguiente labranza remueve la capa superficial en profundidad el subsuelo, permanece compactado.

4. Resultados. Características de la muestra

Tabla 12 Características del horizonte superficial de los sitios muestreados

CLAVE MUESTREADO	HORIZONTE ESPESOR en cm	TIPO DE PERFIL	PROFUNDIDAD DEL PERFIL	ROCAS	GRAVAS	COLOR/TEXTURA	CONSISTENCIA	ESTRUCTURA Y POROSIDAD	RAÍCES	MATERIA ORGÁNICA	ORGANISMOS	CARBÓN	CONTACTO	OBSERVACIONES
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			form./freq.	Drng. req.	form.	
PM01	Ap	0-20 Ap-Bw	> 25 cm. tocó roca	0	0	c.o.	m. lim.	compacta	mucha raíces finas de gramíneas.	mod. a abund.	no	no	definida en clara	
PM02	A2	0-35 A1-A2-Bw	> 40 cm. tocó piedra	0	2	n.	m. arc.	pd. a sha. 2		mod. a abund.	no	no	definida	
PM03	A2	0-15 A1-A2-Bw-C1	> 60 cm. frag. de roca latemp.	0	2	c.o.	f.	sha. 1		mod. a abund.	no	no	definida	
PM04	A2	0-30 A1-A2-Bw	> 60 cm. tocó roca.	3	2	n.	m. arc.	sha. 1	gruesa y mod. mod. fase algas	mod. a abund.	si	no	definida	
PM05	Ap	0-23 Ap-Bw	> 50 cm. otro Hic.	0	2	c-g mo.	f.	sha. 1	mod. raíces finas y mediana		no	no	definida en clara	
PM06	Ap	0-22 Ap-Bw	> 50 cm. otro Hic.	0	3	c.mo.	m. arc.	sha. 1			no	no	definida	
PM07	A2	0-15 A1-A2-Bw	> 50 cm. tocó roca	2	0	c.mo.	f.	sha. 1		mod. a abund.	no	no	definida	
PM08	A1	0-22 A1-Bw	> 40 cm. tocó roca.	0	2	c.o.	f.	mg. a sha. 1	abund. raíces mod.	mod.	no	no	definida	
PM09	Ap	0-18 Ap-Bw-C1-C2	> 65 cm. otro Hic.	0	0	c.o.	f.	mg. 1	abund. raíces fase de gramíneas		no	no	definida	
PM10	A2	0-25 O-A1-A2-Bw	> 35 cm. tocó piedra	0	2	c.mo.	f.	mg. 1	abund. raíces fase		no	no	definida	
PM11	Ap	0-16 Ap-Bw1-Bw2	> 70 cm. tocó piedra	0	2	c.o.	f.	mg. a sha. 1	mod. raíces fase		no	no	definida	
PM12	A2	0-23 O-A1-A2-Bw	> 50 cm. tocó piedra	2	2	c.mo.	f.	mg. a sha. 1	mod. raíces finas y mediana		no	no	definida	
PM13	Ap	0-21 Ap-Bw	> 80 cm. otro Hic.	0	0	c.mo.	f.	mg. a sha. 1	abund. raíces finas mod. mediana		no	no	definida	
PM14	A2	0-19 O-A1-A2-Bw	> 50 cm. tocó piedra	2	2	c.mo.	f.	mg. a sha. 1	abund. raíces finas y mediana		no	no	definida	
PM15	Ap	0-23 Ap-Bw	> 80 cm. otro Hic.	2	3	c.o.	f.	mg. a sha. 1	abund. raíces fase		no	no	definida	
PM16	Ap	0-26 Ap-Bw	> 30 cm. tocó piedra	2	3	c.o.	f.	mg. a sha. 1	abund. raíces finas mod. mediana		no	no	definida	
PM17	Ap	0-30 Ap-Bw-C1	> 110 cm. llegó al Hic. C	1	2	n.	f.	mg. a sha. 1	abund. raíces finas y mediana		no	no	definida	
PM18	Ap	0-33 Ap-Bw	> 70 cm. fin de la barreración	2	3	c-g mo.	f.	mg. 1	abund. raíces finas		si	no	definida	
PM19	Ap	0-28 Ap-Bw	> 60 cm. tocó piedra	2	3	c.mo.	f.	mg. 1	abund. raíces finas		no	no	definida	
PM20	Ap	0-24 Ap-ABw-Bw	> 100 cm. tocó piedra	2	2	c.o.	f.	mg. a sha. 1	mod. raíces finas		no	no	definida	
PM21	Ap	0-32 Ap-Bw	> 32 cm. otro Hic.	0	3	c.mo.	f.	mg. 1	ligera compactación		no	no	definida	
PM22	A2	0-20 A1-A2-ABw-Bw-C1	> 85 cm. Hic. C1	0	1	c.mo.	f.	sha. 1	abund. raíces finas y mediana		si	no	definida	
PM23	A2	0-20 O-A1-A2-ABw-Bw	> 50 cm. Hic. Bw	0	1	c.mo.	f.	sha. 1	abund. raíces finas y mediana		si	no	definida	
PM24	A2	0-18 O-A1-A2-Bw-C1	> 60 cm. Hic. C1	2	3	c.o.	f.	sha. 1	abund. raíces finas y mediana		si	no	definida	
PM25	Ap	0-19 Ap-Bw	> 30 cm. tocó piedra	2	3	c.mo.	f.	mg. 1	abund. raíces finas y mediana		si	no	definida	
PM26	Ap	0-20 Ap-Bw	> 75 cm. fin del perfil	0	1	c.mo.	f.	mg. 1	abund. raíces fase de gramíneas		no	no	definida	
PM27	A2	0-9 O-A1-A2-Bw-C	> 20 cm. tocó piedra	3	0	n.	m. arc.	mg. a sha. 1	mod. raíces finas y mediana con m.a.		no	no	definida	
PM28	A2	0-30 A1-A2-A1-Bw-C1	> 100 cm. llegó a Hic. C	2	3	c.mo.	m. arc.	mg. a sha. 1	mod. raíces finas, escasas gruesas		no	no	definida	
PM29	A2	0-50 O-A1-A2-C1	> 70 cm. tocó piedra	0	2	n.	m. lim.	mg. 1	finas escasas y mediana mod. abund.		no	no	definida	
PM30	Ap	0-20 Ap-Bw-C1	> 55 cm. tocó piedra	2	1	c.o.	f.	sha. 2	finas mod., mediana abund., algunas gruesas	abundante hojarasca	no	no	definida	
PM31	A2	0-40 A1-A2-Bw	> 110 cm. fin del perfil	0	1	n.	f.	N.A.	raíces finas abund.		no	no	definida	
PM32	A2	0-17 A1-A2-Bw-C1	> 70 cm. fin del perfil	2	1	c.mo.	f.	mg. 1	mod. raíces finas, abund. mediana	e-H. extor. madera fase 20 años	no	no	definida	
PM33	A2	0-35 A1-A2-Bw	> 35 cm. tocó piedra	2	2	c.mo.	f.	mg. a sha. 2	escasas raíces finas, mediana más abund.	un poco de hojarasca y ramitas	no	no	definida	
PM34	A2	0-15 A1-A2-A1-Bw	> 70 cm. tocó piedra	2	2	c.o.	f.	mg. a sha. 2	escasas raíces finas y gruesas, mediana mod.		no	no	definida	
PM35	Ap	0-18 Ap-Bw-C1-C2	> 70 cm. tocó piedra	0	2	c.o.	f.	sha. 1	escasas raíces finas/mod. mediana mod.	en H. A1-A2 una capa seca y compacta	no	no	definida	
PM36	Ap	0-33 Ap-Bw-C1	> 60 cm. llegó al Hic. C1	2	3	c.o.	m. arc.	N.A.	raíces finas moderadas	blanqueadas. libres, con anillos de hojarasca	no	no	definida	

(1) ROCOSIDAD: (rocas o piedras)	(2) PEDREGOSIDAD: (gravas y gravillas)	(3) COLOR:	(4) TEXTURA:	(5) ESTRUCTURA:
0 ausencia	0 ausencia	n.	f.	mg. microgranular
1 escasas	1 escasas	c-g mo.	m. arc.	pd. polidétrica
2 algunas	2 algunas	c.mo.	m. lim.	sha. subangular
3 abundantes	3 abundantes	c.o.	m. arc.	P.A. poco aparente
	(*) lentes de gravillas finas			N.A. no aparente

Para evaluar el nivel de humedad de las muestras se utilizó una escala de valoración que consiste en cinco rangos equivalentes en un 100%; de manera que, las muestras van de moderadamente húmedas (25%-49%) a muy húmedas (75%-100%); teniendo cuatro sitios en donde el porcentaje de humedad supera el 100%. Resultó que 12 de los 18 sitios de cultivo muestreados en la porción de menor humedad manifiestan una predominancia de arena, mientras que en los demás casos domina el limo. Todos los valores de los parámetros físicos y químicos obtenidos para cada muestra de suelo tomada en los horizontes superficiales de los 36 sitios se presentan en la Tabla 13.

Se evaluó también la calidad del suelo, con base en el manual de interpretación de los análisis químicos de suelo (Etchevers, 1988), con lo cual se realizó un mapa de variabilidad de algunos parámetros (Figura 12). En general, son suelos fuertemente ácidos, e inclusive muy fuertemente ácidos en las posiciones RCv con bosque, RCx y CxCx ambos con cultivo. En el bosque, los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y la relación C/N son altos y muy altos. Las posiciones RCx y RCv poseen un contenido muy alto de materia orgánica y las posiciones CxCx un contenido alto, mientras que en cultivo las tres posiciones manifiestan contenidos medios. La relación C/N es muy alta en los casos de laderas RCv con bosque (26.50), mientras que para las laderas RCx y CxCx sólo es alta (18.73 y 16.78 respectivamente), y en los sitios de cultivo en las tres posiciones topográficas, la relación se presenta mediana. Los contenidos de fósforo son bajos en general, excepto en la posición RCv de cultivo donde se evalúa en nivel medio y específicamente en el sitio PM36 el valor es muy alto (59.03 mgkg<sup>-1</sup>), debido al aporte de los fertilizantes químicos.

Las tres posiciones de ladera en bosque manifiestan un contenido medio de magnesio, pero en cultivo las posiciones RCx y CxCx disminuyen al nivel de bajo y muy bajo en el caso de la RCv. La proporción de calcio es alta en las posiciones CxCx y RCv de bosque y media en la RCx, mismas que en uso agrícola cambian a media y baja, respectivamente. Por su parte el contenido de potasio se mantiene estable en las posiciones RCx y CxCx medio y alto, pero las laderas en posición RCv tienen alto contenido de potasio en bosque y medio en cultivo. En nueve sitios de bosque ubicados abajo de los 3,200 m.s.n.m. en una zona de mayor fragmentación, se observan contenidos medios y altos para los tres elementos. Además esta misma condición se observó en el sitio PM06, CxCx de cultivo, con niveles altos de potasio y calcio, y medio de magnesio. El aluminio intercambiable en todos los casos es bajo.

Tabla 13 Características físicas y químicas del horizonte superficial en los Andosoles de la cuenca

PARÁMETROS	CLAVE DEL PERFIL	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	PM08	PM09	PM10	PM11	PM12	PM13	PM14	PM15	PM16	PM17	PM18	PM19
Geoforma-uso	RCx-C	Ap	A2	A2	A2	Ap	Ap	A2	A1	Ap	A2	Ap	A2	Ap	A2	Ap	Ap	Ap	Ap	RCx-C
Horizonte de muestreo		20	35	30	30	23	22	15	22	18	25	16	25	21	19	23	26	30	23	28
Espesor (cm)		21.44	31.44	21.44	29.44	21.44	29.44	25.44	21.44	25.44	21.44	19.44	23.44	21.44	25.44	19.44	23.44	23.44	17.44	17.44
Arcilla (%)		49.44	36.00	45.44	35.28	39.44	41.64	47.44	39.44	42.00	48.00	35.44	49.44	33.44	44.20	35.44	34.92	34.92	35.44	33.44
Limo (%)		29.12	32.56	33.12	35.28	39.12	28.92	27.12	39.12	32.56	30.56	45.12	27.12	45.12	30.36	45.12	41.64	41.64	47.12	49.12
Arena (%)		1.96	1.81	1.98	1.72	1.97	1.79	1.95	1.99	2.01	1.85	2.15	1.92	2.13	1.87	2.15	2.06	1.95	2.30	2.28
Densidad real (Mg <sup>m</sup> <sup>-3</sup> )		1.33	0.88	1.30	1.12	1.37	1.10	0.88	1.12	1.17	0.87	1.29	0.98	1.26	0.93	1.13	1.23	1.33	1.20	1.35
Densidad aparente (Mg <sup>m</sup> <sup>-3</sup> )		32.02	51.28	34.29	34.53	30.35	38.68	55.06	43.91	41.93	53.26	39.65	48.88	40.88	49.89	47.21	40.00	31.41	47.82	40.82
Porosidad (%)		47.95	103.60	62.83	69.92	44.96	55.72	65.35	59.09	47.67	60.51	40.52	65.06	43.20	55.87	38.33	47.42	81.49	35.24	31.18
Humedad (%)		5.10	5.70	4.94	4.65	4.30	5.13	5.72	4.74	5.27	5.70	5.56	5.59	5.28	5.82	5.42	4.86	5.07	4.90	5.03
pH H <sub>2</sub> O		10.86	10.95	10.80	10.07	10.85	10.61	11.07	10.92	10.74	10.57	10.65	10.81	10.69	10.76	10.97	10.84	10.64	10.82	10.99
pH NaF		8.02	16.90	8.53	27.80	8.40	22.40	9.17	8.82	7.50	24.60	5.31	12.50	4.80	14.70	5.63	8.80	14.90	6.35	9.35
Materia orgánica (%)		4.65	9.80	4.95	16.12	4.87	12.99	5.32	5.12	4.35	14.27	3.08	7.25	2.78	8.53	3.27	5.10	8.64	3.68	5.42
Carbono orgánico (%)		0.38	0.66	0.31	0.43	0.28	0.92	0.45	0.34	0.57	0.72	0.28	0.44	0.32	0.40	0.25	0.42	0.53	0.37	0.44
Nitrógeno total (%)		12.24	14.85	15.86	37.32	17.22	14.08	11.74	15.22	7.70	19.96	11.12	16.37	8.62	21.58	13.27	12.12	16.21	10.06	12.32
Relación C/N		9.50	19.00	3.30	27.20	13.30	19.20	5.40	6.30	17.00	7.10	22.00	21.10	18.50	8.40	4.50	7.70	24.70	11.10	9.50
Fósforo extractable (mg <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		0.10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.21	0.08	0.03	0.08	0.10	0.09	0.13	0.10	0.05	0.01	0.04	0.03	0.09	0.13
Sodio (cmol(+) <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		0.94	1.15	0.61	0.72	0.44	1.14	0.45	0.36	0.89	1.41	0.72	1.34	0.88	1.31	0.47	0.32	0.43	0.36	0.63
Potasio (cmol(+) <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		6.75	11.73	4.66	20.50	1.25	17.18	10.10	3.21	7.88	30.45	9.25	14.80	2.98	15.20	6.39	3.11	29.40	3.56	3.99
Calcio (cmol(+) <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		0.58	2.18	0.53	2.45	0.09	2.70	1.52	0.20	0.67	3.78	0.69	2.73	0.67	1.81	0.73	0.09	0.78	0.13	0.16
Magnesio (cmol(+) <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		0.07	0.07	0.20	0.31	0.92	0.07	0.07	0.33	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.64	0.20	0.33	0.20
Aluminio intercambiable (cmol(+) <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		0.78	0.43	3.23	1.28	29.11	0.31	0.54	7.66	0.69	0.18	0.61	0.35	1.47	0.36	0.86	14.62	0.65	7.42	3.91
Saturación de Aluminio (%)		0.07	0.07	0.32	0.46	1.30	0.07	0.07	0.51	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.82	0.20	0.33	0.20
Acidez intercambiable (cmol(+) <sup>kg</sup> <sup>-1</sup> )		8.44	15.21	6.20	24.22	3.16	21.30	12.22	4.31	9.59	35.81	10.82	19.07	4.50	18.44	7.67	4.38	30.84	4.47	5.11

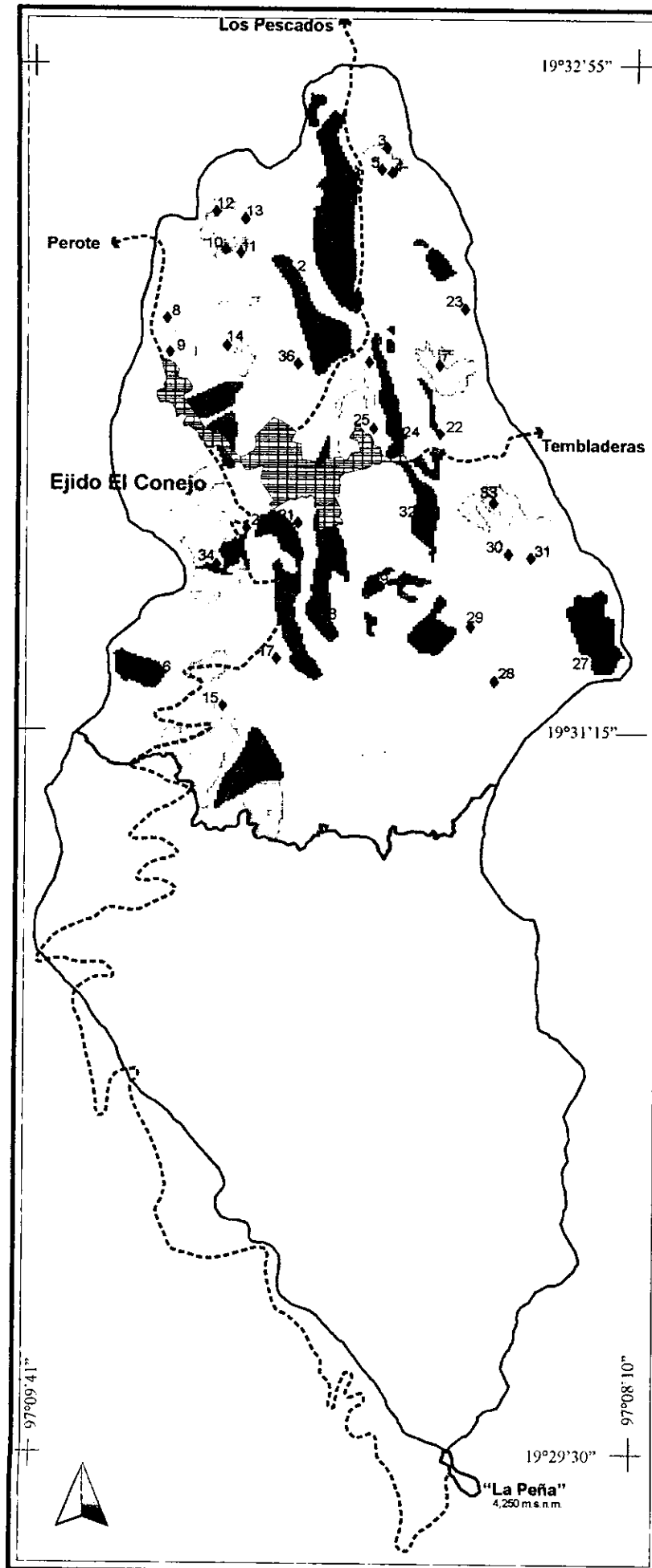


4. Resultados. Características de la muestra

Tabla 13 ... Continuación

PARÁMETROS	CLAVE DEL PERFIL																			
	PM20	PM21	PM22	PM23	PM24	PM25	PM26	PM27	PM28	PM281	PM282	PM29	PM30	PM31	PM32	PM33	PM34	PM342	PM35	PM36
Geoforma-uso	Cx-C	Rv-C	Rc-B	Rc-B	Rc-B	Cx-C	Rc-C	Rc-B	Rc-B	Rc-B	Rc-B	Rc-B	Rc-C	Rc-B	Rc-B	Cx-C	Rc-B	Rc-B	Rc-C	Rc-C
Horizonte de muestreo	Ap	Ap	A2	A2	A2	Ap	Ap	A2	A2	A2	A3	A2	Ap	A2	A2	A2	A2	A2	A3	Ap
Espesor (cm)	24	32	20	20	18	19	20	9	30	30	45	50	20	60	17	35	15	25	18	23
Arcilla (%)	21.44	15.44	23.44	27.44	20.00	18.00	23.44	30.00	30.00	30.00	18.00	24.00	25.44	12.36	16.36	20.36	15.44	15.44	12.36	16.36
Limo (%)	31.44	43.44	39.28	37.28	45.64	37.64	45.44	40.72	38.72	38.72	42.72	52.92	33.44	39.28	48.00	43.28	35.44	33.44	27.28	24.92
Arena (%)	47.12	41.12	37.28	35.28	34.36	44.36	31.12	29.28	31.28	31.28	39.28	23.08	41.12	48.36	35.64	36.36	49.12	51.12	60.36	58.72
Densidad real (Mgm <sup>-3</sup> )	2.33	2.23	2.08	1.97	2.07	2.16	2.20	1.97	1.99	1.99	2.03	2.22	2.23	2.03	2.04	2.01	2.35	2.29	2.42	2.39
Densidad aparente (Mgm <sup>-3</sup> )	1.34	1.25	0.99	0.67	1.00	1.16	1.12	0.88	1.02	1.02	1.18	1.40	1.06	1.11	1.07	0.99	1.23	1.31	1.38	1.31
Porosidad (%)	42.29	44.03	52.41	66.05	51.67	45.96	49.16	55.29	48.98	48.98	42.03	36.94	52.47	45.47	47.40	50.83	47.41	42.96	42.97	45.12
Humedad (%)	37.30	42.72	69.23	56.56	60.47	42.47	51.66	59.64	149.30	93.51	108.53	108.53	108.21	90.88	77.47	63.60	47.82	51.82	35.75	37.96
pH H <sub>2</sub> O	4.61	4.49	5.22	5.96	5.65	4.79	4.69	5.75	5.03	5.03	5.49	5.00	5.82	4.47	5.13	4.80	4.99	4.86	5.86	6.21
pH NaF	10.77	10.98	10.89	10.65	10.84	10.75	10.77	10.17	11.01	11.01	11.02	11.19	10.88	11.00	10.81	11.07	11.06	11.04	10.80	10.67
Materia orgánica (%)	5.18	11.80	18.20	26.10	13.30	9.11	7.37	27.40	22.60	22.60	14.82	17.60	9.82	9.70	14.50	13.60	3.80	3.31	4.46	5.60
Carbono orgánico (%)	3.00	6.84	10.56	15.14	7.71	5.28	4.27	15.89	13.11	13.11	8.60	10.21	5.70	5.63	8.41	7.89	2.20	1.92	2.59	3.25
Nitrógeno total (%)	0.24	0.45	0.51	0.28	0.38	0.35	0.34	0.66	0.69	0.69	0.51	0.68	0.40	0.33	0.48	0.37	0.17	0.22	0.18	0.29
Relación C/N	12.52	15.31	20.70	54.06	20.09	15.01	12.54	24.23	19.11	16.85	14.97	14.97	14.24	17.31	17.52	21.55	12.96	8.57	14.70	11.20
Fósforo extractable (mg/kg <sup>-1</sup> )	7.90	11.40	5.40	4.00	6.40	21.80	7.60	18.50	0.00	0.80	0.80	1.30	4.90	0.80	3.00	1.00	0.00	0.20	10.80	59.03
Sodio (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	0.17	0.10	0.21	0.15	0.13	0.23	0.15	0.38	0.37	0.37	0.24	0.32	0.21	0.10	0.09	0.13	0.05	0.10	0.07	0.05
Potasio (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	0.56	0.16	0.68	1.60	0.53	0.34	0.55	0.54	0.31	0.24	0.24	0.20	0.24	0.14	0.19	0.20	0.41	0.37	0.51	0.37
Calcio (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	3.19	0.80	8.46	23.40	11.30	3.83	2.73	3.79	2.04	1.45	8.65	8.65	1.31	2.79	0.92	10.04	4.09	4.84	4.90	4.80
Magnesio (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	0.18	0.05	1.44	2.97	1.40	0.10	0.15	0.79	1.30	1.00	1.27	0.25	0.30	0.42	0.18	1.81	0.21	0.81	1.90	0.12
Aluminio intercambiable (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	0.46	0.73	0.36	0.04	0.18	0.87	0.62	0.07	0.46	0.44	0.33	0.07	0.07	0.42	0.18	1.81	0.07	0.16	0.07	0.04
Saturación de Aluminio (%)	9.79	35.42	3.19	0.14	1.33	15.16	14.76	1.19	10.35	13.06	3.07	3.18	3.18	10.69	4.88	14.04	1.37	2.55	0.89	0.74
Acidez intercambiable (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	0.64	0.95	0.51	0.04	0.18	1.24	0.62	0.07	0.46	0.44	0.33	0.07	0.60	0.18	2.17	2.17	0.07	0.16	0.07	0.04
C.I.C. efectiva (cmol(+)/kg <sup>-1</sup> )	4.74	2.06	11.30	28.16	13.54	5.74	4.20	5.57	4.48	3.37	10.77	2.08	3.93	3.69	12.89	6.28	4.83	7.45	5.38	5.38

ESTA FESIS NO DEBE CALIR DE LA MANTERA



**Fig. 12** Mapa de variación de algunos parámetros edáficos en las combinaciones geoforma-uso estudiadas

**SIMBOLOGÍA**

Parámetros Edáficos	Bosque			Cultivo		
	Rcx	CxCx	Rev	Rcx	CxCx	Rev
	■	□	□	■	□	□
Humedad	5	4	4	3	3	4
pH	4	4	5	5	5	4
m.o.	5	4	5	3	3	3
C/N	4	4	5	3	3	3
P	2	2	2	2	2	3
Mg	3	3	3	2	2	1
Ca	3	4	4	2	3	3
K	3	4	4	3	4	3

**VALORES**

- Humedad*
- 5 Muy húmedo (75%-100%)
  - 4 Húmedo (50%-74%)
  - 3 Medianamente húmedo (25%-49%)
  - 2 Escasa humedad (5%-24%)
  - 1 Seco (<5%)

- pH*
- 5 Muy fuertemente ácido
  - 4 Fuertemente ácido

- Otros*
- 5 Muy alto
  - 4 Alto
  - 3 Medio
  - 2 Bajo
  - 1 Muy bajo

- ▨ Paisaje de laderas onduladas con abetos
- Paisaje de alta montaña
- ◆ Sitio de muestreo

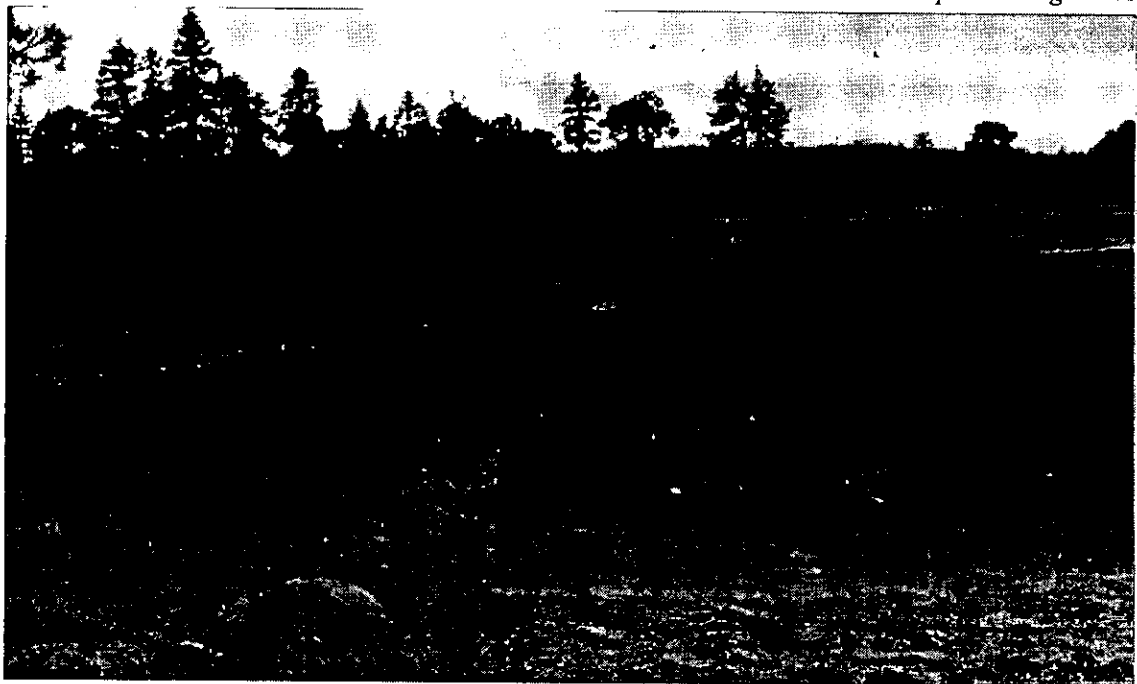
Escala 1:27,000



Fuente: Interpretación realizada con base en Etchevera, J.D 1988  
 Elaboró: María Ramírez      Diseñó: Evelia Ramírez

## *4. Resultados. Análisis Estadístico*

*Prácticas de conservación del suelo en parcelas agrícolas*



### 4.2.2 Análisis estadístico de las propiedades edáficas del horizonte superficial

Los datos obtenidos de los parámetros físicos y químicos se procesaron a través de un análisis de varianza, ANOVA de una y dos vías, con nivel de confianza de 0.05% (valor de P); o sea con un 95% de probabilidad de que los grupos difieran significativamente entre sí. A fin de conocer las diferencias estadísticamente significativas, se compararon en tres niveles: **1)** entre usos del suelo (bosque y cultivo) sin considerar su posición topográfica, **2)** entre geoformas (RCx, RCv y CxCx) independientes de su uso, y **3)** entre usos (bosque y cultivo) para cada geoforma.

Al comparar los sitios de bosque y cultivo, los parámetros que presentan diferencias altamente significativas son: la humedad, la densidad aparente, la densidad real, los contenidos de limo y arena, la materia orgánica, el carbono orgánico, la relación C/N, el fósforo extractable y el magnesio y en menor grado la porosidad. En seguida se organizan los resultados para cada uno de los parámetros físicos y químicos, comparando los obtenidos en el análisis por uso del suelo y por geoforma, además se grafican los valores promedio para cada combinación. Al final, la Tabla 14 muestra el nivel de significatividad en las diferencias encontradas y la Tabla 15 contiene los valores de la media y la desviación estándar para cada parámetro de cada grupo de combinaciones y la media por tipo de uso.

#### USO DEL SUELO

##### Espesor del horizonte superficial (cm)

El horizonte superficial en el suelo de bosque se presenta ligeramente más espeso que el de cultivo, aunque no es una diferencia significativa ( $P=0.65$ ).

El valor promedio del espesor en sitios de uso agrícola es de 22 cm y de forestal es de 24 cm. Los rangos de los datos van de 7 a 60 cm en los bosques y de 16 a 32 cm en los cultivos.

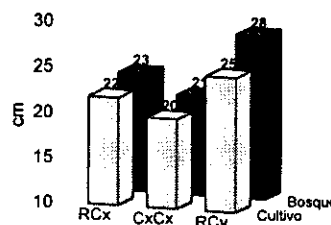
Tampoco se registra diferencia significativa entre usos por cada una de las geoformas ( $P=0.897$  para las RCx,  $P=0.804$  para las CxCx y  $P=0.691$  para las RCv).

El mayor contraste al cambio de uso del suelo se presenta en las laderas RCv, del 11% en sus valores promedio, mientras que las CxCx y RCx registran un 4%

#### GEOFORMAS

No existe diferencia significativa entre geoformas ( $P=0.411$ ), ni entre geoformas en función de su uso del suelo ( $P=0.701$  para las laderas en bosque y  $P=0.193$  para las laderas en cultivo).

Las laderas RCv siempre reportan los valores más altos y las CxCx los más bajos.



**USO DEL SUELO**

El contenido de humedad en los sitios de bosque (72.2%) y de cultivo (48.3%) presenta una diferencia altamente significativa ( $P=0.001$ ). El rango de datos en el bosque es de 49.8% a 121.4%, y en el cultivo de 31.2% a 108.2%.

En las laderas CxCx y RCx la diferencia es fuertemente significativa ( $P=0.000$  y  $P=0.002$ ).

Las laderas convexas manifiestan mayor riesgo de desecación al cambiar de bosque a cultivo. La pérdida de humedad más abrupta se registra en posiciones RCx. En los sitios de bosque, las CxCx registran bajos contenidos de humedad y en los de cultivo, las RCx. Las geoformas RCv presentan menor sensibilidad.

La diferencia entre usos es altamente significativa ( $P=0.000$ ); el promedio general para bosque es de  $1.03 \text{ Mgm}^{-3}$  y para cultivo es de  $1.24 \text{ Mgm}^{-3}$ . Los valores oscilan entre  $0.67 \text{ Mgm}^{-3}$  y  $1.40 \text{ Mgm}^{-3}$ .

Las diferencias son también significativas en todas las posiciones topográficas:  $P=0.026$  para las RCx,  $P=0.046$  para las CxCx y  $P=0.037$  para las RCv. La mayor susceptibilidad ante un cambio de uso se presenta en las RCx y en las RCv.

Se registra una diferencia significativa en el análisis entre usos del suelo, ( $P=0.005$ ). Los suelos de bosque presentan una densidad real promedio de  $1.99 \text{ Mgm}^{-3}$  y los de cultivo  $2.15 \text{ Mgm}^{-3}$ .

La comparación de cada una de las geoformas entre usos del suelo no registra diferencias significativas (RCx con  $P=0.081$ , CxCx con  $P=0.086$  y RCv con  $P=0.157$ ). Los valores promedio más altos se presentan en las laderas RCx y los más bajos en las laderas CxCx en ambos usos.

**GEOFORMAS**

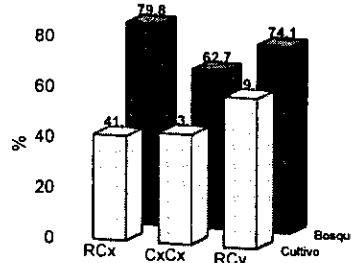
Entre geoformas el valor de  $P=0.223$  no expresa diferencia significativa; como tampoco al analizar las geoformas al interior de un mismo uso ( $P=0.353$  para bosque y  $P=0.183$  para cultivo).

Las geoformas RCv reportan siempre los valores más elevados.

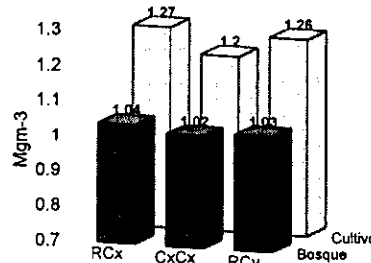
Entre geoformas no se registra diferencia significativa ( $P=0.762$ ). Tampoco entre geoformas sometidas a cultivo ( $P=0.435$ ) ni en las que tienen bosque ( $P=0.992$ ).

Entre geoformas no se presenta diferencia significativa ( $P=0.368$ ), tampoco en la comparación por tipo de uso ( $P=0.623$  en bosque y  $P=0.588$  en cultivo).

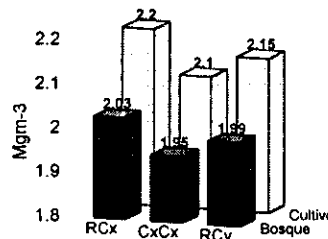
**Humedad (%)**



**Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )**



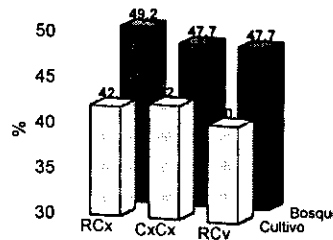
**Densidad real o densidad de partículas ( $\text{Mgm}^{-3}$ )**



**USO DEL SUELO**

Entre usos se manifiesta una diferencia significativa ( $P=0.015$ ), ya que el valor promedio para sitios de bosque es de 48.2% y para cultivo de 41.8%. Sin embargo, para el tipo de geoforma no se registra diferencia ( $P=0.084$  en RCx,  $P=0.166$  en CxCx y  $P=0.227$  en RCv). Los mayores contrastes se presentan en las geoformas RCx y RCv, con pérdidas del 7% de porosidad.

**Porosidad (%)**



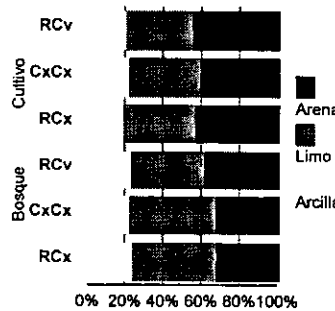
**GEOFORMAS**

Entre geoformas  $P=0.892$  no es significativa la diferencia. El promedio general es de 45.6% para las RCx, 45.2% para las CxCx y 44.2% para las RCv.

Tampoco existe diferencia significativa entre geoformas por cada tipo de uso ( $P=0.942$  en bosque y  $P=0.866$  en cultivo).

La proporción de limo y arena presenta diferencias significativas entre bosque y cultivo. En ambos casos resulta un valor de  $P=0.003$ , teniendo para los limos un promedio en bosque de 42.6% y en cultivo de 36.6%; en tanto que para las arenas 34.2% en los bosques y 42.7% en los cultivos.

**Textura (%)**



Entre geoformas no se reporta diferencia estadísticamente significativa ( $P=0.970$  para la arcilla,  $P=0.096$  para los limos y  $P=0.282$  para las arenas).

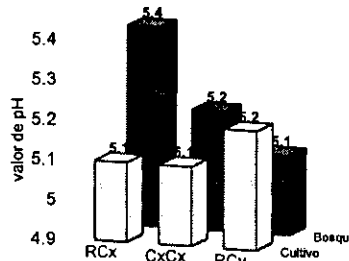
Los separados de arcilla no registran diferencia ( $P=0.127$ ) con un promedio en los bosques de 23.3% y 20.7% en cultivos.

Los limos manifiestan diferencia entre bosque y cultivo en la posición CxCx ( $P=0.004$ ), al igual que las arenas, aunque su valor sea cercano a la condición ( $P=0.051$ ).

Únicamente los limos en bosque registran diferencia significativa ( $P=0.042$ ) ya que las arcillas con  $P=0.835$  y las arenas con  $P=0.187$  no son significativamente diferentes. Para los cultivos tampoco hay diferencias: ( $P=0.499$  para arcilla,  $P=0.733$  para limo y  $P=0.755$  para arena).

No existe diferencia significativa ( $P=0.425$ ) entre usos. En las áreas de bosque el valor promedio es de 5.2 y en los cultivos de 5.1

**pH en agua**



Al comparar en cada una de las geoformas, el contraste más notorio se observa en las laderas RCx, sin llegar a ser diferencia significativa ( $P=0.150$  para las RCx,  $P=0.926$  para las CxCx y  $P=0.917$  para las RCv).

Tampoco se reporta diferencia significativa en las distintas posiciones topográficas ( $P=0.945$ ), ni al comparar las geoformas de un tipo de uso ( $P=0.660$  en bosque y  $P=0.925$  en cultivo).

**USO DEL SUELO**

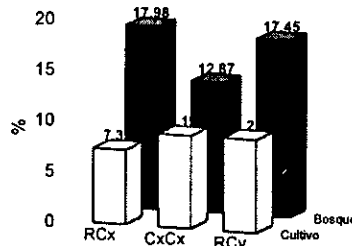
**GEOFORMAS**

**Materia orgánica (%)**

Existe diferencia fuertemente significativa ( $P=0.001$ ) entre usos. El promedio de los valores en sitios de bosque es de 16.10% con un rango que va de 3.80% a 27.80%; y en sitios con cultivo, de 8.60%, con un rango de 4.46% a 22.40%.

Las laderas CxCx y RCv no presentan diferencias significativas ( $P=0.342$  y  $P=0.080$  respectivamente). El contraste mayor está en las laderas RCx y se refleja en una diferencia significativa ( $P=0.001$ ).

En general, los porcentajes se reducen a la mitad, por lo tanto hay una pérdida abrupta cuando se cambia de forestal a agrícola.



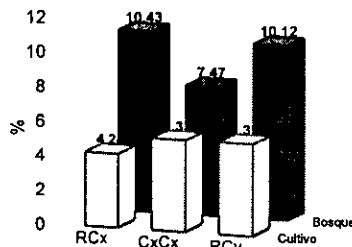
Entre geoformas no se presenta una diferencia significativa ( $P=0.630$ ).

Tampoco en la comparación de geoformas de cada uso ( $P=0.420$  para bosque y  $P=0.732$  para cultivo).

**Carbono orgánico (%)**

Se presenta una diferencia significativa entre usos ( $P=0.001$ ), ya que se registra una variación de más de la mitad entre el valor promedio del bosque con respecto al cultivo (9.34% y 4.99%). Los valores para el bosque se encuentran en un rango de 2.20% hasta 16.12%, mientras que para el cultivo van de 2.59% hasta 12.99%.

Los mayores contrastes se registran en las posiciones RCx, en donde se presenta una diferencia significativa ( $P=0.001$ ), manifestando una pérdida de más de la mitad, al cambio de uso. En las laderas CxCx y RCv no se presentan diferencias entre uso ( $P=0.341$  y  $P=0.080$  para cada caso).



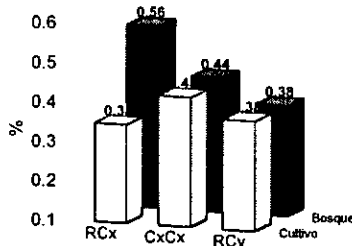
Entre geoformas no se registra diferencia significativa ( $P=0.63$ ). El contenido promedio general más alto se presenta en las geoformas RCv con 7.73% y los más bajos en las CxCx con 6.40%.

Las geoformas por cada tipo de uso no manifiestan diferencia ( $P=0.421$  para el bosque y  $P=0.731$  para el cultivo).

**Nitrógeno total (%)**

No se registró diferencia significativa entre usos ( $P=0.198$ ). El promedio en cultivo es de 0.39 % y en bosque de 0.46%.

Sin embargo, en la comparación por tipo de geoforma se registra diferencia en las RCx ( $P=0.008$ ). Los contrastes menores, sin ser diferencias significativas, se presentan en las laderas RCv ( $P=0.981$ ) y CxCx ( $P=0.977$ ).



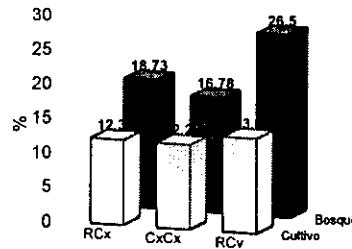
Entre geoformas no se registró ninguna diferencia ( $P=0.491$ ), tampoco entre geoformas por tipo de uso ( $P=0.136$  en bosque y  $P=0.724$  en cultivo).

**USO DEL SUELO**

Existe diferencia significativa entre usos ( $P=0.002$ ), con promedios de 20.66 para el bosque y 12.80 para el cultivo.

Las posiciones topográficas RCv son las únicas que no reportan diferencia significativa ( $P=0.088$ ), ya que las RCx ( $P=0.003$ ) y las CxCx ( $P=0.030$ ) son diferencias significativas.

**Relación C/N**



**GEOFORMAS**

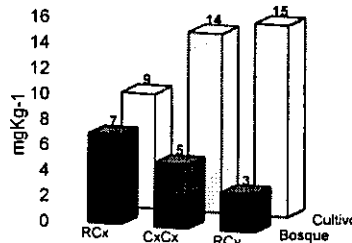
Entre geoformas ( $P=0.139$ ) no manifiesta diferencia significativa. Tampoco entre geoformas por grupos de uso ( $P=0.223$  para el bosque y  $P=0.522$  para el cultivo).

**Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )**

La comparación de usos registra diferencia significativa ( $P=0.001$ ), con valores promedio para bosque de 5 y para cultivo de 13  $\text{mgkg}^{-1}$

Sólo en la posición topográfica RCx la diferencia no es significativa ( $P=0.516$ ) contrariamente a lo que sucede en las CxCx ( $P=0.028$ ) y las RCv ( $P=0.013$ ).

El valor promedio más alto para bosque (7  $\text{mgkg}^{-1}$ ) y el más bajo para cultivo (9  $\text{mgkg}^{-1}$ ) se presentan en las geoformas RCx. Al contrario, el más bajo para bosque (3  $\text{mgkg}^{-1}$ ) y el más alto para cultivo (15  $\text{mgkg}^{-1}$ ) se registran en las geoformas RCv, siendo éste el contraste mayor.

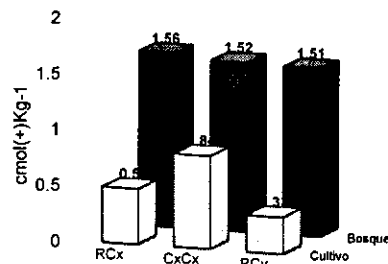


Entre geoformas no existe diferencia significativa ( $P=0.852$ ), ni tampoco entre geoformas al interior de cada uso (bosque  $P=0.403$  y cultivo  $P=0.323$ ).

**Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )**

La diferencia es significativa entre usos ( $P=0.004$ ). El valor promedio en los sitios de bosque es de 1.53  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  y en los de cultivo de 0.56  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ; presentándose una reducción hasta del 64% promedio al cambiar a cultivo.

Entre ambos usos de cada una de las geoformas, registran diferencias significativas las laderas RCx ( $P=0.017$ ) y las RCv ( $P=0.033$ ), a excepción de las CxCx ( $P=0.366$ ). El mayor contraste se observa en las RCv y el menor en las CxCx.



La comparación entre geoformas no manifiesta diferencias significativas ( $P=0.786$ ), como tampoco entre geoformas de un mismo uso ( $P=0.995$  para el análisis dentro de los bosques y  $P=0.454$  para los cultivos).



## USO DEL SUELO

No se registra diferencia significativa entre usos ( $P=0.128$ ). El valor promedio en las laderas sometidas a cultivo es de  $6.29 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  y en las que conservan bosque es de  $10.34 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ; es una reducción del 40% en los cultivos con respecto a los bosques.

Al comparar las geoformas ( $P=0.104$  en las RCx,  $P=0.369$  en las CxCx y  $P=0.463$  en las RCv), el mayor contraste se presenta en las RCv y el menor en las RCx.

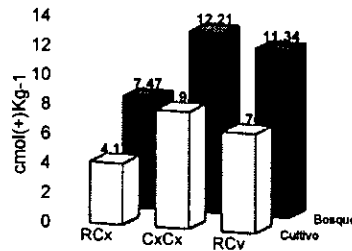
No se presentan diferencias significativas entre usos ( $P=0.312$ ). El contenido promedio de potasio en áreas de bosque es de  $0.68 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  y en cultivo de  $0.54 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ .

Lo mismo resulta al comparar cada una de las geoformas con ambos tipos de uso ( $P=0.985$  para RCx,  $P=0.867$  para CxCx y  $P=0.179$  para RCv). El mayor contraste se observa en las geoformas RCv.

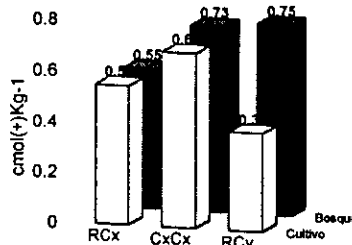
El análisis entre usos no reporta diferencia significativa ( $P=0.235$ ) con promedio para bosque de  $0.14 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  y para cultivo  $0.11 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ .

Lo mismo ocurre con las geoformas a partir de su uso ( $P=0.079$  en las RCx,  $P=0.319$  en las CxCx y  $P=0.500$  en las RCv). El contraste mayor se registra en las RCx.

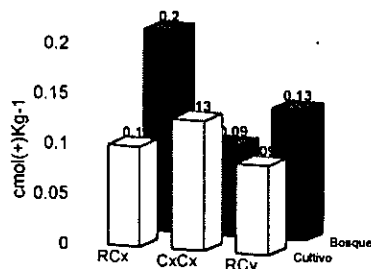
## GEOFORMAS

Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )

Ninguna comparación reporta diferencias significativas. Las geoformas tienen un valor de  $P=0.385$ ; y las geoformas por tipo de uso ( $P=0.587$  en bosque y  $P=0.653$  en cultivo).

Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )

Tampoco se registran diferencias entre geoformas ( $P=0.560$ ), ni entre geoformas de un mismo uso ( $P=0.748$  para bosque y  $P=0.124$  para cultivo).

Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )

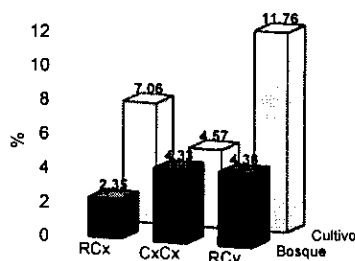
Para las posiciones topográficas, la diferencia no es significativa ( $P=0.416$ ), al igual que entre geoformas dentro de cada uso ( $P=0.141$  en bosque y  $P=0.561$  en cultivo).

## USO DEL SUELO

## Saturación de Aluminio (%)

No se registra diferencia entre usos ( $P=0.141$ ). El promedio para bosque es de 3.68% y para cultivo es de 7.80%.

Las comparaciones para cada una de las posiciones topográficas entre bosque y cultivo manifiestan valores no significativos ( $P=0.111$  para las RCx,  $P=0.947$  para las CxCx y  $P=0.308$  para las RCv).

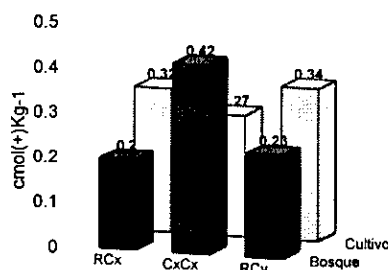


Tampoco existe diferencia significativa entre geoformas ( $P=0.491$ ), ni dentro de un solo uso ( $P=0.687$  en bosque y  $P=0.508$  en cultivo).

Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )

No se presenta diferencia significativa entre usos ( $P=0.85$ ), teniendo valores promedio en bosque de  $0.28 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  y en cultivo de  $0.31 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ .

En la comparación de cada una de las geoformas con los dos tipos de usos no se manifiesta diferencia ( $P=0.316$  en las RCx,  $P=0.626$  en las CxCx y  $P=0.560$  en las RCv).

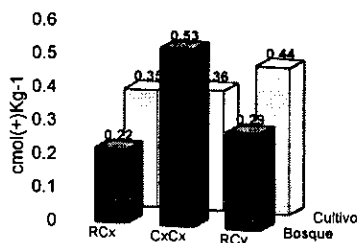


No hay diferencia entre geoformas ( $P=0.846$ ), ni entre geoformas de un mismo uso ( $P=0.607$  en bosque y  $P=0.929$  en cultivo).

Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )

La comparación entre usos no registra diferencia significativa ( $P=0.833$ ). El valor promedio para bosque es de  $0.35 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  y para cultivo  $0.38 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ .

Lo mismo sucede en cada posición topográfica ( $P=0.392$  para RCx,  $P=0.663$  para CxCx y  $P=0.554$  para RCv).



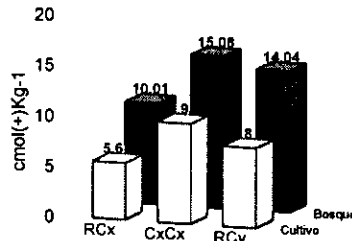
Entre geoformas no se registra diferencia significativa ( $P=0.721$ ), tampoco por tipo de uso ( $P=0.542$  en bosque y  $P=0.937$  en cultivo).

USO DEL SUELO

Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+)kg<sup>-1</sup>)

No se presenta diferencia significativa (P=0.080) entre usos. El valor promedio es de 7.88 cmol(+)kg<sup>-1</sup> para los sitios de cultivo y 13.04 cmol(+)kg<sup>-1</sup> para los de bosque.

No obstante, la comparación de usos por cada geoforma registró una ligerísima probabilidad en las laderas RCx (P=0.053), se presenta un contraste de 57% en los promedios de bosque y cultivo. Los otros dos tipos de geoformas reportan valores de P=0.355 en las CxCx y P=0.369 en las RCv. El valor promedio más alto, tanto para bosque como para cultivo, se registra en laderas CxCx y el más bajo en ambos usos en laderas RCx



No se encontró diferencia significativa en la comparación entre geoformas (P=0.401), ni entre geoformas por tipo de uso (P=0.630 para el bosque y P=0.615 para el cultivo).

Tabla 14 Niveles de significatividad en las diferencias entre valores promedio de los parámetros edáficos en el horizonte superficial de bosque y cultivo (ANOVA de una vía; n=6)

Parámetros		RCx <sup>(1)</sup>	CxCx <sup>(1)</sup>	RCv <sup>(1)</sup>	Bosque <sup>(2)</sup>	Cultivo <sup>(2)</sup>	Bosq/Cult. <sup>(3)</sup>
Físicos	Espesor (cm)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Humedad (%)	***	***	N.S.	N.S.	N.S.	***
	Densidad aparente (Mgm <sup>-3</sup> )	*	*	*	N.S.	N.S.	***
	Densidad real (Mgm <sup>-3</sup> )	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***
	Porosidad (%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*
	Arcilla (%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Limo (%)	N.S.	***	N.S.	*	N.S.	***
	Arena (%)	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	***
Químicos	pH agua	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Materia orgánica (%)	***	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***
	Carbono orgánico (%)	***	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***
	Nitrógeno total (%)	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Relación C/N	***	*	N.S.	N.S.	N.S.	***
	Fósforo extractable (mgkg <sup>-1</sup> )	N.S.	*	*	N.S.	N.S.	***
	Magnesio (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	*	N.S.	*	N.S.	N.S.	***
	Calcio (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Potasio (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Sodio (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Saturación de Aluminio (%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Aluminio intercambiable (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Acidez intercambiable (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

<sup>(1)</sup> Comparación entre bosque y cultivo  
<sup>(2)</sup> Comparación entre las tres geoformas  
<sup>(3)</sup> Comparación en general

\*\*\* Diferencia significativa P<0.005  
 \*\* Diferencia significativa P=0.005 a P=0.01  
 \* Diferencia significativa P=0.01 a P=0.053  
 N.S. Diferencia NO significativa P>0.053

Tabla 15 Media y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos para los grupos de combinaciones

Parámetros		Bosque			$\bar{X}$	Cultivo			$\bar{X}$
		RCx	CxCx	RCv		RCx	CxCx	RCv	
Físicos	Espesor (cm)	<i>ME D I A</i> <i>DESV. ESTAND.</i> 23	21	28	24	22	20	25	22
		14.84	7.36	17.27		3.89	3.14	4.96	
	Humedad (%)	79.8	62.7	74.1	72.2	41.5	43.7	59.8	48.3
		21.40	2.50	27.45		8.47	6.95	28.56	
	Densidad aparente (Mgm <sup>-3</sup> )	1.04	1.02	1.03	1.03	1.27	1.20	1.26	1.24
		0.19	0.16	0.21		0.10	0.09	0.11	
	Densidad real (Mgm <sup>-3</sup> )	2.03	1.95	1.99	1.99	2.20	2.10	2.15	2.15
		0.14	0.06	0.20		0.17	0.18	0.17	
	Porosidad (%)	49.2	47.7	47.7	48.2	42.1	42.6	40.7	41.8
	6.50	7.62	10.31		6.18	3.38	8.52		
Arcilla (%)	24.2	22.3	23.3	23.3	19.3	22.2	20.6	20.7	
	5.76	1.85	7.56		4.33	4.39	3.94		
Limo (%)	43.8	45.5	38.4	42.6	37.7	37.3	34.9	36.6	
	6.24	3.67	3.29		8.21	4.06	6.28		
Arena (%)	32.0	32.2	38.3	34.2	43.1	40.5	44.5	42.7	
	5.18	4.91	8.35		11.76	7.73	7.25		
Químicos	pH agua	5.4	5.2	5.1	5.2	5.1	5.1	5.2	5.1
		0.33	0.47	0.61		0.41	0.37	0.74	
	Materia orgánica (%)	17.98	12.87	17.45	16.1	7.39	9.19	9.22	8.6
		4.98	6.12	9.62		1.78	6.65	3.81	
	Carbono orgánico (%)	10.43	7.47	10.12	9.34	4.28	5.33	5.35	4.99
		2.89	3.55	5.58		1.03	3.86	2.21	
	Nitrógeno total (%)	0.56	0.44	0.38	0.46	0.35	0.43	0.38	0.39
		0.12	0.15	0.17		0.09	0.27	0.10	
	Relación C/N	18.73	16.78	26.50	20.66	12.33	12.28	13.80	12.80
		3.65	3.51	16.16		1.47	2.61	3.27	
	Fósforo extractable (mgkg <sup>-1</sup> )	7	5	3	5	9	14	15	13
		6.77	2.47	3.45		1.36	7.49	7.47	
	Magnesio (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	1.56	1.52	1.51	1.53	0.50	0.84	0.33	0.56
		0.58	1.46	1.12		0.71	0.95	0.32	
	Calcio (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	7.47	12.21	11.34	10.34	4.17	7.95	6.76	6.29
		4.28	9.86	9.55		1.47	5.08	11.19	
	Potasio (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.55	0.73	0.75	0.68	0.55	0.69	0.39	0.54
	0.35	0.52	0.59		0.22	0.29	0.18		
Sodio (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.20	0.09	0.13	0.14	0.10	0.13	0.09	0.11	
	0.12	0.04	0.09		0.04	0.08	0.06		
Saturación de Aluminio (%)	2.35	4.33	4.36	3.68	7.06	4.57	11.76	7.80	
	1.65	5.55	5.35		6.39	6.36	16.03		
Aluminio intercambiable (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.20	0.42	0.23	0.28	0.32	0.27	0.34	0.31	
	0.12	0.69	0.18		0.26	0.33	0.39		
Acidez intercambiable (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	0.22	0.53	0.29	0.35	0.35	0.36	0.44	0.38	
	0.17	0.82	0.24		0.31	0.49	0.55		
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	10.01	15.08	14.04	13.04	5.67	9.98	8.00	7.88	
	4.50	11.43	10.95		1.81	6.00	11.26		

## *5. Discusión de Resultados*

*El cultivo de papa es la causa fundamental de la deforestación en la cuenca*



La cuenca de estudio es una muestra del proceso de fragmentación en los bosques del Cofre de Perote y es la zona de mayor altitud transformada por la actividad agrícola. En ella se refleja la fuerte dependencia de los sistemas productivos a intereses comerciales forestales y agrícolas; también manifiesta el nivel de deterioro de los recursos naturales y la depresión socioeconómica generalizada en la montaña. El proceso de fragmentación responde a una lógica social que subordina las limitantes de índole natural; así, cada uno de los paisajes geocológicos en la cuenca muestra un diseño en función del régimen de propiedad y de las prácticas agrícolas que soporta. En ese sentido, los planteamientos de Godron y Forman (1983), y Turner (1989) en su momento, afirman que las interacciones bióticas y abióticas en los paisajes son indicadores de los cambios en el medio ambiente global. Lo anterior se expresa perfectamente en la montaña del Cofre de Perote debido a que las modificaciones que ha sufrido manifiestan graves repercusiones en toda la región central del estado.

El tipo de fragmentación del 46% de la superficie de la cuenca que comprende al parque nacional y corresponde al paisaje de alta montaña, se deriva de las perturbaciones originadas por la intensa deforestación y el pastoreo nómada de ganado menor, realizados tanto en el pasado como en la actualidad, todo lo cual se ve favorecido por la ausencia de normatividad y vigilancia. En este paisaje destaca una gran matriz irregular de bosque de *Pinus hartwegii* de densidad variable, y algunas áreas de recuperación natural. El 54% restante de la cuenca, correspondiente al paisaje geocológico de laderas onduladas con abetos, presenta una dualidad en el régimen de tenencia. Aquí los ejidatarios tienen posesión de la tierra y se encuentra establecido un núcleo poblacional, lo que ha propiciado una fragmentación del paisaje, cuyo diseño se rige por los intereses y necesidades del ejido. Este paisaje se conforma por áreas agrícolas y manchones de bosque de *Abies* y *Abies*-pino en distintos grados de perturbación. En algunos casos, dicha perturbación se debe no sólo a la tala de árboles, sino también a un periodo de asociación con cultivos. Actualmente, el 42.3% de la superficie de este paisaje se presenta muy fuertemente modificado debido a las prácticas agrícolas mal orientadas. También se conservan pequeños parches de bosque en sitios con abundante rocosidad, presencia de manantiales y corredores con estrato arbóreo muy perturbado.

Las 450 ha de la superficie ejidal de El Conejo localizadas dentro de la cuenca, se presentan modificadas por el uso agrícola. Primeramente, se deforestaron las parcelas cercanas al asentamiento dando preferencia a los sitios ondulados, con poca pendiente y mínima rocosidad; estas parcelas tienen 40 años sometidas a cultivo. Después, el interés por aumentar el volumen de producción lleva a los ejidatarios a incorporar tierras más distantes que representan mayor inversión pero que aseguran mayor calidad y volumen de las cosechas, en un proceso paulatino de desplazamiento a tierras recién deforestadas. Todo ello bajo un modelo utilitarista de los recursos.

Los pobladores comprenden la magnitud y la severidad del deterioro en el paisaje, hasta que se manifiestan las formas degradativas tales como cárcavas, asolvamiento, derrumbes, etc., por ejemplo, con la desaparición de los manantiales, donde no se percibe el problema hasta que la escasez del agua afecta a los pobladores. No obstante, existen daños no visibles como la contaminación, el

empobrecimiento y la toxicidad del suelo y agua, entre otros, que logran tener a menudo mayores consecuencias.

En general, el presente estudio confirma lo dicho por Jardel (1989) respecto a que la explotación forestal en la región ha provocado cambios en la estructura y composición biológica de los bosques con ciertas consecuencias ecológicas importantes. En este caso, los resultados confirman la hipótesis de que la intervención humana es el factor determinante en la modificación del paisaje y de las propiedades esenciales del suelo en detrimento de su potencialidad.

Shoji, Dahlgren y Nanzyo (1993) reportan de manera general que el uso agrícola continuo tiene un grave efecto sobre las propiedades físicas de los Andosoles y puede acelerar su erosión. Señalan que se reduce el espesor del horizonte húmico, se degrada la estructura y se propicia la compactación por el uso de maquinaria. Los mismos autores indican que el cultivo modifica las propiedades químicas y biológicas, causando la disminución del contenido de carbono orgánico, el aumento del contenido en bases, el mejoramiento de la acidez con el encalado, el enriquecimiento en fósforo con la fertilización, la acumulación de metales pesados con el uso de químicos agrícolas, etc. En ocasiones, puede llegar a cambiar el tipo de suelo, por ejemplo en el noreste de Japón los suelos *Melanudands* con 90 años de cultivo tienden a presentar características de *andic Inceptisols*, *alic Hapludands* o *alic pachic Melanudands*.

En la cuenca, las propiedades edáficas estudiadas manifiestan una tendencia hacia la degradación, ante un cambio de uso del suelo, lo cual se ve reflejado en el nivel de significatividad de los valores. En la comparación de usos, los parámetros con diferencias altamente significativas son el contenido de humedad, la densidad aparente, la densidad real, los contenidos de limo y de arena, la materia orgánica, la relación C/N, el fósforo extractable y el magnesio. El horizonte superficial de los suelos de bosque es altamente orgánico, de textura limosa a franca, rico en nutrientes, medianamente poroso y con un contenido elevado de humedad. Los mismos suelos cultivados presentan una textura más arenosa, así como una porosidad y una retención de agua más bajas.

El contenido de carbono orgánico disminuye globalmente de 47% ( $P < 0.005$ ), correspondiendo a una pérdida de 43.5 mg/g en un período de 40 años. Estos datos confirman la tendencia general del carbono orgánico del suelo a disminuir cuando se convierte un bosque a un cultivo (Mann, 1986; Burke *et al.*, 1989; Arrouyais y Pélissier, 1994); se aproximan a los de Matson *et al.* (1997) que señalan que la pérdida de materia orgánica en zonas templadas puede alcanzar el 50% del carbono original en unos 25 años. Sin embargo, este cambio global no refleja la variabilidad espacial del contenido de carbono orgánico en el suelo a nivel del paisaje. Aunque el análisis de varianza no haya establecido diferencias significativas, se observan cambios de carbono orgánico entre las tres posiciones topográficas, tanto de bosque como de cultivo. La disminución más importante se registra en las laderas RCx con una pérdida de 61.5 mg/g.

A la reducción del contenido de materia orgánica se asocia un aumento en la densidad aparente ( $P < 0.05$ ) y una disminución de la porosidad ( $P < 0.005$ ) y sobretodo de la humedad del suelo ( $P < 0.005$ ), lo cual denota cierto grado de compactación. La relación inversa entre la materia orgánica

y la densidad aparente también ha sido establecida en otros tipos de suelo sometidos a largos períodos de cultivo (Bauer y Black, 1981). La explicación consiste en que la resistencia del suelo aumenta gradualmente con el tiempo después de una labranza y ésta crea una condición de vacío interno, que se caracteriza por una alta energía potencial. El suelo intenta recobrar el nivel de energía potencial más bajo mediante los mecanismos de redistribución del agua en el suelo, de rearreglo de partículas de floculación y de cementación (Dexter, 1988 y 1991 cit en: Hatfield y Karlen, 1994). El resultado es una disminución de volumen (de porosidad) y un aumento de la densidad aparente.

En Andosoles Nanzyo, Dahlgren y Shoji (1993) confirman que, en particular, la densidad aparente y la retención de agua están muy relacionadas con el humus, pero también con los minerales arcillosos paracrystalinos. Estas propiedades están fuertemente dependientes del carbono orgánico en los bosques con contenidos superiores a 6%, mientras que en los cultivos el carbono orgánico influye menos.

La variabilidad espacial de la densidad aparente y de la porosidad es reducida y no existen diferencias significativas entre geoformas. Las diferencias de humedad del suelo son más acentuadas (aunque no significativas), manifestándose la mayor variabilidad en las laderas RCv (27.45 en bosque y 28.56 en cultivo).

La relación C/N más baja ( $P < 0.005$ ) indica que la materia orgánica se humifica más rápido en terrenos de cultivo que en bosques, donde la hojarasca de coníferas, rica en lignina, es de descomposición lenta. Este hecho se debe probablemente a una mejor actividad biológica en el suelo cultivado. Dicha tendencia se manifiesta también en otros suelos cultivados, pero la diferencia es que los contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno de los Andosoles son más elevados. En particular, se observa que a pesar de que el carbono orgánico disminuye casi 50% en los cultivos, el contenido de nitrógeno se reduce poco (diferencia no significativa), lo que se debe a la propiedad de carga variable de estos suelos, que permite la retención de nitratos.

Los andosoles cultivados contienen más del doble de fósforo extractable que los de bosque ( $P < 0.005$ ), lo cual resulta de las aplicaciones de fertilizante fosfatado para incrementar su fertilidad natural, que es casi siempre baja, al igual que la tasa de aprovechamiento por parte de las plantas del fósforo aplicado mediante fertilizante (Shoji, Nanzyo y Dahlgren, 1993). Por otro lado y debido a que en estos suelos los cationes intercambiables de calcio y magnesio se vuelven parcialmente insolubles al reaccionar con el fosfato, se deduce que la disminución de contenido de estos elementos en los terrenos cultivados ( $P < 0.005$  para magnesio) se debe en parte a este fenómeno, y parte a la lixiviación y a la absorción de los cultivos.

El aluminio intercambiable se duplica. Aún así, el contenido de este catión ( $< 2 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) es más bajo de lo característico para los Andosoles típicos y por ello no se espera ningún efecto tóxico para las plantas. Se evidencia una pérdida de nutrientes debido a que el contenido de cationes intercambiables disminuye sensiblemente con respecto al bosque, lo cual puede ser causado por la extracción de las plantas y/o por lixiviación hacia el subsuelo. Esta disminución de los cationes debería incrementar la acidez del suelo, pero el pH no se modifica de forma considerable. Por lo tanto, se



confirma que en los Andosoles la acidificación no se acentúa por la pérdida de nutrientes como en muchos otros suelos, sino que está regida por un mecanismo de "amortiguamiento" que depende de los minerales (alofanos) y de la materia orgánica, que se manifiesta a través de la carga variable del suelo (Nanzyo, Dahlgren y Shoji, 1993).

Se ha documentado que la deforestación puede producir una disminución de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), sobre todo en suelos desarrollados sobre materiales muy intemperizados, en donde la CIC depende más de la materia orgánica que de la fracción mineral. En los Andosoles existe también una correlación lineal positiva entre la CIC y el contenido de carbono orgánico (Nanzyo, Dahlgren y Shoji, 1993); sin embargo, por las características de carga variable, la CIC no es muy útil para definir la capacidad de retención de cationes en estos suelos, razón por la cual se usa la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICe que es la suma de las bases intercambiables y el aluminio intercambiable). Aunque el análisis de varianza no indica una diferencia significativa, se observa que la deforestación tiende a disminuir la CICe (de 13.0 cmol(+)kg<sup>-1</sup> en cultivo), cambio que se debe a la reducción del contenido de carbono orgánico y posiblemente a una mayor lixiviación. Estos resultados indican que la deforestación no solo baja la CIC en suelos muy desarrollados (*Acrisol*, *Ultisol* y *Oxisol*) como lo afirma Allen (1985), sino también en suelos de poco desarrollo como los Andosoles.

De acuerdo con otras investigaciones, los sitios con bosque y las posiciones cóncavas presentan mayor contenido de humedad que las convexidades (Birkeland, 1984; White *et al.*, 1992), y son las de mayor resistencia ante los cambios de bosque a cultivo. El contenido de materia orgánica es más alto en los suelos de bosque que en los de cultivo, lo cual confirma la dependencia que se mantiene con la cubierta vegetal. Sin embargo, en los sitios antiguamente cultivados y ahora en descanso, a veces hasta de cinco años, la reducción del contenido de materia orgánica no es tan notoria, debido al establecimiento de un estrato herbáceo que contribuye con humus y materia vegetal, o porque el uso agrícola de corto tiempo (durante tres o cuatro ciclos), no ha permitido una mayor pérdida de materia orgánica.

Al contrario de lo que comúnmente sucede, no existe mayor acumulación de materia orgánica al menos en el horizonte superficial de los sitios cóncavos de bosque, lo que sugiere que no se presenta algún movimiento lateral ni longitudinal de compuestos orgánicos (Ortiz y Ortiz, 1980). Para verificar este aspecto se tendrían que hacer estudios de la variabilidad espacial del contenido de materia orgánica y del espesor del horizonte orgánico en todo el perfil del suelo y en una sola catena, a lo largo de un transecto que enlace las condiciones de convexidad y concavidad.

Se esperaba que las posiciones CxCx manifestaran las modificaciones más importantes, considerando que las pendientes determinan los procesos erosivos, pero no fue así debido a dos posibles razones primordiales: *a)* las geoformas CxCx tienen menor tiempo de cultivarse que las demás; normalmente las convexidades presentan alta rocosidad y pedregosidad, por lo que los trabajos de preparación de la tierra son muy costosos y sólo en condiciones de buen mercado puede ser redituable el uso de esos sitios y *b)* los procesos erosivos no han sido suficientemente determinantes para transformar el suelo.

Las unidades de ladera en posición RCx muestran mayor número de parámetros físicos y químicos con diferencias estadísticamente significativas, por lo que en ellas el horizonte superficial del suelo se modifica con mayor facilidad al cambiar el uso forestal. El contenido de humedad, la materia orgánica, los contenidos de magnesio y calcio y por ende, la capacidad de intercambio catiónico disminuyen en una proporción de casi la mitad o más. La relación C/N se reduce a una tercera parte. Se transforman o lixivian las arcillas en una quinta parte, mientras que los limos en una décima. La densidad aparente se incrementa, tal vez por compactación, provocando que disminuya la capacidad almacenadora de agua y la porosidad. Los contenidos de aluminio se elevan en una proporción cercana al 200% y particularmente, el contenido de fósforo aumenta en casi un 30%, debido a la aplicación de compuestos químicos para los cultivos.

La labranza modifica la estructura del suelo y en zonas secas contribuye a la erosión eólica, debido a la fracturación y fragmentación de los agregados (Hatfield y Karlen, 1994). Aunque en este trabajo no ha sido comprobado, se presume que esta es la razón por la cual el contenido de limos es significativamente más bajo y el de arenas más alto ( $P < 0.005$ ) en los Andosoles cultivados, por el efecto de las tolvaneras que remueven durante la época seca grandes cantidades de partículas finas del suelo desnudo. Así, el suelo se empobrece en limos y se vuelve más arenoso. Las laderas CxCx son las que registran los cambios granulométricos más acentuados e las fracciones de limos y arenas, porque son las más expuestas a la acción de la erosión eólica.

De acuerdo con los datos obtenidos, los Andosoles háplicos pierden el 47% del carbono orgánico original, el 15% del nitrógeno total, el 40% de la CICe y su densidad aparente se incrementa 1.2 veces cuando la cubierta vegetal es removida. Según los modelos de Allen (1985), la magnitud de estos cambios es intermedia entre la de un suelo poco desarrollado y la de un suelo muy evolucionado. Esto indicaría que el grado de deterioro de los suelos estudiados ya supera al de un suelo de poco desarrollo como es el caso de un Andosol.

Sin embargo, los valores relativos indican también que los cambios no son tan severos como parecen, debido a que los niveles iniciales de carbono orgánico, nitrógeno, potasio y calcio en particular, son altos. Por ejemplo, las evaluaciones mediante normas válidas para todos los suelos (Etchevers, 1988) indicarían que el carbono orgánico conserva un nivel muy alto (4.99%) en los terrenos cultivados, al igual que el nitrógeno, y que el potasio y el calcio sólo bajan a niveles medios, por lo que globalmente la fertilidad química no sufre grandes trastornos. En realidad, los cambios ocurridos son más importantes cuando se evalúan en términos absolutos.

A título comparativo, los *Borolls* (*Mollisols* con régimen de temperatura del suelo *figido*, *críico* o *pergéllico*) investigados por Bauer y Black (1981) pierden en promedio 22.6% de su carbono orgánico inicial, equivalente a 3.8 mg/g. El mismo porcentaje aplicado a los Andosoles equivaldría a una pérdida de 20.9 mg/g. Esto significa que a porcentajes equivalentes, el Andosol pierde una cantidad de carbono orgánico 5.5 veces mayor a la de un *Boroll*, porque su contenido inicial es mucho más elevado. Se concluye que la desforestación de los Andosoles háplicos de la cuenca provoca importantes pérdidas

de carbono orgánico y de elementos químicos, pero aun así conservan todavía un nivel de fertilidad aceptable.

La región del Cofre de Perote y particularmente la cuenca de estudio están constituidos por ecosistemas forestales cuyo potencial se encuentra vinculado a las actividades silvícolas más que a las agrícolas. Por tal motivo, se considera prioritario incrementar la superficie boscosa, máxime que se trata de un área natural protegida y de una zona de cabecera de cuencas importantes para una amplia región del estado. La función hidrológica de la cuenca está íntimamente relacionada con las cualidades hídricas casi exclusivas de este tipo de suelo, las cuales se encuentran en riesgo severo de degradación al transformar su condición natural.

Incrementar la superficie de bosque conlleva una propuesta de reforestación natural con fines de aprovechamiento o de recuperación de las funciones del ecosistema. En ese sentido, es primordial tomar en cuenta que las posiciones convexas (CxCx y RCx) son más susceptibles a la transformación del paisaje y pueden ser los sitios propios para su recuperación forestal que redunde en recuperación de las cualidades del suelo. Con esa finalidad se sugiere: **a)** no volver a cultivar las parcelas en sitios convexas que se encuentran en descanso, sino proteger su recuperación natural o inducir su reforestación, **b)** conciliar las necesidades económicas de los poseedores de parcelas con la potencialidad del suelo, **c)** transformar algunas parcelas agrícolas en silvícolas de producción integral, y **d)** reforestar los corredores por su importancia en la dinámica del paisaje.

Por cuanto a la agricultura existente, es necesario atender a la vocación forestal del área y reflexionar en torno a la extensión y dimensión que ha alcanzado el cultivo de papa, analizando la conveniencia de seguir con el monocultivo indiscriminadamente. Lo anterior es urgente desde el punto de vista económica y ecológica. Más aún, habría que adaptar la agricultura a las condiciones topográficas, edáficas, técnicas y de mercado, dando paso a un desarrollo sustentable.

En este trabajo se corrobora que la capa superficial del suelo en parcelas agrícolas, ubicadas en posiciones cóncavas y con poca pendiente, registran menores transformaciones y ofrecen menores riesgos en la agricultura. Además se comprueba que algunas propiedades hídricas del suelo como la capacidad de retención de agua se encuentra en riesgo latente de modificarse irreversiblemente. Por ello, es recomendable: **a)** evitar el sistema de monocultivo intensivo, sobre todo de cultivos que requieran de altos montos para insumos; **b)** implementar un sistema diversificado con un manejo rotacional de periodos cortos; **c)** aplicar sistemas agrícolas basados en cultivos favorables para la recuperación de la fertilidad natural del suelo; **d)** considerar la utilización de abonos verdes y el control biológico de plagas; **e)** experimentar los cultivos compatibles y/o complementarios para constituir parcelas mixtas de producción sostenible, con cultivos de cobertura para protección del suelo y; **f)** iniciar la agricultura orgánica. En resumen, se debe fomentar un sistema de cultivo integral que favorezca las cualidades físicas, químicas y biológica del suelo, más que deteriorarla.

Cabe reconocer los beneficios de las prácticas de conservación y protección del suelo que se han venido realizando en la zona, como la construcción de zanjas, terrazas y bordos en torno a algunas

curvas de nivel en las parcelas agrícolas, con lo que se ha contribuido a minimizar el proceso erosivo del suelo agrícola. La permanencia de estas prácticas en parcelas que invariablemente tengan que ser agrícolas redundará en su protección.

Por otro lado, el pastoreo libre provoca severos daños en el suelo que se manifiestan primordialmente por la compactación debida al constante e intenso pisoteo del ganado; sin llegar a ser irreversible transforma la estructura del suelo. Existen técnicas biológicas y mecánicas para descompactar y permitir el restablecimiento de la estructura edáfica; unas mediante la permanencia de organismos vivos en el suelo (lombrices, bacterias, etc.), y otras con el uso de herramientas y maquinaria para aflojar las capas superficiales del suelo, pero que resultan más costosas. Por ello es necesario mantener la vida orgánica del suelo para asegurar su protección.

En ese sentido, los habitantes de la cuenca son los primeros en comprender el proceso de transformación del paisaje, pero experimentan una disyuntiva entre sobrevivir con sus costumbres agrícolas, aprovechando los apoyos gubernamentales impulsados por una planeación regional equivocada y/o encontrar por sí mismos, la estrategia de manejo sustentable de sus recursos. Esto refleja con toda seguridad la falta de un plan de manejo que oriente y regule las actividades y las acciones dentro del Parque Nacional, en cuya estrategia se concilien los intereses conservacionistas y las necesidades productivas de los habitantes.

## 6. Conclusión

*Los sistemas agrícolas en la zona requieren de una adecuación urgente*



El presente estudio tiene la virtud de ser el primero en su tipo, que se realiza en la región del Cofre de Perote. Su aportación es tal vez, el enfoque geográfico aplicado para abordar un estudio edafológico, en donde lo primordial es conocer el paisaje geográfico y ecológico (geoecológico) que explica tanto el desarrollo como la dinámica de evolución del suelo. Así, la elaboración de los mapas de geoformas, que ilustra la forma de las laderas y el de vegetación que muestra los grados de cobertura arbórea en las comunidades vegetales, representa la base en la caracterización del área y sus paisajes, y permite la definición de la muestra más adecuada.

Con este trabajo se evidencia la relación establecida entre las propiedades del suelo, las formas del relieve y la cubierta vegetal. Se comprueba que el cambio de bosque a cultivo transforma las propiedades físicas y químicas de la capa superficial del suelo. Asimismo, se identifica una mayor susceptibilidad ante las transformaciones, en sitios con laderas convexas. Con lo cual se dan pautas para orientar el destino y uso del suelo en la zona.

Considerando que los suelos de la cuenca son de régimen hídrico *ústico*, intermedio entre el húmedo y el árido, sus características parecen indicar que existe todavía, un predominio de alfano, razón por la cual son suelos muy frágiles a las transformaciones de su ambiente natural, al grado de perder propiedades de forma irreversible.

La deforestación y las actividades agrícolas modifican algunas de las más importantes propiedades de los Andosoles de esta cuenca. Los resultados sugieren una tendencia a la degradación de la estructura natural del suelo, de la materia orgánica y, en menor grado, de la textura, lo cual se traduce en una disminución de la retención de agua y de los nutrientes. Especialmente la pérdida de carbono orgánico tiene importantes repercusiones ambientales en la función reguladora que cumple la montaña. Los suelos desforestados se desecan fácilmente y contribuyen menos al abastecimiento de agua que los forestales. Asimismo, se empobrecen de tal forma que recuperar su fertilidad natural se vuelve incosteable.

En casi cinco décadas de explotación del recurso suelo, algunas propiedades esenciales de estos Andosoles, se han perdido en niveles superiores al 50%. La sobreposición de dos regímenes de tenencia de la tierra, así como el agotamiento de los sistemas agrícolas y ganaderos convencionales en la cuenca, exigen un plan integral cuyas acciones contribuyan a frenar el deterioro y restaurar el paisaje original; más aún tratándose de un parque nacional.

En la cuenca, como en otras regiones marginadas del país, el agotamiento en los sistemas productivos conlleva un abandono de terrenos agrícolas, de modo que el suelo experimenta una posibilidad de recuperación dada por la circunstancia de crisis económica y social de los campesinos. En ese sentido, este trabajo es una aportación para el diseño de planteamientos que reordenen las actividades agropecuarias en la cuenca. Dichos planteamientos deberán considerar las restricciones propias de los sitios convexas y restringir las actividades agrícolas preferentemente a sitios cóncavos o rectos de poca inclinación del terreno y sometido a un sistema de manejo rotacional que armonice con la dinámica del suelo.

Además se requiere una estrategia que dé continuidad a algunas acciones realizadas por los gobiernos federal, estatal y municipal que interesados o bajo presión de la sociedad civil, dedican cuantiosas inversiones en proyectos productivos que terminan a la par que el régimen de gobierno, quedando como simples paliativos.

## *7. Bibliografía*

*Proceso de uso agrícola y abandono de parcelas en el bosque de Abies*



- Aguilera, H. N. 1989. **Tratado de Edafología de México**. Tomo 1. Laboratorio de Investigación de Edafología. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 222 p.
- Allen, J. C. 1985. **Soil response to forest clearing in the United States and the tropics: geological and biological factors**. *Biotropica*. 17(1):15-27
- Arrouyais, D. y P. Pélissier. 1994. **Changes in carbon storage in temperate humic loamy soils after forest clearing and continuous corn cropping in France**. *Plant Soil*. 160:215-223
- Barnhisel, R. y P. M. Bertsch. 1982. **Aluminum**. In: Page, A.L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 275-300*
- Bauer A. y A. L. Black. 1981. **Soil carbon, nitrogen and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1166-1170
- Birkerland, P. W. 1984. **Soils and geomorphology**. Oxford University Press. N.Y. 320 p.
- Boege, S. E.; H. García y P. Gerez. 1995. **Las Sierras de Veracruz y las opciones de manejo de sus recursos naturales**. En: Boege, S.E., H. García y P. Gerez (Coords). *Alternativas al Manejo de las Laderas en Veracruz*. Red de Información Ambiental de Veracruz. CIESAS-Golfo. INAH-Ver. SEMARNAP Friedrich Ebert. México. pp. 9-31
- Bouyoucos, G. J. 1962. **Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil**. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Bremner, J. M. y C. S. Mulvaney. 1982. **Nitrogen Total**. In: Page, A.L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 595-623.*
- Brubaker, S. C.; A. J. Jones; D. T. Lewis y K. Frank. 1993. **Soil properties associated with landscape position**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:464-470
- Buol, S. W., F. D. Hole y R. J. McCracken. 1981. **Génesis y Clasificación de Suelos**. Trillas. México. 417 p.
- Burke, I. C.; C. M. Yonker; W. J. Parton; C. V. Cole; K. Flach y D. S. Schimel. 1989. **Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:800-805
- CCPNCP-CID, 1991-1995. **Talleres de diagnóstico participativo**. Consejo de Comunidades del Parque Nacional Cofre de Perote (CCPNCP) y Consultoría e Investigación para el Desarrollo (CID A. C.). Memorias. Documentos inéditos.
- Chapela, G. 1992. **Sector Social Forestal: Unas propuestas para competir**. EL COTIDIANO. UAM. 48(junio):74-78
- Chiappy, J. C. 1996. **Modificaciones Ecológico-Paisajísticas: perspectivas en el planeamiento territorial y la preservación de la biodiversidad**. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. Apéndice. pp. 120-123
- Dahlgren, R.; S. Shoji y M. Nanzyo. 1993. **Mineralogical characteristics of volcanic ash soils**. In: Shoji, S., M. Nanzyo y R.A. Dahlgren. *Volcanic Ash Soils. Genesis, properties and utilization. Developments in soil science 21. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp. 101-144*



- Delcourt, P. A. y H. R. Delcourt. 1992. **Ecotone Dynamics in Space and Time**. In: Hansen, J. A. y F. Di Castri (Eds.). *Landscape Boundaries. Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. Springer-Verlag. New York, USA. pp. 19-54
- Dewis, J. y F. Freitas. 1984. **Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas**. FAO/UNESCO, Boletín de Suelos de la FAO No. 10
- Di Castri, F. y A. J. Hansen. 1992. **The Environment and Development Crises as Determinants of Landscape Dynamics**. In: Hansen, J. A. and F. Di Castri (Eds.). *Landscape Boundaries. Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. Springer-Verlag. New York, USA. pp. 3-18
- Dubroeuq, D.; A. Campos y D. Geissert. 1992. **Comportamiento de los andosoles negros con respecto al agua en el volcán Cofre de Perote**. *Terra* 10(1):51-58.
- Etchevers, J. D. 1985. **Un cuarto de siglo de investigación en los suelos volcánicos de México**. Serie Cuadernos de Edafología 1. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 1-14
- \_\_\_\_\_. 1988. **Análisis Químico de Suelos y Plantas**. Notas de Clase. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 355-371
- FAO-UNESCO. 1990. **Mapa Mundial de Suelos. Leyenda revisada**. FAO-UNESCO-ISRIC. Soc. Español de Ciencia del Suelo. Santiago de Compostela. Esp. 142 p.
- Forman, R. T. y M. Godron. 1986. **Landscape Ecology**. John Wiley. N.Y. 603 p.
- Forman, R. T. T. 1995. **Some principles of landscape and regional ecology**. *Landscape Ecology*. 10(3):133-142
- Galicia, L.; F. García Oliva y J. López Blanco. 1995. **Efecto de la estructura jerárquica del relieve en la distribución de las características físicas de los suelos en una cuenca tropical estacional mexicana**. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Número especial* 3:53-75
- Geissert, D. 1994. **Cartografía, génesis y restricciones al uso de los suelos de origen volcánico de la región natural Cofre de Perote, Veracruz, México**. Informe técnico CONACYT No 0796-N9110, Inst. de Ecología Xalapa, Ver., 127 p.
- Geissert, D., D. Dubroeuq, A. Campos y E. Meza. 1994. **Paisajes geomorfoedafológicos de la región volcánica Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México**. Cartografía. Escala 1:75,000. Inst. de Ecol., ORSTOM, CONACYT. Xalapa, Ver.
- Gerez, F. P. 1982. **Historia del uso del suelo en la zona semi-árida Poblana-Veracruzana**. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 68 p.
- \_\_\_\_\_. 1983. **Crónica del uso de los recursos naturales en la cuenca Perote-Libres**. En: *El Cofre de Perote. Investigaciones ecológicas en un área conflictiva. Cuadernos de divulgación* 9. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. pp 11-16
- \_\_\_\_\_. 1985. **Uso del suelo durante cuatrocientos años y cambios fisonómicos en la zona semi-árida poblano-veracruzana, México**. *BIOTICA* 10(2):123-144.
- \_\_\_\_\_. 1992a. **¿Qué pasa en el Cofre de Perote?**. En: Boege E. y H. Rodríguez (Coords). *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz*. CIESAS-GOLFO, Inst. de Ecología, Friedrich Ebert Stiftung. pp. 151-157

- \_\_\_\_\_. 1992b. **Mitos y realidades sobre la actividad forestal en Estados Unidos y México.** EL COTIDIANO. UAM. 48(junio):62-73
- Gobierno del Estado de Veracruz. 1989. **Programa de Desarrollo Integral del Cofre y Valle de Perote.** Solidaridad, Programa Estatal. 22 p.
- Godron, M. y R. T. T. Forman. 1983. **Landscape Modification and Changing Ecological Characteristics.** In: Mooney, H.A. y M. Godron (Eds.). *Disturbance and Ecosystems.* Vol. 44 Springer-Verlag. Germany. pp. 11-45
- Harris, L. D. 1984. **The fragmented forest.** The University of Chicago Press, Chicago & London. 211 p.
- Hatfield, J. L. y D. L. Karlen. 1994. **Sustainable agricultural systems.** Lewis Publ. Boca Raton, USA. 316 p.
- Hobbs, J. R. y A. D. Saunders. (Eds.). 1993. **Reintegrating. Fragmented landscapes. Towards Sustainable production and nature conservation.** Introduction. Springer-Verlag. Australia. 325 p.
- Holland, M.; P. Risser y R. Naiman. (Eds.). 1991. **Ecotones. The role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments: Introduction.** Chapman & Hall. N.Y. London. pp. 1-7
- INEGI. 1984. **Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. E14-3 Veracruz.** Escala 1:250,000 Dirección General de Geografía, SPP.
- \_\_\_\_\_. 1988. **Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz.** INEGI Aguascalientes, Ags. México.
- INEGI-ORSTOM. 1991. **Cuaderno de Información Básica. Región Cofre de Perote.** Anexo Cartográfico. Aguascalientes, México. 30 mapas. 58 p.
- I.T.C. 1992. **The Integrated Land and Water Information System (ILWIS).** Department. International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences Enschede, The Netherlands.
- Jardel, E. J. 1986. **Efecto de la explotación forestal en la estructura y regeneración del bosque de coníferas de la vertiente oriental del Cofre de Perote, Veracruz. México.** BIOTICA. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. INIREB. 11(4):247-270
- \_\_\_\_\_. 1989. **Política forestal, conservación y aprovechamiento de los recursos forestales en México.** Ponencia presentada en: IX Seminario de Economía Agrícola del Tercer Mundo. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. D. F. 33 p.
- Knudsen, D.; G. A. Peterson y P. F. Pratt. 1982. **Lithium, Sodium and Potassium.** In: Page, A. L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 225-246
- Lanyon, L. E. y W. R. Heald. 1982. **Magnesium, Calcium, Strontium and Barium.** In: Page, A. L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 247-262
- Lugo, H. J. 1989. **Diccionario Geomorfológico.** Instituto de Geografía. Coordinación de Ciencias. UNAM. México. 337 p.
- Mann, L. K. 1986. **Changes in soil carbon storage after cultivation.** Soil Sci. Soc. Am. J. 142:279-288

- Matson, P. A.; W. J. Parton; A. G. Power y M. J. Swift. 1997. **Agricultural intensification and ecosystem properties**. Science. 277:504-509
- Mc Lean, E. O. 1982. **Soil pH and lime requirement**. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 199-223
- Meza, P. E. 1996. **Estudio comparativo de las propiedades físicas e hídricas entre los andosoles de cultivo y de bosque del Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México**. Tesis de Maestría. UNAM. México, D.F. 184 p.
- Millar, C. E.; L. M. Turk y H. D. Foth. 1975. **Fundamentos de la Ciencia del Suelo**. CECSA. México. 527 p.
- Munsell. 1954. **Soil Color Charts**. Munsell Color Co. Inc. Maryland. USA.
- Nanzyo M.; R. Dahlgren y S. Shoji. 1993. **Chemical characteristics of volcanic ash soils**. In: Shoji, S., M. Nanzyo y R.A. Dahlgren. Volcanic Ash Soils. Genesis, properties and utilization. Developments in soil science 21. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp. 145-187
- Narave, F. H. 1985. **La Vegetación del Cofre de Perote, Veracruz, México**. BIOTICA. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. INIREB. 10(1):35-64.
- Nelson, D. W. y L. E. Sommers. 1982. **Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter**. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 539-579
- Olsen, S. R. y L. E. Sommers. 1982. **Phosphorus**. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. AGRONOMY. Num. 9 American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. USA. pp. 403-430
- Ordóñez, M. J. y F. García-Oliva. 1992. **Zonificación ecoproductiva de Veracruz**. En: Boege, E. y H. Rodríguez (Coords). Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz. Instituto de Ecología, Fundación Friedrich Ebert y CIESAS-Golfo. México. pp. 31-49
- Organizaciones Forestales. 1992. **Declaración del Foro Nacional sobre el Sector Social Forestal**. EL COTIDIANO. UAM. 48(junio):49-52
- Ortiz, V. B. y A. Ortiz. 1980. **Edafología**. 3a. Edición. UACH. Chapingo, México. 331 p.
- Ramírez, R. F. 1983. **Situación actual del Parque Nacional Cofre de Perote, Ver. y su importancia como una alternativa del uso del suelo**. En: Golberg, A. D. (Comp.). El Cofre de Perote. Investigaciones ecológicas en un área conflictiva. Cuadernos de divulgación 9. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. pp. 51-58.
- Robles, M. 1983. **El aprovechamiento de la madera en la región del Cofre de Perote**. En: Golberg, A. D. (Comp.). El Cofre de Perote. Investigaciones ecológicas en un área conflictiva. Cuadernos de divulgación 9. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. pp. 59-62.
- Rosignol, J. P. 1987. **Los Estudios Morfoedafológicos en el Área Xalapa-Coatepec, Veracruz**. En: Geissert, D. y J. P. Rosignol (Coords). La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales. Conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver., 87 p.

- \_\_\_\_\_. 1987. **Mapas de capacidades de usos agrícola, pecuario y forestal del área Xalapa-Coatepec, Ver.** Escala 1:75,000. INIREB-ORSTOM. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver.
- Rossignol, J. P. y D. Geissert. 1987. **Mapa de Recursos en Tierras del área Xalapa-Coatepec, Ver.** Escala 1:75,000. INIREB-ORSTOM. Inst. de Ecología, Xalapa, Ver.
- Rossignol, J. P.; D. Geissert; A. Campos y J. Kilian. 1987. **Mapa de unidades morfoedafológicas del área Xalapa-Coatepec, Ver.** Escala 1:75,000. INIREB-ORSTOM-CIRAD. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver.
- SEMARNAP. 1996. **Programa de áreas naturales protegidas de México 1995-2000.** Instituto Nacional de Ecología. Semarnap. México. 139 p.
- Shoji, S.; R. Dahlgren y M. Nanzyo. 1993. **Genesis of volcanic ash soils.** In: Shoji, S., M. Nanzyo y R.A. Dahlgren. *Volcanic Ash Soils. Genesis, properties and utilization. Developments in soil science 21.* Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp. 37-71
- Shoji, S.; M. Nanzyo y R. Dahlgren. 1993. **Productivity and utilization of volcanic ash soils.** In: Shoji, S., M. Nanzyo y R.A. Dahlgren. *Volcanic Ash Soils. Genesis, properties and utilization. Developments in soil science 21.* Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp. 209-251
- Soil Survey Staff. 1992. **Keys to Soil Taxonomy.** 5th edition. SMSS Technical Monograph No. 19. Blacksburg, Virginia: Pocahontas Press, Inc. 556 p.
- Stone, J. R.; J. W. Gilliam; D. K. Cassel; R. B. Daniels; L. A. Nelson y H. J. Kleis. 1985. **"Effect of soil erosion and landscape position on the productivity of piedmont soils"**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:987-991
- Summerfield, M. A. 1991. **Global Geomorphology. An Introduction to the study of landforms.** Longman Scientific & Technical. England-Singapore. pp. 163-189.
- Tricart, J. y J. Kilian. 1979. **La Ecogeografía y la Ordenación del Medio Natural.** Ed. Anagrama, Barcelona, España. 288 p.
- Turner, G. M. 1989. **Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process.** *An. Rev. Ecol. Syst.* 20:171-197
- Urban, L. D.; V. R. O'Neill y H. H. Shugart, Jr. 1987. **Landscape Ecology. A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns.** Reprint from *BioScience.* 37(2):119-127
- Valera, P. M. A. 1993. **Fisicoquímica y Mineralogía de Andosoles de la Región de Teziutlan, Estado de Puebla.** Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 295 p.
- Verstappen, H. 1983. **Applied Geomorphology.** Geomorphological Surveys for Environmental Development. New York, USA. pp. 111-148
- Waring, H. R. y H. W. Schlesinger, 1985. **Forest Ecosystems. Concepts and management.** Academic Press. Inc. London.
- Westman, E. W. 1984. **Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning.** John Wiley & Sons. USA.
- White, I. D.; D. N. Mottershead y S. L. Harrison. 1992. **Environmental Systems.** An introductory text. Second edition. Chapman & Hall. London, G.B. 588 p.

*Anexo No. 1 Características físicas y químicas  
de los perfiles de referencia*

No. Perfil: COF36

Estado: Veracruz

Municipio: Perote

Población: Ejido El Conejo, Parque Nacional Cofre de Perote

Sitio: A 1 km del poblado y a 100 m al lado derecho sobre la carretera a La Peña

Latitud: 19°31'24" N

Longitud: 97°09'14" W

Altitud: 3,340 m.s.n.m.

Litología: Cenizas volcánicas sobreyaciendo a un depósito de flujo piroclástico

Geoforma: Ladera ondulada con numerosas y profundas cárcavas

Pendiente: 6°, 13%

Vegetación y uso del suelo: Fragmentos de bosque de *Abies* con *Baccharis* en su entorno inmediato. Rodeados por parcelas de cultivo.

Tipo de suelo: *Andosol úmbrico* (FAO, 1990).

*Dystric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992).

Profundidad (cm)	Horizonte	Descripción
0 - 5	A1	Negro (10YR2/1 en húmedo), café muy oscuro (10YR2/2 en seco). Raíces finas, medianas y gruesas abundantes. Limo-arenoso al tacto. Estructura de bloques subangulares de tamaño mediano y moderado desarrollo; porosidad esponjosa; ligera adhesividad y plasticidad. Consistencia blanda, en seco y friable, en húmedo. Débil cementación. Límite claro y recto.
5 - 11	A2	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), pardo amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas y medianas moderadamente abundantes. Areno-limoso al tacto. Estructura de bloques subangular de tamaño fino y débil desarrollo. Porosidad moderada de tipo esponjoso; adhesividad y plasticidad ligeras; no presenta consistencia en seco y es friable en húmedo. Cementación débil continua y nodular. Algunas gravas. Límite inferior gradual e irregular.
11 - 27	A3	Café oscuro (10YR3/3 en húmedo), café oscuro amarillento (10YR3/4 en seco). Frecuentes manchas más oscuras que no se observan en los demás horizontes. Raíces medianas y gruesas moderadamente abundantes. Limo-arenoso al tacto. Algunas piedras redondeadas y de tamaño mediano. Estructura de bloques subangulares de tamaño mediano y desarrollo moderado. Moderada porosidad de forma tubular fina; adhesividad y plasticidad ligeras; consistencia ligeramente dura en seco y friable en húmedo. Moderada cementación continua y de estructura vesicular. Límite inferior difuso y recto.
27 - 70	C1	Pardo amarillento (10YR5/6 en húmedo), pardo amarillento claro (10YR6/4 en seco). Arenoso al tacto; presencia de gravas de 5 a 15 cm de diámetro de forma aplanada y redondeada. Estructura subangular de tamaño mediano y débil desarrollo; porosidad tubular; adhesividad y plasticidad moderadas; consistencia blanda en seco y friable en húmedo. Moderada cementación. Límite gradual e irregular.
70 - 150	C2	Pardo amarillento (10YR5/8 en húmedo), pardo pálido (10YR6/3 en seco); cambio de color en profundidad de ocre a blanco. Se observan manchas oscuras ausentes en el resto del perfil y que se debe a la presencia de materia orgánica rellenando los huecos de antiguas raíces horizontales. Arenoso al tacto. Estructura subangular de tamaño mediano y débil desarrollo; poroso. Adhesividad y plasticidad moderadas; consistencia blanda en seco y friable en húmedo; moderada cementación. Fin del perfil.

CLAVE PERFIL	COF36			
	A2	A3	C1	C2
Horizonte	A2	A3	C1	C2
No. de muestra	361	362	363	364
Profundidad (cm)	5 - 11	11 - 27	27 - 70	70 - 150
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	10.0	7.5	6.6	8.1
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	24.8	25.4	25.1	25.8
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	55.3	48.5	49.2	46.4
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	8.1	12.3	11.8	10.6
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	1.8	6.3	7.3	9.1
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	2.47	2.34	2.47	2.48
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	-	-	1.16	1.10
Porosidad (%)	-	-	53.0	55.6
% Humedad (a 105 °C)	29.5	22.9	24.0	27.1
pH $\text{H}_2\text{O}$	6.94	6.09	6.67	5.60
pH KCl	6.93	6.12	5.66	6.24
pH NaF	11.07	11.13	10.36	10.90
% Materia orgánica	12.1	4.8	2.0	0.4
% Carbono orgánico	7.02	2.78	1.16	0.23
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	t	1	2	t
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.17	0.15	0.17	0.15
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	1.42	0.60	0.34	0.76
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	24.18	9.63	2.52	2.33
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	1.33	0.52	0.51	0.42
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.53	0.13	0.13	0.44
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.53	0.13	0.13	0.44
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	27.63	11.03	3.67	4.10

No. Perfil: PM37

Estado: Veracruz

Municipio: Perote

Población: Propiedad Federal. Parque Nacional Cofre de Perote

Sitio: a la izquierda, a 5.85 km de poblado de El Conejo sobre el camino a La Peña

Latitud: 19°30'21" N

Longitud: 97°09'33" W

Altitud: 3,825 m.s.n.m.

**Litología:** Ceniza coluvionada con derrubios y bloques, sobre andesitas.

**Geoforma:** Convexidad de la cresta que forma el parteaguas occidental de la cuenca en estudio.

**Pendiente:** 9°, 20%

**Vegetación y uso del suelo:** Bosque de *Pinus hartwegii*. Individuos de 2 m de altura en promedio.

**Tipo de suelo:** *Andosol úmbrico* (FAO, 1990)

*Dystric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992)

Profundidad (cm)	Horizonte	Descripción
5 - 0	Oe	Gris oscuro. Limoso con pequeñas gravillas y algunas piedras en superficie. Entramado de residuos orgánicos parcialmente descompuestos y mezclados con material mineral. Límite inferior claro.
0 - 12	A1	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), café grisáceo oscuro (10YR4/2 en seco). Raíces finas (de zacatón) abundantes. Limoso con abundantes piedritas. Sin estructura aparente y aspecto untuoso; poroso. Ligeramente compacto por acción del hielo. Límite recto y difuso.
12 - 35	A2	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), café grisáceo oscuro (10YR4/2 en seco). Raíces finas de gramíneas moderadas a poco abundantes; algunos conductos de raíces medianamente gruesas. Limoso con gravillas moderadamente abundantes. Estructura microgranular de poco desarrollo y aspecto untuoso; compactación menor que el horizonte A1. Límite inferior recto y claro.
35 - 55	A3	Café grisáceo muy oscuro (10YR3/2 en húmedo), café (10YR5/3 en seco). Presencia moderada de raíces finas, moderadas manchas de raíces viejas. Limoso, con moderada abundancia de gravillas. Estructura no aparente, poco untuoso, poroso. Límite inferior claro.
55 - 73	AC	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), café (10YR5/3 en seco). Raíces finas moderadas y dispuestas en todas direcciones. Limoso, con presencia de gravillas y pequeños fragmentos de roca. Ligeramente más untuoso que los anteriores. Límite inferior claro y recto.
73 - 95	C1	Café amarillento oscuro (10YR3/4 en húmedo), café amarillento claro (10YR6/4 en seco). Raíces finas escasas. Limo-arenoso, con abundantes gravillas y fragmentos de roca. Estructura de bloques subangulares de poco desarrollo; ligeramente compacto por acción del hielo. Fin del perfil.



CLAVE PERFIL	PM37				
Horizonte	A1	A2	A3	AC	C1
No. de muestra	372	373	374	375	376
Profundidad (cm)	0 - 12	12 - 35	35 - 55	55 - 73	73 - 95
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	11.3	8.9	10.3	8.2	9.00
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	18.2	19.8	16.6	21.6	12.9
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	55.0	52.2	53.2	50.7	50.3
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	8.7	10.4	10.2	8.9	10.7
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	6.7	8.7	9.7	10.6	17.00
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	2.12	2.33	2.00	2.41	2.21
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.86	1.12	0.96	1.14	-
Porosidad (%)	59.6	51.9	51.8	52.9	-
% Humedad (a 105 °C)	51.2	51.1	50.7	53.3	-
pH $\text{H}_2\text{O}$	5.31	5.27	5.42	5.41	5.48
pH KCl	4.39	4.53	4.96	5.30	5.62
pH NaF	11.38	11.44	11.49	11.47	11.57
% Materia orgánica	14.89	10.79	8.33	6.90	1.32
% Carbono orgánico	8.66	6.27	4.84	4.01	0.77
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	t	t	t	t	t
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.28	0.10	0.07	0.06	0.09
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	2.41	1.61	1.01	0.81	0.59
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.35	0.27	0.27	0.17	0.06
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.13	0.09	0.09	0.09	0.09
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.13	0.09	0.09	0.09	0.09
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	3.20	2.10	1.46	1.14	0.86

**No. Perfil:** PM38

**Estado:** Veracruz

**Municipio:** Perote

**Población:** Propiedad Federal. Parque Nacional Cofre de Perote

**Sitio:** a la izquierda del camino a 2.25 km del poblado El Conejo, cerca de la parcela escolar, con dirección a La Peña

**Latitud:** 19°31'00" N

**Longitud:** 97°09'33" W

**Altitud:** 3,560 m.s.n.m.

**Litología:** Ceniza coluvionada con derrubios y bloques, sobre andesita

**Geoforma:** Laderas convexas que forma el parteaguas occidental de la cuenca de análisis

**Pendiente:** 20°, 44%

**Vegetación y uso del suelo:** Bosque de *Pinus hartwegii*. Individuos de 10 a 15 m de altura y de 10 a 20 cm de diámetro en promedio. Zona de contacto con el bosque de *Abies*. Presencia de zacatón y algunos árboles jóvenes de oyamel.

**Tipo de suelo:** *Andosol úmbrico* (FAO, 1990)

*Dystric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992)

Profundidad (cm)	Horizonte	Descripción
0 - 12	A1	Negro (10YR2/1 en húmedo), café grisáceo oscuro (10YR4/2 en seco). Raíces finas abundantes forman un entramado con la materia mineral; algunas raíces medianas y hasta gruesas; evidencia de actividad biológica (lombrices). Limoso al tacto. Sin estructura, muy polvoso; poroso. Límite inferior claro y ondulado.
12 - 50	A2	Negro (10YR2/1 en húmedo), café grisáceo oscuro (10YR4/2 en seco). Raíces finas abundantes, algunas raíces medianas y conductos de raíces con material radicular en descomposición. Limoso al tacto, menos polvoso que el anterior, pero un poco más arenoso. Estructura microgranular a subangular fina de poco desarrollo; poroso. Es poco tixotrópico. Límite difuso y ondulado, se observa cierta mezcla de tierra en los horizontes.
50 - 80	AC	Café grisáceo muy oscuro (10YR3/2 en húmedo), café amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas moderadamente abundantes, algunas raíces medianas, conductos huecos de raíces gruesas y algunas raíces muertas. Presenta algunos fragmentos de carbón. Limoso, poco arenoso al tacto, con gravillas. Estructura de bloques subangulares de poco desarrollo. Abundantes rocas de diferente tamaño. Límite inferior ondulado y difuso.
80 - 110	C1	Café amarillento oscuro (10YR4/4 en húmedo), café amarillento claro (10YR6/4 en seco). Raíces finas escasas y medianas moderadas; conductos huecos de raíces gruesas. Limo-arenoso al tacto, con gravillas más abundantes y rocas de distintos tamaños. Estructura de bloques subangulares de poco desarrollo; poroso. Fin del perfil.

CLAVE PERFIL	PM38			
	A1	A2	AC	C1
Horizonte	A1	A2	AC	C1
No. de muestra	381	382	383	384
Profundidad (cm)	0 - 12	12 - 50	50 - 80	80 - 110
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	10.4	11.5	8.9	8.8
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	20.8	22.9	16.6	13.7
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	54.3	49.9	54.9	52.5
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	8.1	8.6	9.5	10.0
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	6.4	7.0	10.1	14.9
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	2.20	2.27	2.43	2.26
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.61	0.94	1.06	1.03
Porosidad (%)	72.4	58.4	56.1	54.6
% Humedad (a 105 °C)	48.7	44.6	45.9	39.1
pH H <sub>2</sub> O	5.00	5.17	5.52	5.55
pH KCl	4.37	4.61	5.13	5.37
pH NaF	11.26	11.29	11.39	11.33
% Materia orgánica	15.17	12.24	5.54	2.56
% Carbono orgánico	8.82	7.12	3.22	1.49
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	t	t	t	t
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.05	0.09	0.02	0.05
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.18	0.14	0.06	0.04
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	3.93	4.38	2.85	1.51
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.19	0.41	0.21	0.17
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	2.92	1.42	1.06	0.49
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	3.80	1.77	1.06	0.49
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	8.15	6.79	4.20	2.26

**No. Perfil:** PM39

**Estado:** Veracruz

**Municipio:** Perote

**Población:** Ejido Agua de los Pescados, Parque Nacional Cofre de Perote

**Sitio:** a la derecha sobre el camino, a 1.85 km del poblado El Conejo hacia el Poblado Agua de Los Pescados, un poco antes de la entrada al antiguo vivero de El Conejo

**Latitud:** 19°32'22" N

**Longitud:** 97°09'03" W

**Altitud:** 3,160 m.s.n.m.

**Litología:** Ceniza coluvionada con derrubios y bloques, sobre andesita

**Geoforma:** Ladera recta sensiblemente convexa en perfil

**Pendiente:** 6°, 13%

**Vegetación y uso del suelo:** Cañada entre parcelas de cultivo. Presenta vegetación de corredor; algunos oyameles, pinos y ailes

**Tipo de suelo:** *Andosol úmbrico* (FAO, 1990)

*Dystric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992)

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Descripción</b>
0 - 20	A1	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), café amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas moderadas a abundantes. Evidencia de actividad biológica (lombrices). Limoso un poco arenoso al tacto. Algunas rocas en superficie y piedras en el perfil. Presencia de pequeños fragmentos de carbón. Estructura microgranular de poco desarrollo; suave al tacto. Ligeramente tixotrópico. Límite inferior claro y ondulado.
20 - 44	A2	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), café (10YR5/3 en seco). Raíces finas moderadamente abundantes; importante actividad biológica de lombrices. Algunos fragmentos de carbón. Textura limosa al tacto, con algunas piedritas en el perfil. Estructura poliédrica a subangular de desarrollo mediano; porosidad fisural y tubular. Ligeramente tixotrópico. Límite inferior claro y ligeramente ondulado.
44 - 70	Bw/C	Café amarillento oscuro (10YR4/4 en húmedo), café amarillento claro (10YR6/4 en seco). Raíces finas moderadamente abundantes. Algunos fragmentos de carbón. Limo-arenoso al tacto. Algunas piedras y piedritas, abundantes gravillas. Estructura subangular de desarrollo moderado. Porosidad tubular, más compacto que el anterior. Límite inferior ondulado y claro.
70 - 105	C1	Café amarillento oscuro (10YR4/4 en húmedo), café amarillento claro (10YR6/4 en seco). Raíces finas escasas, conductos de raíces gruesas rellenos de tierra; algunas lombrices. Limo-arenoso al tacto. Abundantes piedras y muchas gravillas intemperizadas. Estructura subangular de desarrollo moderado; porosidad tubular; más compacto que el anterior. Límite difuso y ligeramente ondulado.
105 - 125	C2	Café amarillento oscuro (10YR3/4 en húmedo), café pálido (10YR6/3 en seco). Raíces finas escasas y medianas moderadas; conductos huecos de raíces gruesas. Limo-arenoso al tacto, con gravillas más abundantes y rocas de distintos tamaños. Poroso. Estructura de bloques subangulares de poco desarrollo. Fin del perfil.

CLAVE PERFIL	PM39				
	A1	A2	Bw/C	C1	C2
Horizonte	A1	A2	Bw/C	C1	C2
No. de muestra	391	392	393	394	395
Profundidad (cm)	0 - 20	20 - 44	44 - 70	70 - 105	105 - 125
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	10.2	7.5	12.6	16.4	13.6
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	20.6	44.3	20.5	24.2	21.3
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	39.7	31.7	34.7	30.0	28.6
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	15.3	7.9	12.5	13.2	20.7
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	14.1	8.5	19.6	16.1	15.8
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	2.26	2.08	2.15	2.27	2.26
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.88	1.10	1.30	-	-
Porosidad (%)	61.21	47.1	39.5	-	-
% Humedad (a 105 °C)	34.4	37.1	25.7	-	-
pH $\text{H}_2\text{O}$	5.05	5.31	5.42	5.69	6.11
pH KCl	4.35	4.61	4.93	4.68	4.93
pH NaF	10.91	11.0	11.19	10.68	10.40
% Materia orgánica	6.12	8.55	1.42	0.57	0.03
% Carbono orgánico	3.56	4.97	0.83	0.33	0.02
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	5	4	1	1	4
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.01	0.02	0.02	0.07	0.47
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.18	0.07	0.48	2.13	2.20
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	6.36	7.70	4.03	5.01	5.20
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.25	0.46	0.36	1.21	1.09
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	6.84	8.29	4.93	8.46	9.00

**No. Perfil:** PM40

**Estado:** Veracruz

**Municipio:** Perote

**Población:** Ejido Agua de los Pescados, Parque Nacional Cofre de Perote

**Sitio:** a la derecha sobre el camino, a 2.55 km del poblado El Conejo hacia el poblado Agua de Los Pescados, un poco antes de la confluencia de los arroyos

**Latitud:** 19°32'50" N

**Longitud:** 97°09'07" W

**Altitud:** 3,085 m.s.n.m.

**Litología:** Depósito de cenizas y bloques. Ceniza coluvionada con derrubios y bloques, sobre lava andesítica. Se trata de un depósito de cenizas de color claro (tipo dacítica) con bloques producto de una erupción explosiva, fuertemente intemperizados.

**Geoforma:** Ladera recta sensiblemente convexo en perfil, interfluvio angosto y agudo en la confluencia de los dos escurrimientos que conforman la cuenca de estudio.

**Pendiente:** 6°, 13%

**Vegetación y uso del suelo:** Presenta vegetación de corredor; con árboles de oyamel, pino y aile, asociados con escobo y zacatón; evidencias de antigua influencia de cultivos.

**Tipo de suelo:** *Andosol úmbrico* (FAO, 1990)

*Dystric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992)

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Descripción</b>
0 - 30	A1	Café muy oscuro (10YR2/2 en húmedo), café (10YR5/3 en seco). Raíces finas (del zacatón) abundantes en todas direcciones y raíces medianas poco abundantes. Algunas rocas en superficie y piedras en el perfil. Limoso, suave al tacto. Presenta algunas gravillas. Estructura de bloques poliédricos a subangulares de tamaño mediano y moderado desarrollo; poroso. Resbaloso, un poco tixotrópico, no plástico. Límite inferior claro y ligeramente ondulado.
30 - 60	A/Bw	Café amarillento oscuro (10YR3/4 en húmedo), café amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas abundantes, escasas raíces medianas y gruesas. Limoso al tacto; algunas gravillas y piedritas. Ligeramente tixotrópico, suave al tacto y resbaloso. Estructura poco aparente. Porosidad tubular; no plástico. Presenta algunos fragmentos de carbón. Límite inferior claro y ligeramente ondulado.
60 - 96	Bw	Café amarillento oscuro (10YR3/6 en húmedo), café amarillento claro (10YR6/4 en seco). Raíces finas moderadas. Limoso con un poco de arcilla al tacto; ligeramente plástico a diferencia de los anteriores horizontes. Presenta escasas piedras y gravas. Estructura de bloques subangulares de débil desarrollo; porosidad tubular; no tixotrópico; friable. Límite inferior claro y ondulado.
96 - 120	C1	Café amarillento (10YR5/4 en húmedo), café muy pálido (10YR7/4 en seco). Escasas raíces finas. Limo-arenoso al tacto. Presenta cierta porosidad a través de conductos de raíces. Es un horizonte más compacto que los anteriores. Fin del perfil.

CLAVE PERFIL	PM40			
	A1	A/Bw	Bw	C1
Horizonte	A1	A/Bw	Bw	C1
No. de muestra	401	402	403	404
Profundidad (cm)	0 - 30	30 - 60	60 - 96	96 - 120
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	11.3	9.2	12.1	12.9
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	22.5	21.7	21.6	18.2
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	53.2	53.8	49.6	37.9
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	8.3	9.2	10.1	17.7
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	4.7	6.0	6.6	13.4
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	1.87	2.08	2.12	2.33
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.89	0.86	1.14	-
Porosidad (%)	52.3	58.6	46.3	-
% Humedad (a 105 °C)	33.7	39.0	43.7	-
pH $\text{H}_2\text{O}$	5.62	5.48	5.83	6.31
pH KCl	4.76	4.82	4.90	5.26
pH NaF	11.14	11.34	10.62	10.06
% Materia orgánica	11.32	3.16	1.68	0.29
% Carbono orgánico	6.58	1.84	0.98	0.17
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	2	t	1	5
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.02	0.06	0.39	0.23
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.55	0.42	0.75	0.86
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	10.48	2.52	5.55	5.51
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	1.53	1.02	2.44	2.25
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	4.11	1.42	0.60	0.44
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	4.68	1.68	0.60	0.44
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	17.26	5.70	9.73	9.29

No Perfil: COF46

Estado: Veracruz

Municipio: Perote

Población: Ej. Agua de los Pescados. Parque Nacional Cofre de Perote

Sitio: a la izquierda sobre el camino hacia el ejido de Tembladeras, a 1 km al oriente saliendo del poblado de El Conejo

Latitud: 19°31'55" N

Longitud: 97°08'34" W

Altitud: 3,300 m.s.n.m.

Litología: Avalancha de cenizas y bloques

Geoforma: Pequeño plano sobre una ladera de topografía ondulada

Pendiente: 5°, 10%

Vegetación y uso del suelo: Bosque de *Abies* y *pinus* con estrato herbáceo de zacatonal

Tipo de suelo: *Andosol úmbrico* (FAO, 1990)

*Dystric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992)

Profundidad (cm)	Horizonte	Descripción
0 - 6	A1	Negro (2.5YR2.5/1 en húmedo), café grisáceo muy oscuro (5YR3/2 en seco). Orgánico. Numerosas raíces finas de gramíneas. Limoso al tacto. Estructura de bloques poliédricos, poroso. Límite bien definido.
6 - 30	A2	Negro (2.5YR2.5/1 en húmedo), café (7.5YR4/3 en seco). Raíces finas de gramíneas menos abundantes; limoso al tacto con algunas gravillas muy pequeñas. Presencia de algunas piedras. Estructura de bloques subangulares de poco desarrollo. Poroso y tixotrópico. Límite bien definido.
30 - 60	Bw	Café oscuro (7.5YR3/4 en húmedo), café amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas de gramíneas escasas; algunas raíces gruesas de pino. Limoso al tacto, con un poco de arcilla; contiene numerosas piedritas y algunos bloques de roca. Estructura de bloques subangulares moderadamente desarrollada. Poroso, poco compacto. Débil a moderada reacción NaF. Límite inferior bien definido, ligeramente ondulado.
60 - 90	C1	Café oscuro (7.5YR3/4 en húmedo), café amarillento claro (10YR6/4 en seco). Algunas raíces gruesas de árbol. Limoso al tacto, con abundancia de fragmentos líticos. Poroso y poco compacto. Fin del perfil.



CLAVE PERFIL	COF46			
	A1	A2	Bw	C1
Horizonte	A1	A2	Bw	C1
No. de muestra	461	462	463	464
Profundidad (cm)	0-6	6-30	30-60	60-90
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	14.2	15.3	10.1	12.8
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	23.1	28.7	28.4	30.4
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	56.1	45.2	51.0	47.2
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	5.2	7.8	6.0	6.2
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	1.4	3.0	4.5	3.4
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	2.11	2.20	2.43	2.44
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.5	0.9	0.8	1.3
Porosidad (%)	76.3	59.1	67.1	46.7
% Humedad (a 105 °C)	36.2	39.0	56.1	60.2
pH H <sub>2</sub> O	5.2	5.2	5.8	6.2
pH KCl	5.5	5.0	5.9	5.9
pH NaF	10.7	11.3	11.7	10.8
% Materia orgánica	19.8	14.6	0.8	3.6
% Carbono orgánico	11.5	8.5	0.5	2.1
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	2	1	t	t
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.04	0.05	0.04	0.15
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.11	0.04	0.04	0.21
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	1.29	0.84	1.17	1.21
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.12	0.62	0.12	0.45
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	1.30	0.00	0.00	0.00
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	1.60	1.09	1.09	0.82
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	3.16	2.64	2.46	2.84

**No. Perfil:** COF58

**Estado:** Veracruz

**Municipio:** Perote

**Población:** Ejido El Conejo, Parque Nacional Cofre de Perote

**Sitio:** a la derecha sobre el camino de Perote hacia La Peña, en un camino de acceso al llegar a las primeras casas

**Latitud:** 19°31'44" N

**Longitud:** 97°10'02" W

**Altitud:** 3,240 m.s.n.m.

**Litología:** Cenizas volcánicas de color blanco

**Geofoma:** Ladera recta amplia sensiblemente ondulada

**Pendiente:** 5°, 10%

**Vegetación y uso del suelo:** Fragmentos de bosque de *Abies* con algunos pinos y aile de 20 a 30 m de altura y 70 cm de diámetro; flanqueados por cultivos de papa y avena.

**Tipo de suelo:** *Andosol háplico* (FAO, 1990)

*Vitric Haplustand* (Soil Taxonomy, 1992)

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Descripción</b>
0 - 25	A1	Pardo oscuro amarillento (10YR3/4 en húmedo), pardo amarillento (10YR4/3 en seco). Raíces finas, medianas y gruesas abundantes. Limo-areno-arcilloso al tacto. Estructura del esqueleto de forma subangular, de tamaño mediano y débil desarrollo; porosidad tubular; tixotrópico; adhesividad y plasticidad moderadas; consistencia blanda en seco y friable, en húmedo; cementación moderada. Límite claro y recto.
25 - 50	Bw	Pardo oscuro amarillento (10YR3/6 en húmedo), pardo amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas, medianas y gruesas abundantes. Areno-limoso al tacto. Estructura de bloques subangular de tamaño mediano y débil desarrollo; porosidad tubular; tixotrópico; adhesividad y plasticidad ligeras; consistencia blanda en seco y friable en húmedo; cementación moderada. Límite tenue y de forma irregular.
50 - 73	Bw/C	Pardo oscuro amarillento (10YR4/6 en húmedo), pardo amarillento (10YR5/4 en seco). Raíces finas, medianas y gruesas abundantes. Areno-arcilloso al tacto. Estructura subangular de tamaño mediano y débil desarrollo; porosidad tubular; tixotrópico; adhesividad y plasticidad moderadas; consistencia blanda en seco y friable en húmedo; moderada cementación; buen drenaje interno. Límite inferior gradual e irregular.
73 - 102	C1	Pardo amarillento (10YR5/6 en húmedo), pardo amarillento claro (10YR6/4 en seco). Arenoso al tacto. Estructura subangular de tamaño mediano y débil desarrollo; se trata de una mezcla de cenizas con gravas de 5 a 15 cm de diámetro de forma aplanada y redondeada; porosidad tubular; adhesividad y plasticidad moderadas; consistencia blanda en seco y friable en húmedo; moderada cementación. Límite gradual e irregular.
102 - 150	C2	Pardo amarillento (10YR5/8 en húmedo), pardo pálido (10YR6/3 en seco), hay un cambio de color en profundidad de ócre a blanco. Se observan manchas de carbón que se deben a la presencia de materia orgánica relleno los huecos de antiguas raíces horizontales. Arenoso al tacto. Estructura subangular de tamaño mediano y débil desarrollo; poroso; adhesividad y plasticidad moderadas; consistencia blanda en seco y friable en húmedo; moderada cementación. Fin del perfil.

CLAVE PERFIL	COF58				
	A1	Bw	Bw/C	C1	C2
Horizonte	A1	Bw	Bw/C	C1	C2
No. de muestra	581	582	583	584	585
Profundidad (cm)	0 - 25	25 - 50	50 - 73	73 - 102	102 - 150
% Arcilla 0-2 $\mu\text{m}$	8.0	7.0	8.3	7.0	-
% Limo fino 2-20 $\mu\text{m}$	20.8	19.5	19.1	16.2	-
% Limo grueso 20-50 $\mu\text{m}$	47.8	43.0	39.2	36.3	-
% Arena fina 50-200 $\mu\text{m}$	14.2	17.0	20.3	25.7	-
% Arena gruesa 200-2000 $\mu\text{m}$	9.2	13.2	13.1	14.8	-
Densidad real ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	1.90	2.10	1.77	2.06	2.30
Densidad aparente ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.4	0.5	0.4	1.06	1.02
Porosidad (%)	78.9	76.2	77.4	48.5	55.6
% Humedad (a 105 °C)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
pH $\text{H}_2\text{O}$	5.97	6.38	6.64	6.60	6.32
pH KCl	5.39	5.99	6.35	6.14	5.97
pH NaF	10.76	10.96	10.91	10.7	10.61
% Materia orgánica	5.95	1.89	1.15	0.63	0.22
% Carbono orgánico	3.4	1.1	0.7	0.4	0.1
Fósforo extractable ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	5	2	t	t	0.1
Sodio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.28	0.24	0.22	0.24	0.22
Potasio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.46	0.27	0.20	0.23	0.26
Calcio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	6.45	4.58	3.33	2.70	1.66
Magnesio ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.68	0.29	0.23	0.25	0.31
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Capacidad de intercambio catiónico efectiva ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ )	8.00	5.51	4.11	3.55	2.58

*Anexo No. 2 Cuestionario para el diagnóstico de  
las parcelas agrícolas muestreadas*

*Anexo No. 2 Cuestionario para el diagnóstico de las parcelas agrícolas muestreadas*

Nombre del ejido o comunidad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del ejidatario: \_\_\_\_\_

Nombre del paraje donde se encuentra su parcela: \_\_\_\_\_ Superficie: \_\_\_\_\_

¿Desde cuándo tiene en producción su parcela? : \_\_\_\_\_

¿Qué cultiva?: \_\_\_\_\_

¿Cada cuándo cultiva este mismo cultivo?: \_\_\_\_\_

¿Cómo sabe cuándo la tierra necesita descansar o cambiar? : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Qué tipo de cultivos emplea en la rotación de cultivos? : \_\_\_\_\_

¿Cuáles han sido sus problemas en relación a los cultivos?: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Qué tipo de plagas ha registrado en su parcela? : \_\_\_\_\_

¿Cómo describiría el tipo de tierra que tiene su parcela? : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Cuántas clases de tierras hay en la región? : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿En base a qué se clasifican las tierras? : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Cómo influye el relieve en la calidad de la tierra? : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿A qué se atribuye la resequedad del suelo? : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Qué problemas representan las heladas en la agricultura?: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Cómo se identifican las tierras que tienen riesgo de heladas?: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿A qué cree usted que se debe el color suelo?: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Cuál es el procedimiento de labranza que usa?: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Qué tipo de fertilizante usa?: \_\_\_\_\_

¿A qué cultivo se aplica?: \_\_\_\_\_ Dosis que aplica: \_\_\_\_\_

¿Cuándo lo usa?: \_\_\_\_\_ ¿Cada año aplica los fertilizantes?: \_\_\_\_\_

Otros químicos que utilice (plaguicidas, fungicidas, herbicidas, etc.): \_\_\_\_\_

¿Qué tipo de abonos orgánicos utiliza?: \_\_\_\_\_

¿Con qué frecuencia?: \_\_\_\_\_

*Anexo No. 2 Cuestionario para el diagnóstico de las parcelas agrícolas muestreadas*

- ¿Qué rendimiento máximo tiene?: \_\_\_\_\_                      ¿Qué calidad alcanza?: \_\_\_\_\_
- ¿En qué condiciones lo alcanza?: \_\_\_\_\_
- ¿Qué problemas de erosión se han presentado en la zona?: \_\_\_\_\_
- ¿A qué se deben esos problemas?: \_\_\_\_\_
- ¿Qué han hecho para resolver esos problemas?: \_\_\_\_\_
- ¿Qué había antes del bosque actual?: \_\_\_\_\_
- ¿Qué tipo de bosque se tiene en la zona?:  
natural sin modificar \_\_\_\_\_ regeneración natural \_\_\_\_\_ reforestación \_\_\_\_\_ sucesión secundaria \_\_\_\_\_
- ¿Qué edad tienen los bosques?: \_\_\_\_\_
- ¿Cómo se dio la actividad forestal en la zona?: \_\_\_\_\_
- ¿Qué produce el bosque?: \_\_\_\_\_
- ¿Para qué se usan los bosques actualmente?: \_\_\_\_\_
- ¿Cuál es el futuro de los bosques?: \_\_\_\_\_
- ¿Cómo se eligen los sitios para abrir tierras a la agricultura?: \_\_\_\_\_
- ¿Dónde se han hecho reforestaciones?: \_\_\_\_\_
- ¿Qué opinan respecto a las reforestaciones?: \_\_\_\_\_



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

