

2 ej  
2 ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**"FACTORES AMBIENTALES EN RELACION  
CON LA HIDROEROSION EN EL FLANCO  
MERIDIONAL DEL EJE NEOVOLCANICO,  
ESTADO DE MICHOACAN"**

**T E S I S**  
**PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**B I O L O G O**  
**P R E S E N T A N :**  
**MARIA EUGENIA SOLIS RANGEL**  
**NOE MORALES DIAZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria, D. F.

1989



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

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

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

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

# I N D I C E

Pág.

INTRODUCCION . . . . .	1-3
Capítulo I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA . . . . .	
2.- EL PROBLEMA. . . . .	4
2.1. Marco Histórico . . . . .	5-9
2.2. Marco Teórico conceptual. . . . .	9-15
2.3. La erosión en México. . . . .	15-18
2.4. Medidas adoptadas . . . . .	19-23
Capítulo II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION . . . . .	
3.- OBJETIVOS. . . . .	24
3.1. Generales . . . . .	24
3.2. Específicos . . . . .	24
3.3. Colaterales . . . . .	25
4.- HIPOTESIS. . . . .	25-26
Capítulo III: LEVANTAMIENTO DE INFORMACION GENERAL PARA EL AREA DE ESTUDIO. . . . .	
5.- CARACTERIZACION GENERAL. . . . .	27
5.1. Selección del área de estudio . . . . .	27
5.2. Localización del área de estudio. . . . .	27
5.3. Aspectos socioeconómicos. . . . .	28-29
5.4. Descripción fisiográfica . . . . .	29
5.4.1. Hidrología. . . . .	29
5.4.2. Relieve . . . . .	30
5.4.3. Geología. . . . .	30
5.4.4. Clima y Vegetación. . . . .	31
5.4.5. Suelos. . . . .	33
Capítulo IV: ELABORACION, ANALISIS Y SELECCION DE DATOS ESPECIFICOS . . . . .	
6.- MATERIALES Y METODOS . . . . .	35
6.1. Trabajo de gabinete, campo y laboratorio. . . . .	35
6.2. Desarrollo metodológico . . . . .	36
6.2.1. Fotointerpretación preliminar . . . . .	36
6.2.2. Inspección preliminar de campo. . . . .	36
6.2.3. Trabajo de campo. . . . .	36
6.2.4. Análisis de laboratorio . . . . .	37
6.3. Reinterpretación. . . . .	38
6.4. Métodos paramétricos. . . . .	39
6.4.1. Factores de evaluación cuantitativa de la hidro- erosión. . . . .	40
6.4.1.1. Factor C. . . . .	40
6.4.1.2. Factor T. . . . .	40
6.4.1.3. Factor K. . . . .	41
6.4.1.4. Factor V. . . . .	41
6.4.1.5. Factor P. . . . .	41
Capítulo V: INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS . . . . .	
7.- RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	42
7.1. Fotointerpretación y cartografía aplicada al área de estudio . . . . .	42
7.2. Factores ambientales: Diagnosis como variables cuali- tativas y cuantitativas . . . . .	42-47
7.2.1. Factor litología. . . . .	47-53

	Pág.
7.2.1.1. Evaluación paramétrica del factor litología . . .	54-56
7.2.2. Factor clima (C). . . . .	57-68
7.2.2.1. Evaluación paramétrica del factor de agresividad climática. . . . .	69-70
7.2.3. Factor Relieve (T). . . . .	71-79
7.2.3.1. Evaluación paramétrica del factor relieve (T) . . .	79-82
7.2.4. Factor Suelo (K). . . . .	83-94
7.2.4.1. Caracterización morfológica, física y química de los suelos . . . . .	94-104
7.2.4.2. Evaluación paramétrica del factor suelo (K) . . .	105-109
7.2.5. Factor Vegetación (V) . . . . .	110-116
7.2.5.1. Evaluación paramétrica. . . . .	117-126
7.2.5.2. Consideración a manera de discusión . . . . .	127-128
7.2.6. Factor prácticas de conservación (P). . . . .	129-130
7.2.6.1. Evaluación paramétrica del factor prácticas de conservación. . . . .	130
7.3. Desarrollo de la ecuación propuesta por FAO-PNUMA (1980), modificada (1989). . . . .	131
7.3.1. Predicción del riesgo de erosión, riesgo teórico y valorización de la erosión actual . . . . .	131-132
7.4. Discusión de los resultados obtenidos a través del desarrollo y aplicación de la ecuación. . . . .	133
7.4.1. Factores C, T, K, V, y P. . . . .	133-134
7.4.2. Unidad Taxonómica de suelos . . . . .	135
7.4.2.1. Unidades Leptosoles y Regosoles . . . . .	135
7.4.2.2. Unidad Feozem. . . . .	136
7.4.2.3. Unidad Luvisol. . . . .	136-137
7.4.2.4. Unidad Cambisol . . . . .	137-138
7.4.2.5. Unidad Antrosol . . . . .	138-140
Capítulo VI; CONCLUSIONES. . . . .	
8.- VALIDEZ DE LA HIPOTESIS. . . . .	141
9.- CONCLUSIONES GENERADAS . . . . .	141-144
Recomendaciones. . . . .	145-146
Glosario . . . . .	148-154

## BIBLIOGRAFIA

## RESUMEN

Se proponen algunas modificaciones a la metodología provisional creada por FAO-PNUMA (1980), en los siguientes parámetros: Los factores S, L y M propuestos por FAO fueron substituidos por los factores K, P y Lt, con el propósito de obtener una evaluación más aproximada a la realidad de los factores ambientales relacionados con la hidroerosión. El área de estudio, localizada en el Flanco Meridional del Eje Neovolcánico Estado de Michoacán, corresponde a un bosque de clima templado subhúmedo, originalmente de Pino-Encino.

En este estudio se define a la erosión como un factor de degradación, que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo desde el punto de vista de su productividad.

Los datos que se utilizan en esta tesis proceden de tres fuentes diferentes: observaciones directas de la degradación en campo, apreciación del problema por las técnicas de teledetección y, evaluación de los factores ambientales por métodos paramétricos.

Los resultados obtenidos indican que el ecosistema estudiado, fue degradado principalmente, por efecto antropogénico. Encontrándose que la pérdida actual de suelo varía de 0.32 ton/ha/año hasta un máximo de 242.43 ton/ha/año, es decir, varía en la mayoría de los casos de moderado a muy alto, correspondiendo de 14/ton/ha/año a más de 500 ton/ha/año, respectivamente.

El problema de hidroerosión en el área de estudio es grave, ya que la pérdida máxima permisible de suelo, estimada para esta localidad, no debería exceder las 11 ton/ha/año.

En este estudio se presentan, además, los valores de erosión actual, potencial y teórica para 35 facetas terrestres características del área, y las recomendaciones generales para la conservación de los suelos.

La información generada se muestra, a nivel semidetallado, en los cuadros que contiene este estudio.

## INTRODUCCION

Hoy se reconoce universalmente que la erosión del suelo constituye una seria amenaza no sólo para el bienestar humano, sino para su propia existencia (Hudson, 1982). Las materias primas de la mayor parte de los productos que se requieren como alimento, techo y vestido, provienen de los suelos (Palmer, 1979). Son numerosos los autores que como Jung, 1953; Keech, 1968; Morgan, 1979; Douchaufour, 1980; Gaucher, 1980 y Palmer, 1982 consideran al suelo como el más importante de los recursos, virtualmente no renovable, de que el hombre dispone. No obstante su importancia, el daño que sistemáticamente se le ha ocasionado en los últimos 30 años, por acción antropogénica, es superior al que recibió a lo largo de 7,000 años de historia (Lugo, 1988). Cada año se pierden por erosión acelerada, aproximadamente, 8,000 millones de toneladas de suelo en el mundo, el cual es depositado en el océano. De esta cantidad de suelo erosionado, la mitad proviene de China y casi dos tercios de lo que resta, de los países del norte de Africa y de Latinoamérica, en la cual, México es sin duda el más erosionado (FAO, 1980).

Este trabajo pretende contribuir al conocimiento de la dinámica y características del fenómeno de hidroerosión acelerada que afecta, en diferentes grados de intensidad, a más de 65% de nuestro territorio. Y establecer el origen de esa degradación evaluando a cada uno de los factores bióticos y abióticos más relevantes, con relación al proceso de hidroerosión, así como cuantificar las pérdidas de suelo que este fenómeno provoca de modo especial a las zonas templadas; en virtud de que son las áreas más densamen-

te pobladas y en consecuencia las más degradadas.

El área de estudio representa un ejemplo típico de un ecosistema forestal de zona templada altamente degradado. La revisión bibliográfica efectuada demostró que no existía previamente a esta tesis, ningún trabajo relacionado con la erosión en la zona, no obstante la gravedad y extensión con que se manifiesta la degradación, en el área.

De hecho la falta de información representó el problema mayor para la realización del estudio, debido a que la mayoría de las metodologías potencialmente utilizadas, a nivel mundial, para evaluar de modo semidetallado el fenómeno de la degradación del suelo, requieren de un número grande de datos y, de modo especial aquellos que se refieren al porcentaje de cobertura vegetal y la energía cinética de la lluvia.

Considerando esta limitación de información la metodología propuesta por FAO-PNUMA (1980) resultó en principio la adecuada, ya que no requiere mucha información para su aplicación, sin embargo los valores paramétricos que esta metodología propone para evaluar a la vegetación, suelos y relieve, como factores que determinan el grado e intensidad de la hidroerosión, fueron establecidos para otros países bajo condiciones ambientales muy diferentes a la de México; por lo que la extrapolación de esa información seguramente conduciría a resultados falsos o dudosos.

Con el fin de subsanar esta deficiencia metodológica, se consideró necesario realizar modificaciones a la metodología y obtener directamente en campo esa información. Para lograr este fin se procedió a efectuar levantamientos de: vegetación, suelos,



morfométricos y litológicos del área. Una modificación importante a la metodología empleada, consistió en sustituir la denominación de los factores "explotación" y "producción del suelo"; propuestos por FAO-PNUMA, por el factor denominado "conservación de suelos" no contemplado en esta metodología. La razón para esta modificación obedeció a que no hay registros confiables sobre la explotación y producción del suelo, en tanto que las prácticas de conservación pueden ser fácil y confiablemente evaluadas, ya sea directamente en campo o a través de fotografías aéreas.

Los levantamientos efectuados generaron información específica para el área de estudio, la cual fue empleada en esta tesis para calcular y valorizar paramétricamente los riesgos de erosión; la erosión actual y la erosión potencial.

Resulta importante aclarar, que si bien todos los levantamientos efectuados cumplen cabalmente con el objetivo de evaluar localmente la hidroerosión no representan, por sí solos, levantamientos botánicos, edáficos y geológicos formales; ya que su fin fue utilizarlos como fuente de información confiable para evaluar la degradación.

## Capítulo I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 2. EL PROBLEMA

La erosión natural de los suelos siempre ha existido, la cual se denomina, también, erosión geológica (FAO, 1978). Este tipo de erosión, generalmente es reconstructivo y tiende a estabilizar el paisaje. Diametralmente opuesta a esta erosión natural, existe la erosión acelerada que el hombre ha causando arando, que mando, sobre pastoreando y removiendo la cubierta protectora (FAO, 1978). La erosión acelerada se hace evidente en todo el mundo y, en la actualidad, este problema se ha agravado debido a la expansión demográfica, por consiguiente, las superficies destinadas a fines agrícolas han sido perturbadas (Papadakis, 1980).

En varios países se ha observado que el deterioro de los suelos aumenta en forma alarmante. Un ejemplo de lo cual lo tenemos en Filipinas, donde un 76% de la superficie de cultivo ha sido dañada por la erosión, la mitad de ella gravemente (FAO, 1978).

En Europa la erosión, también, ha afectado a los suelos. Por ejemplo en Francia, no obstante que es un país donde la naturaleza presenta condiciones favorables para la agricultura, muestra una superficie de 4'000,000 de hectáreas con diversos grados de erosión (Bassols, 1982).

Africa es, tal vez, uno de los continentes más afectados por la erosión, donde este fenómeno se ha manifestado de un modo muy grave, provocando una baja considerable en la producción de alimento lo cual, en parte, ha generado hambrunas (FAO, 1978).

Por lo que respecta al Continente Americano, la deforestación y el desmonte han provocado también, severos problemas; aunque éstos no se habían considerado sino hasta recientemente. A este respecto, algunos hechos que se han sucedido permitieron visualizar de modo concreto, la importancia de la erosión acelerada. Uno de estos casos ocurrió en los E.U., en 1929, cuando el Río Grande depositó, aproximadamente, 100 millones de toneladas de suelo en la región de los llanos de inundación. Otro caso fue en 1934, cuando una nube de polvo proveniente de los campos reseca<sup>dos</sup> por el sol en el oeste de Kansas, Texas y Oklahoma, Nuevo México y Colorado cubrieron varios estados del país (Bennett, 1965).

En general, todos los países de América se han visto seriamente dañados por la erosión, sin que se tomen aún las medidas de precaución en cuanto al manejo, uso y protección del suelo.

Para México, diversos autores coinciden al afirmar que la mayor parte de la superficie del territorio se encuentra afectado por la erosión en diferentes grados (FAO, 1954; Bassols, 1982 y Corzo, 1985).

### 2.1. Marco histórico

El estudio de los suelos y de su conservación se remonta a tiempos antiguos, y no es posible establecer con exactitud la fecha en que se iniciaron tales estudios, debido a que estas prácticas no han sido registradas de manera metódica en el desarrollo histórico respectivo (Boul, 1983).

Se supone que fue hace cuatro mil años, en China, donde se utilizó por primera vez un sistema morfológico basado en el color,

la textura y la estructura, para clasificar y dar un uso adecuado a los suelos (Thorp, 1936). Las culturas egipcias, mayas y hebreas han dejado muestras o señales de sistemas de ingeniería agrícola sorprendentes. Tal es el caso citado por EROS-DATA-CENTER (1983) donde, a través de imágenes digitalizadas multiespectrales, obtenidas por el satélite Landsat 2. Se observó que en la Península de Yucatán, los mayas habían establecido un sistema de canales de riego que comprendía una red de más de 500 km. En Perú, se construyeron las primeras terrazas de Banco con el fin de proteger a los suelos, aproximadamente 2,000 años A.C. En las islas Filipinas, también se establecieron prácticas de conservación de suelos durante el cultivo de arroz, hace aproximadamente 2,000 años (Torres, 1984).

De los escritos de Teofasto se deduce una gran preocupación sobre la legislación de la propiedad, la tenencia del suelo y su conservación con base a su producción y "riqueza" (Boul, 1983). En nuestro país, Netzahualcoyotl dictó leyes tendientes a la conservación, no sólo del suelo sino, también, de los bosques y viveros, y posteriormente, durante la colonia las "Leyes de Indias" fijaron las normas para su conservación (Torres, 1984).

En el Estado de México los Carmelitas, hace más de tres siglos, introdujeron algunos conceptos sobre la conservación de los suelos, realizando un gran número de terrazas de banco para cultivar los terrenos de laderas (Torres, 1984). Desde hace 150 años, los avances de las ciencias geológicas y químicas, han permitido colateralmente, establecer las primeras teorías genéticas de los suelos, considerándolos como rocas pulverizadas, sin tomar en

cuenta los demás factores del ambiente. Estos avances han permitido además, evaluar de un modo general los riesgos de susceptibilidad del suelo a la erosión (Georshkob, 1970).

Fallow (1882) formula una clasificación de suelos basada únicamente en el origen geológico y litológico de este recurso (Leeper, 1955). En 1886, Richthofen estudió los suelos desde el punto de vista geológico. En ambos casos se omiten conceptos sobre la degradación de este recurso. Sin embargo, Richthofen en su trabajo, ya sugiere algunos conceptos propios de la Edafología, tales como el concepto laterita y suelos orgánicos (Nikiforoff, 1959).

A principios del siglo XIX, Thaer sugirió que las plantas asimilaban directamente la materia orgánica en descomposición que se depositaba sobre el substrato suelo, y que su pérdida ocasionaba "trastornos" a la vegetación (Jenny, 1985).

En este mismo tiempo, se sugirió el término Edafología como ciencia teórica del suelo (Abelson, 1964).

Mientras tanto, en Rusia, a principios del siglo XX, el geólogo ruso U. V. Dokuchaiev (1900) emitía varios conceptos revolucionarios sobre el suelo. El lo consideró como un cuerpo natural, cuyas características eran el resultado del clima, vegetación y tiempo; generándose así el primer concepto ecológico en relación con los suelos (Kaner, 1967).

Los estudios de Dokuchaiev, fueron continuados y complementados por Lomosov y Glinka, los cuales introducen nuevos factores del ambiente para explicar la génesis de los suelos. Con base en estos factores del ambiente es posible explicar su degradación,

tanto natural como acelerada.

En Norteamérica, los resultados de las investigaciones de Dockuchaiev fueron puestos al alcance de los norteamericanos, a través de la traducción al inglés de C. F. Marbut, en el libro "The Great Soil Groups of the World and their Development". Esta publicación es el principio teórico que refleja la acción combinada del conjunto de factores ecodinámicos para la formación y degradación del suelo. En ella se sustentan la mayoría de las clasificaciones de suelos que existen (Gama, 1985).

Los primeros estudios cualitativos sobre los efectos de la erosión los realizó Wolly a fines del siglo XIX. Por otra parte, los estudios más antiguos sobre erosión, con caracter cuantitativo en América, los inició el Servicio Forestal de los E.U., en 1915. Este tipo de estudios se incremento, principalmente, durante las décadas de 1920-1940 (Morgan, 1983).

Entre los científicos más destacados dedicados al estudio de la erosión está Miller (1917), iniciador del estudio de la erosión en parcelas experimentales.

Ayres (1936) inició estudios sobre el control de la erosión hídrica.

Smith (1938) pretendió evaluar la pérdida de los suelos por su uso agrícola. Laws y Zingg (1940) estudian el efecto de la lluvia sobre el suelo mientras que, Wischmeyer y Smith (1955) estiman, a través de una ecuación, el índice de erosión por lluvia.

Fournier (1960) establece la relación entre la erosión del suelo y la precipitación creando, en 1962 su primer modelo en el Sahara. Hudson (1961) establece los mecanismos de hidroerosión,

y Olson y Wischmeyer (1963) evaluaron la pérdida de suelo por escorrentías. Onstand (1967) introduce los estudios por computadora, aplicados a la erosión de los suelos. En este mismo año, Redley (1967) estudia la erosión del suelo por el viento y Sneesby (1968) estudia el control de la erosión eólica con base en los parámetros establecidos, al respecto por Bagnold desde 1941.

El Servicio de Conservación de Suelos de los E.U. (1971), edita un método para estimar el volumen de la pérdida del suelo por escorrentías. Además, centraliza todos los datos sobre investigaciones de erosión efectuadas hasta esa fecha y, en 1975, publica una ecuación denominada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, con la cual se pretende estimar la pérdida de suelo por erosión en varias partes del mundo. Esta ecuación se basa, principalmente, en los trabajos experimentales de Wischmeyer y Smith formulados desde 1958. Elwell (1977) formula una ecuación muy similar, pero específica para los suelos de Africa del Sur. Finalmente, FAO - PNUMA (1980) propuso una metodología específica para estimar la degradación de los suelos en todo el mundo. Esta metodología fue ampliamente utilizada de modo experimental, en la región norte de Africa y su uso se ha extendido rápidamente a Latinoamérica, debido principalmente, a que no requiere de mucha información, ni de cálculos complejos para su aplicación.

## 2.2. Marco teórico conceptual.

La mecánica teórica del equilibrio suelo-roca-erosión natural puede definirse, de acuerdo con Morgan (1979), de la siguiente manera: cuando el sustrato denominado material parental está

intemperizado a la tasa W (micrómetros al año) y el suelo se intemperiza progresivamente hasta que la superficie se reduce de manera que solamente permanece una proporción P (análisis por volumen) del material original. Esta superficie se reduce mecánicamente por medio de la erosión del suelo en la tasa T y los materiales solubles del suelo se retiran a la tasa D; ambas tasas son medidas en unidades equivalentes a  $\mu\text{m}$  de sustrato rocoso por año, donde:

$$W = T + D$$

$$T = W + p$$

La primera de las ecuaciones afirma que la reducción total del sustrato rocoso tiene que ser igual a la eliminación total. La segunda afirma que la superficie se está reduciendo en la misma tasa que la interfase suelo-sustrato rocoso; condición necesaria para la completa renovación del suelo (Kirkby, 1983).

Teóricamente, la erosión acelerada ocurre cuando las fuerzas de arrastre y transporte de materiales son superiores a las de resistencia, remoción y velocidad de formación del suelo (Thornes, 1980).

La erosión acelerada comprende dos variantes fundamentales: la eolización y la hidroerosión. Ambas son intensificadas por causas antropogénicas de carácter tecnológico.

La erosión por efecto del viento o eolización, mecánicamente se inicia con partículas cuyo diámetro oscila en una escala general de 0.1 mm-0.5 mm; mientras que la escala específica oscila entre 0.1 mm y 0.15 mm. Abajo del límite inferior de la escala general las partículas no son susceptibles de ponerse en movi-



miento, debido a las fuerzas de adhesión y cohesión (Fournier, 1975).

Del mismo modo, las partículas cuyo diámetro es superior al de la escala general, tampoco se ponen en movimiento debido al tamaño y al peso.

La primera fase del movimiento eólico se denomina saltación y, si las partículas que determinan este movimiento chocan con otras de menor tamaño, se produce el movimiento denominado suspensión, mientras que si chocan con otras de mayor tamaño se producirá la fricción superficial. Los suelos deshidratados con texturas medias, principalmente migajones, son susceptibles a la eolización.

Teóricamente, los procesos básicos de la erosión hídrica se pueden determinar de acuerdo con la velocidad de infiltración, almacenamiento de agua en el suelo y producción de escorrentía (Thormes, 1980).

La intensidad de precipitación pluvial, que excede la capacidad de infiltración, producirá acumulación de agua en la superficie lo que conducirá a que se presente escorrentía, la cual ocasiona erosión en el suelo.

La hidroerosión se origina cuando un flujo líquido se desplaza sobre la superficie del suelo con capacidad de transporte y dislocamiento de partículas intermedias. Un flujo líquido completamente cargado de sedimentos, tiene una capacidad de transporte mínima, mientras que su capacidad de dislocamiento es máxima.

Existen cinco factores que determinan la intensidad y velocidad de hidroerosión, estos factores son: 1.- erosividad por

precipitación pluvial, 2.- erodabilidad del suelo, 3.- topografía, 4.- vegetación, 5.- control de la erosión.

La consideración de estos factores sirve como guía para predecir la pérdida anual del suelo (en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra), y seleccionar el sistema de cultivo, manejo y prácticas de conservación; además, es factible determinar como pueden aplicarse o modificarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intenso y estimar las pérdidas de suelo, en áreas con un uso distinto del agrícola.

De acuerdo con Wischmeyer (1960), el factor de erosividad por efecto de la lluvia se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 min; considerándose de un modo secundario el tamaño de la gota.

FAO (1979) utiliza para determinar este factor, el índice establecido por Fournier (1960), donde únicamente se estima la energía cinética de la lluvia.

El factor de erosividad del suelo se determina a través de una descripción morfológica y apreciación cuantitativa de la erodabilidad inherente a un suelo determinado (Kent, 1980). Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas, cuando los demás factores que producen la erosión son los mismos.

La erodabilidad del suelo está en función de la infiltración, la permeabilidad, la capacidad hídrica total, la dispersión y las fuerzas de transporte. Se requieren cinco características del suelo para determinar cuantitativamente el grado de erodabilidad como

son: a) porcentaje de limos+arena muy fina, b) porcentaje de arena, c) contenido de materia orgánica, d) estructura y e) permeabilidad (Wischmeyer, 1960).

La topografía corresponde a los efectos de la longitud y al gradiente de una pendiente, que a su vez, se evalúan como un factor topográfico único susceptible de ser estimado de acuerdo con la ecuación de Smith y Wischmeyer (1957) la cual, aunque es de uso general, tiene el defecto de sobre estimar la pérdida del suelo en las pendientes cóncavas y subestimar la pérdida en las pendientes convexas. Teóricamente, esta ecuación sólo debe utilizarse para las pendientes aisladas uniformes. En perfiles de pendientes complejas se recomienda utilizar la ecuación de Foster y Wischmeyer (1974).

Se debe estimar de modo general al menos tres clases de pendientes que son: a) pendientes completamente cubiertas de vegetación, b) pendientes parcialmente cubiertas de vegetación y c) pendientes con ausencia de vegetación (raras). Las escorrentías y la erosión hídrica son directamente proporcionales con el grado, longitud y cubierta vegetal que se presenten. Se estima que la hidroerosión aumenta rápidamente sobre los suelos en pendiente, que presentan menos del 70% de cubierta vegetal, (Copelan, 1965; Branson y Owen, 1970). En los campos arables, con pendiente, la erosión disminuye a medida que el cultivo se vuelve más denso, y estas disminuciones son más marcadas cuando las plantas cubren más del 30% de la superficie (Elwell, 1976).

En los E.U. en pendientes con ausencia de vegetación, se han registrado tasas de erosión mucho mayores a  $20 \text{ kg/m}^2$  al año (Bennet, 1939).

La vegetación, principalmente la que presenta raíces profundas, tiene un efecto favorable para controlar la erosión dado que tiene mayor cantidad de partículas del suelo adheridas a estas raíces. Además, aumenta la profundidad a que se produce la evapotranspiración, con lo cual el suelo presenta mayor humedad en su perfil y, consecuentemente, dificulta la erosión eólica.

Las superficies compactadas con escasa vegetación aumentan la escorrentía. Las capas endurecidas que se forman en la labor de arada aumentan el riesgo de movimiento en masas someras, como arrastre de suelo y solifluxión (Flores, 1987).

La vegetación constituye la mejor protección del suelo contra la erosión. El grado de protección depende del tipo de vegetación y, de modo especial, del porcentaje y tipo de cubierta vegetal que sostiene. De tal modo, un suelo que presenta sotobosque, con porcentaje de cubrimiento del suelo por follaje de 60% - 80%, protege a este sustrato seis veces más que un suelo sin sotobosque y, por lo menos, 50 veces más que un cultivo de maíz (FAO-PNUMA, 1980). La intensidad y velocidad de erosión del suelo es inversamente proporcional con la cantidad de vegetación que cubre al suelo.

La vegetación, además, provee de materia orgánica al suelo, la cual es muy importante para mantener un régimen de humedad estable durante el año y una permeabilidad elevada. Como la materia orgánica se acumula cerca de la superficie, parecería susceptible de erosionarse primero; sin embargo, esto no suele ser un problema debido a su alta permeabilidad, ya que la fuerza de sus agregados reduce al mínimo el peligro del flujo superficial. La pérdida

de materia orgánica depende mucho más del manejo de la cubierta vegetal, por ejemplo: la remoción parcial de vegetación al enviar las cosechas al mercado, o mediante el pastoreo, o por medio del desmonte total, impide la incorporación de la materia vegetal muerta al suelo como fuente de nueva materia orgánica (Kirkby, 1983).

Además origina una pérdida proporcional de sustancias nutritivas para las plantas y, en un clima seco, puede llegar a ocasionar fenómenos de aridización en el suelo, principalmente por efecto de evapotranspiración, acelerándose ambos procesos hasta formar una superficie completamente estéril. El clareo y quema de la vegetación aceleran considerablemente los procesos de lixiviación y acidificación del suelo; dado que las bases contenidas en las cenizas son fácilmente arrastradas por el drenaje interno. Esto afecta la fertilidad natural en los suelos deforestados, elevándose el proceso de acidificación, especialmente en los suelos con textura ligera. El riego excesivo también puede causar lixiviación y elevar la acidez equivalente.

### 2.3. La erosión en México: cronología, causas y consecuencias.

Los estudios antropológicos coinciden al afirmar que la aparición del hombre, en la cuenca de México, fue hace más de 10,000 años. Los primeros hombres que llegaron a este lugar eran nómadas, pero al establecerse en pueblos sedentarios comenzaron a modificar el ecosistema, ya fuese como cazadores, pescadores o como agricultores (Andrade, 1975).

A medida que la población iba aumentando, fue necesario incrementar las áreas dedicadas al cultivo, así como los terrenos que

se dedicaban a la construcción de casas y caminos. Desde esa época, el crecimiento de las zonas urbanas provocaron la invasión de los terrenos agrícolas adyacentes, y la deforestación de los bosques aledaños, con el fin de obtener leña, no solamente para usos domésticos, sino también, para producir la cal indispensable para conservar y construir los edificios.

Por tanto, las áreas devastadas comenzaron a erosionarse (Rey, 1975). La fundación de Tenochtitlán obligó a sus moradores a obtener inicialmente su alimentación de los recursos acuáticos. Sin embargo, esta práctica, fue insuficiente debido al aumento de la población, lo que obligó a sus moradores a sostenerse, también, de la agricultura.

Aunque no hay datos precisos que reflejen los conocimientos que existían sobre el suelo y su manejo, es posible deducir a través de la interpretación de los diferentes códigos el uso de prácticas inadecuadas que aceleraron el deterioro del suelo (Pérez, 1975).

A la llegada de los españoles, el suelo fue desordenadamente explotado, no existiendo, en general, mentalidad de respeto y conservación para este recurso. Lógicamente, eso trajo consigo una mayor necesidad de aumentar el área utilizable de los terrenos dedicados principalmente, para introducción de nuevos cultivos que, como era lógico, discriminaban al maíz (Bifano, 1946; Bassols, 1982). Además con la introducción de prácticas pecuarias, se requirió de buenos pastos que se "lograban" a través de quemas sucesivas; prácticas que aún sigue vigente (Rey, 1979).

A estos hechos hay que agregar que los españoles trajeron la

costumbre del uso del motor de sangre, la rueda y otras herramientas, lo cual facilitó el manejo extensivo de las áreas de cultivo en su propio provecho y, al mismo tiempo, la destrucción de muchos recursos, así como el desequilibrio de la mayoría de los ecosistemas circundantes al área que ocupaban (Bassols, 1983; García, 1984).

Como hasta ahora se ha visto, la época prehispánica y la colonial, no se caracterizaron precisamente por la conservación del suelo, ya que las personas que lo explotaban no tenían noción alguna de lo que representaría a la larga su mal uso o, quizá por el momento, no les importaba eso, debido a que el territorio nacional, en aquella época, era de más de 4 millones de km<sup>2</sup> con una población muy baja (Rey, 1979; García, 1984).

La minería, los medios de comunicación, los métodos de labranza indiscriminados, la tala de los bosques, las quemadas sucesivas de la vegetación, la conversión de terrenos forestales en agrícolas, la desecación de los nacimientos de agua e inclusive la contaminación biológica y química producida por desechos orgánicos industriales y mineros, contribuyeron a la degradación de los suelos, principalmente por hidroerosión y eolización, la cual se fue acelerando debido a la destrucción, sin reposición, de los recursos naturales renovables, aunando el persistente incremento de la población.

La Historia nos muestra con hechos que, aún en el México independiente, la situación no cambió respecto al uso de las tierras y su relación con el problema de la erosión. Únicamente se elaboraron algunas soluciones teóricas, la mayoría de carácter

legal y ninguna de carácter-técnico (Bifano, 1946).

#### 2.4. Medidas adoptadas.

Los métodos de control de erosión que se utilizan en nuestro país son, generalmente, la delineación de los contornos, el cultivo en franjas de contorno, el terráceo y, con menor frecuencia, la labranza de conservación, la rotación de cultivos y la retención o incorporación de los residuos.

Globalmente, estos métodos son poco utilizados, por lo que en muchas ocasiones la tolerancia a la pérdida por erosión para un suelo específico es rebasada; principalmente cuando se establecen cultivos de temporal. La conservación de los suelos no es en su nivel más simple, un problema técnico o de ingeniería, sino económico y social. Por lo tanto no es sorprendente que no se practiquen ampliamente en nuestro país, no obstante que la erosión es causa de gran preocupación.

En las primeras décadas de este siglo (1910-1920) fueron establecidas brigadas que tenían la encomienda de formar en cada población o ejido, distante de la capital hasta 200 km, comités de conservación de suelos y aguas. Esta acción fue insuficiente (Bassols, 1982).

En los años próximos anteriores a la Segunda Guerra Mundial (1935-1940), el problema de la erosión en nuestro país se intensificó de modo alarmante. En esa época no solo México se había percatado de este problema, sino que otros países ya lo habían tratado. Probablemente la referencia más gráfica la tenía Europa, cuando Italia aprovechó lo que ya se empezaba a llamar erosión del suelo, para hacer modificaciones al paisaje y mejorar la



calidad de sus corrientes (Martínez, 1984). También, durante esos años, en los E. U. la tecnificación de su agricultura estaba enfrentando el problema de la erosión, tanto hídrica como eólica, lo cual motivó una serie de reuniones sobre estos fenómenos en las que participó un grupo de especialistas mexicanos. El informe de este grupo técnico permitió que en 1942, el secretario de Agricultura y Fomento creara un departamento con la denominación de "Conservación del Suelo", oficina que empezó a estudiar el problema ya en forma integrada. Los primeros técnicos encargados de la conservación fueron el Ing. Lorenzo R. Patiño y el Ing. Marte R. Gómez.

En Noviembre de 1945 se aprobó la Ley de Conservación de Suelos y Aguas (Bifano, 1946).

Los trabajos sobre conservación de suelo y agua se iniciaron institucionalmente a partir de 1946 (Lagos, 1984). Las primeras estimaciones consideraban que más de 30 millones de hectáreas del Territorio Nacional estaban totalmente erosionadas y que, aproximadamente, 53 millones de hectáreas estaban afectadas por un proceso de erosión muy acelerado. FAO en 1954 consideró, a través de su estudio cartográfico, que más del 60% del país presentaba diferentes grados de erosión.

En 1956 se iniciaron en el país los estudios del suelo en forma sistemática, principalmente los estudios sobre la génesis de este recurso, siendo el M. en C. Nicolás Aguilera Herrera el pionero sobre los estudios de suelos volcánicos en el país (Gama, 1985).

No obstante que los estudios sobre génesis y clasificación

se intensificaron, principalmente durante la década de los 70's, los estudios sobre la conservación y erosión del suelo siguieron virtualmente estancados a pesar de que la degradación de los suelos seguía incrementándose. A finales de la década de los años 70's, diferentes instituciones gubernamentales intentaron, en diversas formas, atacar este problema. Casi todas ellas de modo directo, es decir, mediante la creación de obras de infraestructura tendientes a disminuir la erosión. No obstante, fue poco lo que se obtuvo debido principalmente, a que la situación no cambió respecto al mal uso de las tierras y al crecimiento demográfico incontrolado. Tal es el caso de la Ciudad de México que en el año de 1787 se intensificó hasta un promedio de 14 habitantes/héctarea (Rey, 1984).

Esto originó la necesidad de abrir nuevas tierras al cultivo y a la urbanización, para dar alimento y habitación a todos estos pobladores, desencadenándose nuevamente la tala inmoderada de los bosques y, por lo tanto, el uso inadecuado de los suelos.

Esta problemática ha originado, en consecuencia, una baja productividad acelerando en cantidad e intensidad el deterioro de los suelos. En algunas regiones aledañas a la Ciudad de México llegó a desaparecer la cubierta vegetal, hasta llegar al afloramiento de la capa que se denomina tepetate (Rojas y Sanders, 1985).

Según Valdéz (1970) los climas áridos y semiáridos propiciaron la formación del tepetate. Además, los procesos de aridización, originados por las causas antropogénicas antes citadas, no sólo facilitaron la erosión del suelo sino que generaron la formación de capas compactadas y cementadas, estériles, e impenetra

bles para la mayoría de las raíces. Estas áreas tepetatosas se convirtieron en páramos de muy difícil o imposible recuperación.

Estudios más recientes (1979), basados en la utilización de imágenes de satélite Landsat, han permitido iniciar el inventario nacional de erosión. Este material cartográfico se constituyó en una herramienta fundamental para la planeación y programación de las políticas a desarrollar en materia de conservación.

Durante el sexenio de 1976-1982, la Dirección General de Conservación de Suelo y Agua detectó, diagnosticó y realizó obras y prácticas de conservación de suelos en una superficie total de 1'735,934 hectáreas concluyendo que, aproximadamente, el 76% de la superficie del país presenta erosión y que, de esta erosión, menos del 10% puede considerarse severa (García, 1984).

En 1983, el Centro Científico de América Latina, así como el Departamento del Inventario Nacional Forestal (SARH) instaló un programa de detección de zonas erosionadas en México mediante imágenes de satélite Earts-1 de las bandas 4, 5 y 7 impresas en falso color y amplificadas a una escala de 1:250 000.

Los objetivos de estas instituciones, son las de elaborar una metodología que permite ubicar y cuantificar la erosión en sus diversos grados y en el menor tiempo posible.

Por otra parte, algunas instituciones Universitarias como son el Instituto de Geología, Geografía, Ecología, así como la Facultad de Ciencias, actualmente establecen ensayos e investigaciones formales sobre la degradación física, química y biológica de los suelos, los cuales aportan un progresivo perfeccionamiento en torno a las alternativas posibles de solución para

controlar el deterioro del suelo.

El uso de biomejoradores es una de las alternativas más importantes, que pueden contribuir en un futuro inmediato a la recuperación de los suelos (Palacios, et al., 1985).

## Capítulo II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION.

### 3. OBJETIVOS.

#### 3.1. Objetivo general.

Esta tesis pretende aportar datos, en términos cuantitativos y cualitativos, que contribuyan a un diagnóstico semidetallado del riesgo a la degradación, degradación actual y potencial de los suelos forestales de regiones templadas en el Eje Neovolcánico. Para tal propósito, se estudiaron los factores ambientales, con base en la revisión de información existente y la generada durante el curso de este trabajo, así como en la interpretación de los factores ambientales que influyen en la amplitud y la intensidad de este fenómeno.

#### 3.2. Objetivos específicos.

1.- Seleccionar una área representativa de un ecosistema forestal, típico de zonas templadas, en el cual se manifieste la degradación natural o acelerada de los suelos.

2.- Seleccionar una metodología y escala de trabajo adecuadas, no sólo para determinar cuantitativamente la magnitud de la perturbación ecológica sino que, además permita evaluar, la acción dinámica de cada uno de los factores ambientales que producen o que originan la degradación de los suelos.

3.- Modificar esta metodología con base a la problemática particular y a la cantidad y calidad de la información disponible y confiable.

4.- Evaluación de los factores ambientales:

a) Litología.- Fragilidad del sustrato y valorización de la pérdida permisible de suelo.

b) Clima.- Agresividad climática zonal.

c) Topografía.- Morfogénesis, morfometría, morfografía y morfo-dinámica regional, medición y valorización de las pendientes en sus tres componentes: longitud, gradiente y forma.

d) Suelo.- Grado de erodabilidad.

e) Vegetación.- Cobertura vegetal, su degradación actual y sus causas.

f) Conservación.- Valorización de las prácticas tecnológicas orientadas al control de la degradación.

### 3.3. Objetivos colaterales.

1) Crear conciencia entre la población sobre el continuo y severo deterioro de los ecosistemas.

2) Promover investigaciones sobre la degradación y conservación del suelo.

## 4.- HIPOTESIS.

Todos los ecosistemas forestales no alterados que se localizan en zonas templadas muestran un equilibrio metaestable por efecto entre el suelo, la vegetación y el agua. La ruptura de ese equilibrio rara vez se debe a un agente natural, en la mayoría de las veces es el hombre el que lo propicia, principalmente por cambios en el uso del suelo. La ruptura de ese equilibrio siempre producirá una degradación del medio ambiente que se manifiesta principalmente en la vegetación y en los suelos.

Con base en la hipótesis anterior es posible establecer las siguientes proposiciones.

- La degradación de los ecosistemas forestales de zonas templadas, representa el principal problema ambiental para la mayoría de los países en desarrollo.

- Esta degradación, casi en su totalidad, se origina por causas antropogénicas, y se acentúa principalmente en las zonas templadas, en virtud de que estas zonas, son las áreas con mayor concentración de población.

- La degradación, como fenómeno natural o inducido puede ser objeto de un análisis factorial. El análisis de los resultados permite obtener datos científicos, a partir de los cuales las conclusiones sobre la intensidad y velocidad de la degradación, así como de su origen.

- En consecuencia el estudio de la degradación requiere del uso de una metodología y técnicas que permitan evaluar a cada uno de los factores ambientales y antropogénicos que la originan o que inciden sobre ella.

### Capítulo III: LEVANTAMIENTO DE INFORMACION GENERAL PARA EL AREA DE ESTUDIO.

#### 5. CARACTERIZACION GENERAL.

El área de estudio representa un ecosistema forestal muy degradado, principalmente por las actividades agrícolas y prácticas de la región, que resulta típico de las zonas templado subhúmedas, tanto de origen volcánico reciente como metamórfico, localizadas en toda la Provincia del Eje Neovolcánico.

##### 5.1. Selección del área de estudio.

El área fue seleccionada como resultado de una ordenación, análisis y evaluación previas, de las principales regiones de México con mayor riesgo a la degradación de los suelos y, en general, del ambiente integral.

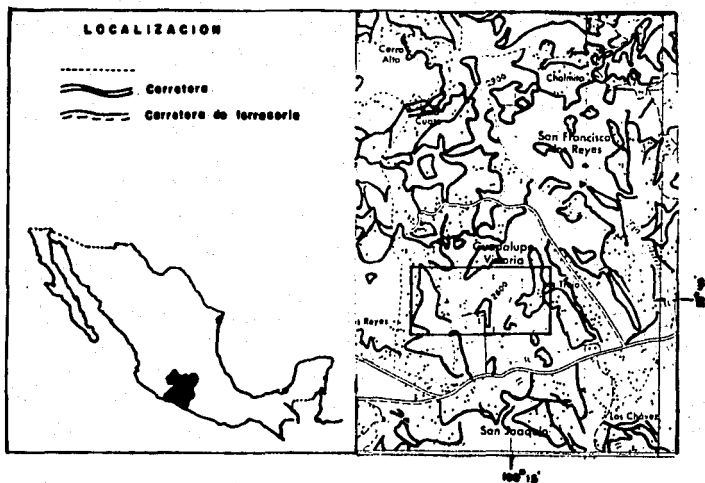
La delimitación de estas regiones, potencialmente muy degradables, fue determinada por el estudio analógico y digital de imágenes Landsat I y II, análisis de cartografía temática, métodos fotointerpretativos e investigación documental sobre aspectos ecológicos, geográficos, sociales y económicos.

##### 5.2. Localización del área de estudio.

El área de estudio ocupa una superficie aproximada de 1,000 hectáreas, localizada como se cita anteriormente, en la provincia del Eje Neovolcánico, subprovincia Mil Cumbre, en la porción Noroeste del Estado de Michoacán. Localmente está incluida en la Topografía denominada Sierra Compleja (INEGI, 1985). Geográficamente se localiza en el paralelo 19° 46' lat. N y en el meridiano 100°15' long. W de Greenwich (Fig. 1).



## LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



### 5.3. Aspectos socioeconómicos.

En esta área están incluidas las poblaciones Manzana de Guadalupe Victoria y San Francisco de los Reyes, pertenecientes al Municipio de Tlalpujahua; los cuales se comunican con la Ciudad de México a través de la carretera federal Número 15 que llega a Toluca y, de ahí, se adentra en territorio michoacano, pasando por Zitácuaro, Ciudad Hidalgo hasta la capital estatal Morelia.

La localidad Manzana de Guadalupe Victoria está constituida por una población menor a 1,000 habitantes, quienes cuentan con

servicios de agua, luz, escuela primaria, iglesia, pero carece de drenaje, jardines y de centros de salud y recreo.

La principal actividad es la agricultura de temporal con limitaciones, y con tracción animal estacional. Dada la topografía, no es factible introducir riego y sólo se puede obtener un ciclo agrícola, aprovechando la temporada de lluvias. Los cultivos principales son: maíz, trigo, avena, haba y forrajes en general (INEGI, 1985). Los campos de cultivo generalmente, son parcelas pequeñas no mayores a dos hectáreas, por lo que las cosechas son únicamente para consumo de los propios agricultores (Comunicación directa con los campesinos).

#### 5.4. Descripción fisiográfica.

##### 5.4.1. Hidrología.

El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca hidrográfica "Río Lerma Toluca" (RH12). Con un sistema de drenaje de tipo dendrítico, generalmente uniforme y poco denso.

Esta cuenca tiene como corriente principal el Río Lerma, el cual actualmente presenta bajas considerables en su volumen, debido al consumo que se ha hecho de sus aguas para abastecer a los habitantes del D.F. de agua potable y para irrigar todas las zonas agrícolas que cruza en su recorrido. Además, los gastos medios de los afluentes que lo alimentan en esta zona han disminuido, dado un promedio de 7.6 m<sup>3</sup>/seg. en el parcial de esta cuenca y un 2.03% a nivel estatal en volúmenes escurridos (García, 1980).

De acuerdo con INEGI (1980), geohidrologicamente la explotación de los acuíferos en la cuenca de estudio no es costosa debido, a su altitud y al nivel del agua que se encuentra demasiado

profundo, ya que el agua de precipitación pluvial se drena por las partes bajas que rodean a esta región, donde ocasionalmente surgen en forma de manantiales.

#### 5.4.2. Relieve.

Con base en el manual USDA, 18 (1975) el relieve varía de normal a excesivo, caracterizándose este último por presentar colinas y tierras altas colinosas que tienen agua de escurrimiento de rápidas a muy rápidas, y una erosión bastante notable que, en varios casos, impide el desarrollo del suelo. Es notable también, el escaso crecimiento de vegetación, la cual generalmente, está muy perturbada.

Morfológicamente predominan lomeríos basálticos, conos céntricos y, en menor proporción, algunas mesetas lávicas escalonadas, así como pequeños valles intermontanos. Todos ellos son formas terrestres que indican una intensa actividad endógena de tipo volcánico explosivo ocurrida durante el Cenozoico Superior, y una exógena, propiciada inicialmente por acción de la erosión geológica o natural, que se caracteriza principalmente, por la presencia de algunas cañadas y sistemas de drenaje externo.

#### 5.4.3. Geología.

Geológicamente, las rocas más antiguas, identificadas en esta provincia, corresponden principalmente, a una secuencia de rocas volcánica andesíticas, metamórficas y, de modo secundario, a rocas sedimentarias de granulometría fina que sobreyacen a areniscas; características de un depósito de arco insular magmático (INEGI, 1985).

Este conjunto litológico se metamorfizó y está representado

cartográficamente como neovolcánico; posiblemente como del Jurásico-Cretácico (DETENAL, 1980). Estas rocas afloran en el área de Zitácuaro, Tlalpujahuá y Maravatío.

Las rocas metamórficas que llegan a aflorar, principalmente en las zonas muy erosionadas del área de estudio, están representadas por facies de esquistos verdes originados a partir de rocas sedimentarias y volcánicas. Con alguna frecuencia, sobreyacen a estas rocas metamórficas, rocas andesíticas, tobas y brechas volcánicas intermedias, que en general presentan coloraciones pardos-amarillentas, según su grado de intemperismo. Su fracturamiento varía de moderado a intenso.

Las rocas de tipo filitas, pizarras, evaporitas, grabaucas, calizas y areniscas volcánicas, también afloran en esta área, aunque con menor frecuencia. De acuerdo con INEGI (1985) estas rocas están afectadas por metamorfismo regional de bajo grado, presentando comunmente foliación con micropliegues.

Los afloramientos litológicos constituyen en esta región, accidentes del relieve, los cuales desempeñan un papel importante en la distribución de los climas.

La orientación de las líneas de relieve contribuyen eficazmente a determinar el curso de los vientos que tienden a seguir a lo largo de dichas líneas, sin atravesarlas. Los valles y las tierras bajas presentan, con frecuencia, inversiones de temperatura, las cuales pueden originar severas heladas.

#### 5.4.4. Clima y vegetación.

El clima corresponde al señalado por la Estación de Tlalpujahuá, y se clasifica como:

Templado subhúmedo, (temperatura media anual entre 12°C y 18°C, y la del mes más frío entre -3°C y 18°C) con régimen de lluvia de Verano, el más húmedo de los subhúmedos (con un cociente de precipitación total anual/temperatura media anual mayor de 55.0); con menos del 5% de lluvia invernal, con Verano fresco y largo (temperatura media del mes más caliente menor a 22°C), isotermal (diferencia en temperatura entre el mes más frío y el mes más caliente del año menor de 5°C) y marcha anual de la temperatura tipo ganges (mes más caliente antes del mes de Junio).  $Cw_2(w)$  big (García, 1988). Este tipo climático es característico de las altitudes comprendidas entre 1800-2000 m.s.n.m. comprende además del área de estudio, al macizo de la meseta Tarasca y algunas Sierras de Mil Cumbres (INEGI, 1985).

Con relación al edafoclima, de acuerdo con la carta DETENAL (1983) el suelo permanece húmedo durante 8 meses mostrando una deficiencia de humedad de aproximadamente 200 mm. Este tipo de clima ha favorecido el desarrollo de formaciones vegetales muy características como son según Rzendowski (1985), el bosque mixto de Pinus-Quercus, bosque de Quercus y bosque de Abies. Los bosques y pastizales se encuentran muy perturbados por procesos antropogénicos. El sotobosque prácticamente no existe debido a esta perturbación, por lo que los porcentajes de cobertura y densidad del bosque sobre los suelos son bajos.

Las principales especies forestales del área son: Pinus douglasiana, P. teocote, P. pseudostrobus, P. ayacahuite, P. hartweggi, P. patula, Arbutus xalapensis, Abies religiosa, Crataegus mexicana, Carpinus caroliniana, Alnus sp. (INEGI, 1985; SARH, 1958).

Se estima que aproximadamente, el 38% de la superficie total de la subprovincia de Mil Cumbres, donde se ubica esta zona, está cubierta principalmente por bosques de Pino (INEGI, 1985).

Es muy frecuente que grandes áreas, originalmente forestales, estén actualmente dedicadas a la agricultura y a pastizales inducidos. El pastizal inducido ocupa el 14% de la subprovincia de Mil Cumbres, ubicado en forma de manchones y en una gran variedad de sistemas de topografías a altitudes que varían de 1,000 a 2,500 m.s.n.m. Es frecuente encontrar pastizales compartidos con agricultura de temporal, o bien con bosques de Oyamel (Abies religiosa) (INEGI, 1985; García, 1980).

#### 5.4.5 Suelos.

En esta área predominan los suelos forestales representados en orden de abundancia según la cartografía de INEGI (1980) por: Luvisoles crómicos, Cambisoles crómicos, Litosoles, Regozoles eutríficos, Andosoles y algunos Feozems lúvicos.

En el caso de los Luvisoles y de los Feozems lúvicos, generalmente se caracterizan por presentar cromas en el horizonte A o en el B, menores que 10 YR; texturas arcillosas, migajones arcillosos, o migajones arcillo-limosos. Por otro lado, los Cambisoles, Litosoles, Feozems y Andosoles presentan texturas medias (INEGI, 1980).

Todos estos suelos muestran diferentes grados de perturbación, tanto física como química o biológica. No obstante, no presentan problemas de salinidad o sodicidad. La erosión hídrica, así como la erosión eólica es muy manifiesta en todos estos suelos.

Los suelos que se presentan en esta zona son de aptitud fo  
restal y su formación está condicionada principalmente a los  
factores: roca parental, clima, vegetación y de modo secundario  
a los efectos del relieve y el tiempo.

## Capítulo IV: ELABORACION, ANALISIS Y SELECCION DE DATOS ESPECIFICOS.

### 6. MATERIALES Y METODOS.

#### 6.1. Trabajo de gabinete, campo y laboratorio.

Una vez seleccionada, localizada y caracterizada el área de estudio, se establecieron los criterios de trabajo más adecuados para evaluar cuantitativamente y a nivel regional, el riesgo a la degradación de los suelos, la degradación actual, la pérdida permisible y la pérdida teórica o potencial.

La metodología empleada de modo específico para esta área fue formulada según las especificaciones propuestas por INEGI (1985); Van Der Hammen (1983); FAO-PNUMA (1979) y SCS, USDA (1975) y, de modo secundario, se utilizaron las indicaciones propuestas por USLE (1983), ORTOM, (1980) y FAO (1970).

Esta metodología se aplicó en las tres etapas descritas a continuación:

Etapa I-Gabinete: comprende inicialmente, la ordenación de la información básica y la foto-interpretación preeliminar y posteriormente, el trabajo de campo y laboratorio.

Etapa II-Campo: comprende la apertura, muestreo y clasificación de los suelos típicos del área; las observaciones y mediciones del declive; los transectos, el levantamiento de vegetación y la realización de encuestas socioeconómicas.

Etapa III-Laboratorio: comprende los análisis físicos, químicos, biológicos y mineralógicos de los suelos y rocas recolectadas en la etapa II.



## 6.2. Desarrollo metodológico.

Los eventos que integran a cada etapa, fueron desarrollados en el siguiente orden:

### 6.2.1. Fotointerpretación preliminar.

Con base en la información recopilada y mediante el uso de fotografías afeas pancromáticas en blanco y negro, escala 1: 30 000, vuelo 040 y 041, Diciembre 1984, se procedió al establecimiento de los posibles transectos para el estudio de la vegetación, estaciones para medición del declive y sitios para el muestreo de epípidones de suelo y de rocas.

### 6.2.2. Inspección preliminar de campo.

Consistió en ratificar o rectificar en campo, la exactitud con que fueron previamente seleccionados los transectos, estaciones y sitios de muestreo, mediante el proceso fotointerpretativo, corrigiendo en su caso, los errores o deficiencias de la información contenida en las fotografías aéreas, y se establecieron, de modo definitivo, 5 transectos para el levantamiento de vegetación; 35 sitios para observación y medición del declive y 20 sitios de muestreo de rocas y suelos estudiados.

Para los levantamientos de vegetación, se consideró necesario, que estos se hicieron en dos épocas: a) durante la temporada de lluvias, y b) durante la temporada de sequía, con el fin de evaluar la variación estacional en el porcentaje de cobertura vegetal.

### 6.2.3. Trabajo de campo.

Los primeros levantamientos de vegetación se realizaron durante el mes de Agosto de 1987, de acuerdo con el método de Van

Der Hammen (1983). Durante este mes, fueron realizadas también las mediciones del relieve local en su totalidad. Estas mediciones se hicieron utilizando un clisfmetro convencional.

La segunda fase de los levantamientos de vegetación, así como la apertura y muestreo de suelos y de rocas, fue realizada durante el mes de Diciembre de 1987. Durante este mes se hicieron además, una serie de encuestas de carácter socioeconómico en las poblaciones de San Francisco de los Reyes y Manzana de Guadalupe Victoria.

#### 6.2.4. Análisis de laboratorio.

En cada una de las muestras obtenidas de los horizontes superficiales de suelo, se determinaron las siguientes propiedades físicas y químicas:

a) Color, determinado con las tablas Munsell en muestras de suelo secas y húmedas (Munsell soil Chart, 1975).

b) Textura, según el método de Bouyoucos (1963).

c) Relación limo-arcilla, por el método de fraccionamiento de partículas y análisis del tamaño de partículas (In. Methods of soil analysis Part. 1. C.A. Black editor, 1965 American Society of Agronomy, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA).

d) Permeabilidad, por el método propuesto en "Laboratory manual Soil Science. Iowa State University, IOWA, USA (1980)."

e) pH, se determinó con un potenciómetro marca Metrohm modelo Herisau, en una relación suelo-agua 1:2.5 (Jackson, 1964).

f) Materia orgánica, se determinó por el método de Walkey y Black 1947 (modificado por Walkey en 1943), haciendo una digestión húmeda con dicromato de potasio y con calefacción espontánea por dilución con ácido sulfúrico para determinar con solución

0.5 N de sulfato ferroso.

g) Capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.), se realizó percolando el suelo con amonio y posteriormente se destiló en Kjendal recibiendo el destilado en ácido bórico para formar borato de amonio y poder así cuantificar el ácido sulfúrico (Peech, 1947).

h) Determinación Ca-Mg intercambiables. Fueron extraídos del suelo, con una solución de acetato de amonio 1.0 N a un pH = 7.0, por percolación y titulando con EDTA (Jackson, 1964).

i) Determinación Na y K intercambiables. Fueron extraídos del suelo con una solución de acetato de amonio 1.0 N a pH = 7.0 por percolación y, posteriormente, determinados por flamometría (Jackson, 1964).

j) Determinación de N total por digestión Kjendal (AOAC, 1970).

l) Las muestras de roca, fueron analizadas para determinar su mineralogía, a través del método de observación petrográfica sugerida por Fassbender (1967) y Fassbender (1987).

### 6.3. Reinterpretación.

Mediante el análisis y selección de la información obtenida en las etapas anteriormente citadas, se procedió al establecimiento de un método de evaluación de la degradación específica para el área estudiada. Este método fue básicamente paramétrico, dado que no fue posible establecer ningún modelo matemático operacional, en virtud de que no existe en el país suficiente información para ello.

#### 6.4. Métodos paramétricos.

Estos métodos se basaron principalmente, en la metodología provisional sugerida por FAO-PNUMA (1980) para la evaluación de la degradación. No obstante, considerando que la metodología FAO resulta muy general en sus apreciaciones, se procedió a modificar esta metodología para obtener un nivel semidetallado del estudio. Estas modificaciones son totalmente congruentes con la calidad y cantidad de la información obtenida para la zona, por lo que se consideró que tales modificaciones resultan totalmente aceptables.

Las fórmulas paramétricas empleadas en este trabajo pueden expresarse de la siguiente manera:

a) Fórmula general de la degradación  
(FAO-PNUMA, 1980).

$$D = f(C, T, S, V, L, M) \dots 1$$

donde D = degradación del suelo

C = factor de agresividad climática

T = factor topografía

S = factor suelo

V = factor vegetación natural

\*L = factor uso de la tierra

\*M = factor explotación

b) Fórmula modificada empleada en este estudio:

$$D = f(C, T, K, V, P)$$

donde D = degradación del suelo

C = factor de agresividad climática

T = factor topografía

K = factor erodabilidad del suelo

V = factor vegetación natural y cultivos

P = factor de conservación

Opcionalmente, se consideró necesario evaluar el factor de medidas de conservación del suelo (P), el cual, aunque no se contempla en la fórmula general anteriormente descrita por FAO-PNUMA (1980), fue posible evaluar a través de observaciones y mediciones directas en campo, así como por el uso de técnicas de fotointerpretación. Los factores L y M no fueron incluidos en este estudio debido a lo deficiente y escaso de la información relativa a ellos.

\* no utilizados en este estudio.

6.4.1. Factores de evaluación cuantitativa de la hidroerosión.

6.4.1.1. El factor C fue calculado por el empleo del índice de Fournier (1960) modificado por FAO (1980), utilizándose la siguiente ecuación:

$$f = \sum_{-1}^{12} \frac{p^2}{P} \dots\dots\dots 2$$

donde:  $p^2$  = pluviometría media mensual.  
P = pluviometría promedia anual.

6.4.1.2. El factor T fue calculado determinando la longitud y el gradiente (L y S) de cada pendiente, utilizando para ello el nomograma propuesto por Foster y Wischmeyer (1974) y la ecuación propuesta por estos mismos autores para calcular la pérdida de los suelos en los perfiles topográficos complejos.

La ecuación empleada fue:

donde: LS = factor T

X = grado de pendiente

22.13 = longitud de parcela experimental (Wischmeyer, 1974)

m = exponente en función de pendiente

m = 0.5 si la pendiente 5%

m = 0.4 si la pendiente 5% y 3%

m = 0.3 si la pendiente 3% y 1%

m = 0.2 si la pendiente 1%

\* = factores de corrección del gradiente de pendiente,

6.4.1.3. El factor K fue calculado únicamente para los horizontes superficiales; empleándose para esto el nomograma establecido por A.R.S. (1975), cuya fórmula general es igual a:

$$\frac{L + Amf + A + M.O + E + W \dots\dots\dots 3}{100}$$

donde: L = % limo

Amf = % arena muy fina

A = % arena

M.O = % materia orgánica

E = estructura

W = permeabilidad

6.4.1.4. El factor V fue estimado por dos métodos: el primero es directo, como se citó con anterioridad (Van Der Hammen, 1983), mientras que el segundo es indirecto y fue obtenido por medio del empleo de imágenes y fotografías aéreas.

En ambos casos, se consideró estrictamente necesario para el desarrollo de este trabajo, el obtener los tipos de vegetación natural, su cobertura y su densidad de área. En el caso de los suelos cultivados fue necesario utilizar los valores paramétricos propuestos por FAO-PNUMA (1980), en virtud de que como se cita con anterioridad, los factores L y M no son factibles de estimar directamente; debido a la falta de información.

6.4.1.5. El factor P, como ya se mencionó, fue evaluado mediante observación directa en el campo y mediante el uso de técnicas de teledetección.

## Capítulo V: INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

### 7.- RESULTADOS Y DISCUSION.

#### 7.1. Fotointerpretación y cartografía aplicada al área de estudio.

El análisis e interpretación del material aerocartográfico y de las imágenes orbitales Landsat 4 y 5, según las normas establecidas por el Instituto Internacional para Estudios Aéreos y Ciencias de la Tierra (I.T.C. Holanda, 1975), permitió de modo preliminar:

a) Obtener una perspectiva objetiva e integral sobre la Geografía Física de la entidad (Figura 2).

b) Determinar directamente las principales unidades morfodinámicas que más influyen en la degradación de los suelos como son: Topografía, Litología y Uso del Suelo.

c) Inferir el clima local y el edafoclima a través de la información obtenida con base en los tipos de vegetación presentes, y en las variaciones de tonos en las imágenes.

d) Delimitar la distribución espacial de las áreas afectadas por la hidroerosión; su intensidad y, en algunos casos su tipología.

Con base en esta información y con apoyo en la cartografía temática disponible para esta área, fue posible racionalizar parte de la dinámica de agradación-degradación del entorno (erosión natural) así como sistematizar las principales causas que inducen a la hidroerosión (erosión acelerada).

En el Cuadro No. 1 se presenta, de modo sintetizado, los rasgos más sobresalientes observables en las imágenes y fotografías aéreas.

100° 15'



Imagen característica según ITC (1980) de un paisaje formado por la acción de la denudación, intemperismo, degradación y subsecuente agradación, bajo condiciones de clima templado.





Como puede observarse en el cuadro, un 85% del área total está afectada por procesos de hidroerosión que varía en su intensidad, de moderados a muy severos. El 15% restante del área presenta una erosión ligera, poco susceptible de ser evaluada por los métodos de teledetección utilizados en este estudio, debido principalmente, a la escala de estos materiales, así como a las limitaciones espectrales y textuales que presentan las imágenes y las aerofotografías utilizadas.

Con base en los resultados que se muestran en este cuadro, se infiere que la erosión y su intensidad se incrementan principalmente en función directa con el gradiente y longitud del declive presentes en el relieve local, debido a que no existe porcentaje de cobertura vegetal adecuado que aminore las escorrentías (Figura 2).

El gradiente de las pendientes en casi todos los casos, es considerable (Cuadro 1) por lo que la velocidad de la escorrentía también es importante y, en consecuencia, la erosividad resulta severa. Se observa que cuando el agua desciende por un terreno inclinado se pierde más suelo en la parte inferior que en la superior del mismo (efecto de la aceleración del agua). Existe una relación matemática entre la pérdida de agua en el suelo y la longitud del declive la cual es aproximadamente para la mayoría de estos suelos, igual a la raíz cuadrada de la longitud del declive (USDA, E.C.S., 1989).

La excepción, a esta relación erosión-longitud de declive, la constituyen los suelos que se agrietan (perfiles: 13, 14, 15 16), debido a que gran parte del agua de escorrentía se infiltra

a través de las grietas. Además, el agrietamiento provoca la división en segmentos del declive, efecto muy similar al que produce las terrazas a intervalos, las cuales tienen como objeto interceptar el agua de escurrimiento, disminuir su velocidad y llevarla a cauces donde pueda correr sin deteriorar el terreno. La ecuación propuesta por Onstad, (1967) podría ser utilizada con éxito para medir con mucha exactitud, la pérdida relativa del suelo por unidad de superficie en una pendiente segmentada se debe a las clases de declives que se presentan en el área. El agua meteórica produce una ablación muy considerable, así como una corrosión y denudación muy severas, principalmente, en las pendientes fuertes y montañosas (fig. 2, cuadro 1).

En las tierras llanas, las cuales son muy escasas en esta área, la erosión por el agua es generalmente un problema secundario, hasta el punto de que el problema fundamental que en ella se plantea lo constituye el depósito y transporte de sedimentos por los sistemas de drenaje superficiales a sitios muy distantes; como es el caso de las presas Brockman y Chincua, las cuales frecuentemente presentan problemas severos de azolvamiento por estas causas.

Otros resultados importantes, obtenidos con el empleo de la teledetección, se refieren al uso y manejo de los suelos, a sus contenidos de humedad y a su relación con la erosión. Como puede observarse en la Fig. 2, la variación en colores de blanco a gris oscuro, así como de sus tonos de claros a oscuros se deben, en gran parte, a cada uno de los cinco períodos o fases de cultivo que existían al momento de obtener las aerofotografías. Los

tonos claros, generalmente, corresponden con la etapa de barbecho o de cosecha, los tonos más oscuros, con características del período de sementera y desarrollo radicular y los tonos francamente oscuros con el del período vegetativo.

Este mismo patrón cromático se utilizó para evaluar cualitativamente la intensidad de la erosión y la humedad del suelo. Como sigue: los tonos claros corresponden a la menor intensidad de erosión y los menores contenidos de humedad; los oscuros con una erosión leve o nula y una humedad alta; y los más oscuros con una erosión y humedad moderados (fig. 2).

Esta relación entre patrones de tonos utilizados para establecer las fases de cultivo, la intensidad de la erosión y los contenidos de humedad edáfica, resulta lógica si se considera que durante la etapa de barbecho o de cosecha (tonos claros), la erosión se incrementa y la humedad disminuye; mientras que durante el período vegetativo (tonos oscuros) la erosión disminuye y la humedad aumenta. La disminución de humedad en el suelo propicia aún más la erosión principalmente de tipo eólico. Estas observaciones fueron verificadas en el campo.

## 7.2. Factores ambientales: diagnosis como variables cualitativas y cuantitativas.

### 7.2.1. Factor litología.

No obstante que son escasas las investigaciones a nivel mundial sobre las rocas, como un factor que interviene directa o indirectamente en la erosión acelerada, resulta evidente su importancia (Nogina, 1959).

Los suelos del área de estudio han heredado muchas características físicas, químicas y mineralógicas de la roca madre.

Estas características determinan varias propiedades edáficas: entre otras la textura, estructura y drenaje interno del suelo. Estas tres características son básicas para definir el potencial de erodabilidad de cualquier suelo. De hecho, resulta indispensable conocer las características litológicas de una región para poder evaluar potencialmente el riesgo de erosión de los suelos. De acuerdo con los datos obtenidos a través de los métodos de teledetección, las observaciones realizadas en campo y con base en Bocco (1988), el área de estudio está constituida geológicamente por rocas metamórficas y rocas volcánicas (cuadro 1).

Ambos tipos de rocas constituyen dos Sistemas litológicos muy característicos. Estos Sistemas están afectados severamente por la erosión tanto eólica como hídrica. El Sistema metamórfico es predominante en el área que se estudia (fig. 2) y está representada como se cita en el cuadro 1, principalmente, por esquistos arcillosos, filitas y algunas areniscas metamorfoseadas; mientras que el Sistema de actividad volcánica está representado por coladas de lava, brechas y deposiciones intermitentes de tefra las cuales no solo provocaron el sepultamiento de algunos de los suelos derivados de los materiales metamórficos, próximos a los centros de emisión, sino que generaron una pedogénesis regresiva en muchos otros, en los cuales se observan procesos de haploidización, rejuvenecimiento, remoción y retardo en la formación de horizontes superiores. Estos procesos edáficos han sido considerados como Johnson y Watson (1987) como típicos de las zonas geográficas que se caracterizan por una intensa actividad tectónica y volcánica considerándolas como procesos proisotrópicos de Edafoturbación. Cualquier tipo de edafoturbación provoca siempre un

mayor riesgo de degradación de los suelos.

Los esquistos y rocas foliadas afines presentes en el área de estudio, son producto de metamorfismo regional. Los esquistos según sus características cristalizaron a temperaturas que probablemente variaron de los 200°C a 800°C. Estas rocas están confinadas a las zonas exteriores y superiores de las áreas afectadas por el metamorfismo regional y, como ya se ha citado, subyacen en muchas ocasiones a los materiales volcánicos.

Se observó que la mineralogía de los esquistos está constituida por asociaciones minerales, la más común es moscovita-clorita-cuarzo-albita y en segundo término, biotita-moscovita-cuarzo-albita.

Por estas características mineralógicas se deduce que estos esquistos son de bajo grado metamórfico y que presentan una facie pelítica.

Las pizarras y las filitas presentes son de grano fino, sus tipos más comunes son pelíticas. Sus principales constituyentes observados son la mica blanca, la clorita, el cuarzo y algunos accesorios como la turbalina, rutilo, epidota, esfena y minerales de hierro. Probablemente las filitas representan un mayor grado de metamorfismo y provienen de algunas pizarras.

Las etapas y procesos de intemperismo, y alteración biogeoquímica, tanto en las rocas volcánicas como en las rocas metamórficas, se denotan por la presencia de un mineral o grupo de "minerales tipo" (cuadro 2). El alofano, los sesquióxidos y amorfos "prohaloisiticos", así como con frecuencia la haloisita, son los productos de alteración típicos de las tefras. La montmorillonita

de los basaltos, la hornblenda, olivino, piroxenos, anortita y analcita provienen de las rocas básicas, metamorfoseadas en términos generales. Estos minerales son comunes en todas las zonas volcánicas del país, que presentan condiciones de clima templado.

INDICES DE INTEMPERISMO DE MINERALES  
ARCILLOSOS EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

Cuadro # 2

MINERALES INDICE	SUELOS DERIVADOS DE ROCAS VOLCANICAS ALOFANO-HALOISITA	SUELOS DERIVADOS DE ROCAS METAMORFICAS CAOLINITA-HALOISITA <2 MOSCOVITA-CLORITA- >2 CUARZO-ALBITA
MINERALES EDAFOGENICOS PRESENTES	ALOFANO, SESQUIOXIDOS HALOISITA. MONTMORILLONITA HORNBLENDA Y OLIVINA	CAOLINITA-HALOISITA GIBSITA HEMATITA, MAGNETITA, MICAMOSCOVITA
MINERALES ACCESORIOS PRESENTES	CUARZO-MAGNETITA	ANASTASA-RUTILO-CIRCON TURMALINA-EPIDOTA-ESFENA
INDICE DE INTEMPERISMO (JACKSON)	MODERADAMENTE ALTO VALOR EN LA ESCALA DE JACKSON : 9 - 10	ALTO Y MUY ALTO VALOR EN LA ESCALA DE JACKSON : 10 - 13

Los alofanos representan en esta unidad volcánica, la principal transición entre los minerales primarios y las arcillas (cuadro 2), mientras que, en el área metamórfica, la secuencia general de alteración en la fracción  $< 2\mu$  es mineral ferromagnésiano o plagioclasa-montmorillonita-haloisita-caolinita-gibbsite.

La formación de caolinita ocurrió en ambientes ácidos lluviosos y bien drenados. La montmorillonita se formó en ambientes alcalinos y secos, y el alofano en ambientes con un régimen de humedad edáfico alto (tipo Gdico).

La Unidad metamórfica se caracteriza, además, por la presencia de minerales de alteración con índice de resistencia muy altos al intemperismo; como es el caso de la caolinita, gibbsite, hematita y magnetita, y de minerales accesorios también muy resistentes como son la anastasa, rutilo y circón (cuadro 2).

Estos minerales se forman bajo condiciones de clima más húmedo que el que prevalece hoy en día en la región de estudio; razón por la cual resulta factible suponer que en el área de estudio, ha tenido cambios microclimáticos importantes, provocados por procesos proisotópicos de degradación inducidos por el hombre, la faunaturbación (extinción de especies principalmente escavadoras, por caza inmoderada), así como la floraturbación (tala, quema del bosque y sobrepastoreo), son las principales formas dinámicas que pudieran alterar el microclima e incluso el mesoclima local, provocando mayor pérdida de humedad en el suelo y, en consecuencia, menor alteración mineral, menor agregación entre partículas y mayor escurrimiento superficial, lo cual genera mayor riesgo a la erosión acelerada.



De hecho, este incremento en el escurrimiento provoca una mayor degradación del ecosistema, por efectos de la hidroerosión.

De acuerdo con las observaciones realizadas, las características del escurrimiento son muy contrastantes, tanto en los sistemas volcánicos como en los metamórficos, predominando en esta última, el escurrimiento superficial y la erosión por salpicadura y arroyuelos. Por otra parte, en el sistema volcánico predomina la erosión por cárcavas, debido principalmente a la menor dureza de los materiales y a la mayor permeabilidad de los mismos.

Los flujos superficiales producen una incisión profunda en los materiales subyacentes. Estas incisiones producen un retroceso en las paredes de la cárcava por remoción en masa, ocasionando un ensanchamiento de la cárcava y, en consecuencia, una mayor pérdida de suelo. No obstante, esta relación roca-erosión, está afectada en su dinámica por las formas del relieve, ya que éstas permiten la acumulación del material susceptible de ser erosionado, o su pérdida por efecto de la hidrología de las pendientes.

Aunque no es posible en este estudio relacionar en forma absoluta, los factores correspondientes a litología-relieve-hidrología-erosión, debido principalmente a que se carece de información más precisa y detallada, si es posible establecer algunas correlaciones como son:

- 1) Los principales factores de diferenciación de los patrones erosivos de esta área son las características litológicas, el relieve y la hidrología superficial y subsuperficial.
- 2) Los materiales metamórficos constituyen las formas de relieve más abruptas del área de estudio debido, principalmente, a su mayor estabilidad, mayor ángulo de reposo, coherencia y

mayor resistencia a la alteración.

3) Las principales geoformas metamórficas son lomeríos, cerros y cuestras con pendientes fuertes o moderadas, mientras que en las geoformas de origen volcánico son, fundamentalmente, flujos basálticos, superficies cumbrales, laderas suaves, cuestras, conos y pie de montes acumulativos con pendientes moderadas y, con menor frecuencia, fuertes.

4) La mayor parte de la erosión hídrica por salpicadura o rigolas ocurre en los sistemas metamórficos, mientras que la erosión en cárcavas es dominante en los sistemas volcánicos. Este fenómeno debe tomarse en cuenta para proponer medidas de conservación. En el caso de los sistemas metamórficos, deben implantarse medidas que incrementen la infiltración, en contraposición con los sistemas volcánicos requeridos, los cuales deben ser tendientes a disminuir sus fluidos hidrológicos subsuperficiales por medio de obras de avenamiento adecuado (cuadro 2).

7.2.1.1. Evaluación paramétrica del factor litología.

Con base en la información aportada por el Servicio de Conservación de Suelos, USDA, 1977, se establecieron las siguientes cantidades de pérdidas de suelo permisibles en función de la roca basal y del espesor del suelo (Cuadro 3).

Cuadro # 3

PERDIDAS DE SUELO PERMISIBLES (SCS, 1977)

PERFIL	Perfil: Área de labranza. FACETAS	PROFUNDIDAD en cm.	Roca Basal	Pérdidas de suelo permisible ton/ha/año				
				11	9	7	5	2
1	1F1 - F2	100	Esquistos - Filitas	0				
2	1F3 - 1/3 F5	140	Esquistos			0		
3	1F4	50-100	Esquistos - Filitas		0			
4	1F4	50-100	Esquistos - Filitas		0			
5	1F5	25-50	Filitas - Brechas				0	
6	1F15 - F16	25-50	Filitas - Brechas				0	
7	1F17 - F27 - F29	25	Areniscas - Cuarzíferas					0
8	1F18 - F19	25	Areniscas - Cuarzíferas					0
9	1F20 - F21	25-50	Pizarras y Esquistos				0	
10	1F22 - F23	>100	Filitas - Yesos	0				
11	1F24-F25-F26	25-50	Esquistos - Areniscas				0	
12	1F27	100	Areniscas	0				
13	1F30-F31-F32	100	Areniscas	0				
14	1F33	100	Areniscas	0				
15	1F34	100	Areniscas	0				
16	1F35	>100	Areniscas	0				
17	1F6 - F7 - F8	25-50	Filitas - Brechas				0	
18	1F9 - F10 - F11	25-50	Filitas - Brechas				0	
19	1F12 - F13 - F14	140	Regulitas (Esquistos)			0		
20	1F1	100	Esquistos - Filitas	0				

Debe entenderse como pérdida de suelo permisibles al máximo nivel de erosión que permita un nivel alto de productividad de los cultivos, para que sea sostenido en forma económica e indefinida.

Como puede observarse en el cuadro 3, la naturaleza química de la roca o material parental, sus porcentajes de minerales estables al intemperismo; su área específica por unidad de peso, su composición textural, estructura, densidad, porosidad y conductividad hidráulica, diferentes en cada una de ellas, determinan la capacidad de formación del suelo, su velocidad y, en consecuencia, las pérdidas permisibles de este recurso por la erosión acelerada.

A medida que el material parental (roca, aluvión, coluvión) sea más resistente al intemperismo físico, químico y biológico, los suelos formados en climas templados son de menor espesor, débil desarrollo y mayor susceptibilidad a la erosión (Perfiles 7 y 8). Cuando la velocidad e intensidad de la erosión natural acelerada son mayores que la velocidad e intensidad de alteración edáfica, el suelo se degrada severamente (Perfiles 3 y 4), evoluciona lentamente (Perfiles 2 y 19) o potencialmente puede desaparecer (Perfiles 5, 6, 9, 11, 17 y 18).

Los valores obtenidos de pérdidas de suelos permisibles indican claramente que sólo es posible, para los suelos de esta zona, aceptar pérdidas menores a 11 Ton/ha/año, para mantener el equilibrio intemperismo-formación del suelo-erosión (Ecuación de Kirkby, 1984).

Los Feozem, Cambisoles, Luvisoles y Antrosoles sin fases

físicas limitantes (Lítica) presentan los valores de pérdidas de suelo permisibles más altos, mientras que los Regosoles y, principalmente los Leptosoles muestran los más bajos (cuadro 3).

Desde luego, es importante considerar que las propiedades de los materiales parentales (rocas, aluviones, coluviones) en relación con la formación, evolución y erosionabilidad de un determinado suelo, pueden ser influidas e incluso modificadas fuertemente, por la presencia de otros factores ambientales como serían, principalmente: a) edafoclima, b) posición topográfica, c) estructura y agregación del solum, d) contenido y tipo de materia orgánica, e) composición textural, f) permeabilidad y g) cobertura vegetal.

En el área de estudio se observó la siguiente secuencia de alteración en las rocas presentes:

1) Tefras básicas Basaltos Aluvión-Coluvión Esquistos  
Filitas Pizarras y brechas Gravaucas Areniscas.

Esta secuencia es directamente proporcional con el mayor desarrollo y capacidad de pérdida por erosión de los suelos observados (cuadro 3), y es indirectamente proporcional a la degradación y erosionabilidad de los mismos. Es decir, los suelos estudiados derivados de la alteración de aluviones, coluviones o esquistos, son más evolucionados, de mayor espesor y menos erosionables que los derivados, por ejemplo de areniscas cuarcíferas.

### 7.2.2. Factor clima.

Con base en la información obtenida en la estación meteorológica de Tlalpujahua, es posible inferir que las condiciones ecológicas generales, en el área de estudio, están regidas por el clima local, la temperatura y la precipitación media anual; así como por un período seco. Entre los factores que modifican a estos elementos climáticos están, de modo natural, el relieve y la altitud y, de manera inducida y acelerada, el hombre.

El clima local, según García (1988), es templado subhúmedo con régimen de lluvia de verano, isotermal y con marcha de temperatura tipo ganges ( $Cw_2(w)big$ ).

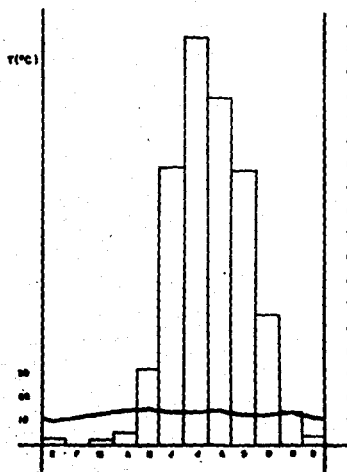
Las principales características climatológicas regionales se muestran en la fig. 3 y 4, y cuadro 4. Como puede observarse, la temperatura presenta dos máximos, el primero y mayor durante el mes de Mayo, corresponde al primer período de calentamiento del Hemisferio Norte. El segundo máximo es menos conspicuo y se presenta durante el mes de Agosto (fig. 3 y cuadro 4).

**Cuadro 4**

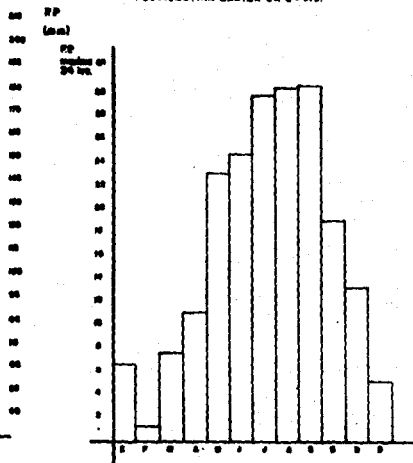
DATOS CLIMATOLOGICOS													
meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	anual
T	10.9	12.7	13.9	16.0	16.7	14.8	14.1	16.0	13.9	13.4	14.4	12.6	13.8
P	16.1	190	13.4	26.2	71.0	164.7	213.1	187.3	156.4	94.2	52.5	17.7	1002.2

Fig.3

## DIAGRAMA DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION



## PLUVIOMETRIA MAXIMA EN 24 HRS.



La temperatura máxima se presenta antes del solsticio de verano y las temperaturas más bajas entre Diciembre y Febrero (cuadro 4).

De acuerdo con Gausson (1954), cinco meses al año resultarían secos. No obstante, con base en las observaciones realizadas periódicamente en el campo; el régimen de humedad edáfico se abate considerablemente durante los meses de Enero-Abril.

La precipitación se concentra durante el Verano. Su valor anual es de 1,002.2 mm, con una máxima mensual de 213 mm, registrada en Julio, y una mínima de 1.9 mm que se registra en Febrero (cuadro 4).

La precipitación máxima observada en 24 horas es de 34 mm. y se registra principalmente durante el mes de Septiembre (cuadro 4 y fig. 4).

A groso modo, se estima que la precipitación media anual en esta zona, se correlaciona positivamente con la altitud y la estacionalidad. Los datos de precipitación, altitud de la zona metamórfica y volcánica, obtenidos por Bocco (1987-1988), a través de observaciones de campo, permiten señalar que el aumento de la precipitación con la altitud es una apreciación razonable. Este aumento en la precipitación es debido al efecto orográfico.

De acuerdo con Bocco (1988), las áreas metamórficas reciben mayor cantidad de lluvia que las áreas volcánicas, debido a las condiciones fisiográficas que caracterizan a cada una de ellas.

El tipo climático que caracteriza el área de estudio, de acuerdo con Foguelman (1970), Hetier (1978) y Duchaufour (1980), se considera como un factor de intemperismo leve desde el punto de vista de las condiciones ambientales y de la alteración de las rocas y suelos. Por coincidencia, su acción como factor de intemperismo sólo llega a constituir un complejo de alteración elemental en los suelos. Este complejo es rico únicamente en elementos solubles, principalmente, bases alcalinas y alcalino-terreas.

Según estos autores, los procesos edafogénicos que se originan en este tipo climático, se limitan a procesos de hidrólisis y complexólisis moderados, y a una limitada neoformación de arcillas.

Este clima desde el punto de vista de la degradación de los



suelos por hidroerosión, según FAO-PNUMA (1980), se considera como poco agresivo y moderadamente agresivo en ocasiones, dependiendo de la distribución de la lluvia.

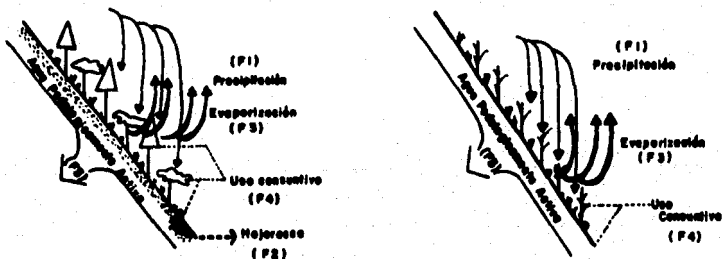
No obstante las conclusiones de estos autores, se observó tanto en el campo como a través de los análisis de laboratorio, que los procesos biogeoquímicos, así como los de degradación por hidroerosión, son más intensos que los estimados por los mencionados autores.

Estas diferencias, relacionadas con la intensidad, velocidad de alteración mineral y la degradación de los suelos, son debidas, probablemente, a que los autores antes citados estudiaron los efectos del clima templado como un factor en ecosistemas poco alterados, donde los otros factores ambientales: lluvia, vegetación y suelo, están en equilibrio.

En la fig. 5 se explica de modo teórico, las diferencias entre un ecosistema no alterado y uno alterado en relación con el clima.

Fig.5

### DEGRADACION TEORICA DE UN ECOSISTEMA TIPICO DE ZONAS TEMPLADAS HUMEDAS

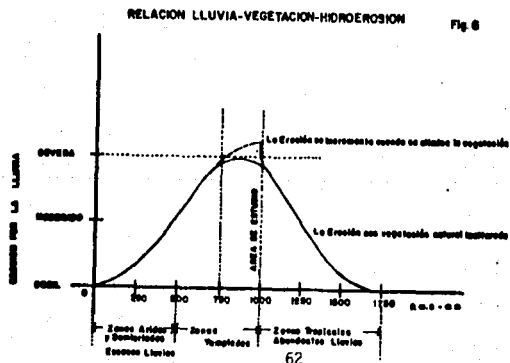


En la figura se esquematiza la acción de la lluvia en un ecosistema en equilibrio (a) y en un ecosistema alterado (b). En el primer caso, se muestra como la energía cinética de la lluvia se ve disminuida considerablemente, al llegar al follaje de los árboles ( $F_1$ ). La hojarasca del bosque ( $F_2$ ) reduce el impacto de caída de la gota de lluvia y evita el arrastre del suelo por escorrentía. Del agua de lluvia, una cantidad importante se evapora sobre el follaje ( $F_3$ ), otra es aprovechada para uso consuntivo de la vegetación ( $F_4$ ) y sólo una pequeña cantidad se percola al suelo por lo que, consecuentemente, el lavado de bases, la alteración mineral y la degradación por hidroerosión son nulos o muy ligeros ( $F_5$ ).

En el segundo caso, la alteración del ecosistema, provocada por las actividades antropogénicas (agricultura-tala), genera una densidad de follaje ( $F_1$ ) insuficiente para absorber la energía cinética de la lluvia, permitiendo que el impacto de las gotas en los campos agrícolas llegue directamente al suelo. La ausencia de hojarasca, ( $F_2$ ) a consecuencia de la tala, provoca una mayor escorrentía. La evaporación ( $F_3$ ) también disminuye debido a la ausencia del follaje y el uso consuntivo es menor; debido a que, en general, los cultivos requieren menor cantidad de agua ( $F_4$ ) que un bosque. En consecuencia, la cantidad de agua absorbida por el suelo es mayor que en el ecosistema no alterado, lo que provoca una mayor alteración mineral, mayor lavado de bases, que produce en consecuencia una mayor acidificación, la cual provoca, a su vez, importantes alteraciones en la biota del suelo hasta que, finalmente, estos factores generan una degradación/biológica, química y física muy severas. Este ejemplo es similar a lo que ha ocurrido en el área de estudio.

De hecho, en un ecosistema no alterado, la vegetación que existe priva a la lluvia de su energía cinética. El impacto de las gotas es el factor fundamental en los procesos de erosión (Ellison, 1944).

La lluvia es el agente erosivo más completo, y la vegetación con amplia cobertura, es el agente de protección más eficiente. En un ecosistema no alterado, bajo condiciones de clima templado, la alteración y la erosión serán escasas o nulas, según lo expresan los multicitados autores. Pero, en ecosistemas como el que es objeto de este estudio. Los efectos de las salpicaduras por las gotas de lluvia son muy severos, debido a la escasa vegetación. Su gravedad es tal que resulta mayor que los efectos incisivos y abrasivos de la escorrentía. De hecho, para América Latina y de acuerdo con la revisión bibliográfica efectuada, la erosión hídrica más severa tiende a asociarse con las precipitaciones medias (500 a 1,000 mm) características de climas templados, debido a que casi en toda Latinoamérica la vegetación ha sido perturbada. En la fig. 6 se aprecia el efecto de la lluvia y de la vegetación en relación con la hidroerosión.



Para el área de estudio no sólo interesa la cantidad de lluvia o la energía cinética de ésta, sino el tipo de lluvia. También los chubascos típicos en Junio, Julio, Agosto y Septiembre son catastróficos, por su intensidad y duración, especialmente en los suelos con mayor pendiente.

Otros mecanismos que aumentan y aceleran el efecto de la lluvia, son como se menciona anteriormente, las actividades del hombre en esta zona. Estas actividades (agricultura, práticamente y minería) rara vez retrasan o detienen el proceso de erosión.

La actividad agrícola incrementa el poder erosivo de la lluvia debido, a que en esta región existen prácticas de aclarco y quema de bosque, sin control. En consecuencia, hay pocos árboles que frenen el viento y la erosión eólica aumenta, principalmente, durante las prácticas de barbechado. Al haber menos vegetación que pueda absorber la energía cinética de la lluvia, mayor será la superficie de drenaje y en consecuencia, mayor será el volumen de suelo que es arrastrado por la escorrentía.

Por medio del arado y la azada, el hombre remueve y airea los suelos de la región; millones de veces más rápido y eficazmente que los animales del subsuelo. Todos los procesos físicos, en especial el efecto de la energía cinética de la lluvia, se ven acelerados e incrementados por tales prácticas.

Es tan importante el efecto del impacto de la lluvia sobre un suelo con escasa cubierta vegetal que se propone, en esta tesis, el concepto de "Microimpactoperturbación" como el primer paso en los procesos de hidroerosión.

Se pretende eliminar al concepto de flujo laminar o erosión

laminar, el cual, rara vez se presenta en las tierras planas de esta área. Es decir que, para fines de conservación, resulta más importante evitar el impacto de la gota de lluvia, que proponer otras medidas para evitar la erosión laminar.

Los procesos de microimpactoperturbación (gota de lluvia) arroyamiento en ríngolas (pequeños arroyuelos) --- cárcavas y erosión fluvial, representan las formas de erosión típicas del área de estudio.

De acuerdo con las observaciones realizadas en el campo, en ningún momento se presentó la escorrentía en láminas planas (erosión laminar) como se indica de modo teórico y tradicional en la mayoría de los trabajos consultados.

Las formas de erosión especializadas (fig. 7) por efecto de la lluvia y observadas en el área de estudio, fueron las siguientes:

1) Erosión en pedestal.- Suelos fácilmente erosionables (perfiles 5, 11 y 18) protegidos de la microimpactoperturbación por una piedra o la raíz de un árbol. Este tipo de erosión se produce evidentemente por el impacto de la gota de lluvia, más que por el flujo laminar, pues no hay socavamiento en la base del pedestal (fig. 7a).

2) Erosión en pináculo, típica de suelos altamente erodables (perfil 17) con ríngols y cárcavas que escavan y retroceden rápidamente, hasta que se unen y dejan pináculos (fig.7b).

Se observó que los perfiles expuestos a este tipo de erosión presentan condiciones químicas y físicas en desequilibrio como: pobreza extrema de materia orgánica, absorción muy lenta de agua,

y cohesión débil. También en algunos casos, pobreza en nutrimentos.

3) Erosión en galerías, La formación de galerías o canales subterráneos resultó muy común en aquellos suelos sujetos a la erosión en pináculos o en suelos donde han transcurrido varios ciclos en su formación. En este último caso, se trata de suelos derivados de tefras depositadas sobre materiales impermeables que son, principalmente en esta zona, horizontes argílicos o rocas metamórficas. El agua de lluvia se infiltra a través de la Tefra hasta que alcanza un nivel menos permeable (horizonte argílico-roca) y comienza a fluir lateralmente por encima de la capa impermeable, arrastrando las partículas finas del suelo. Ello, a su vez, conduce a un flujo lateral más rápido. Eventualmente, la totalidad de la escorrentía superficial desaparece por una galería y fluye bajo tierra antes de reaparecer en la cabeza de una cárcava (fig. 7c). Este tipo de erosión, como se menciona anteriormente, sólo fue observada en suelos de origen volcánico recientes.

4) Deslizamiento. Este fenómeno se observó únicamente en las áreas que presentan grandes cárcavas (fig. 7d) y es un proceso estrictamente de erosión geológica, ya que acontece sin la intervención directa del hombre. Aunque tales procesos de deslizamiento pueden comenzar con frecuencia a partir de una escorrentía en ríogolas; las cuales se constituyen por la acción antropogénica según se ha observado (fig. 7d).

5) Erosión de fertilidad. Los análisis físicos y químicos practicados en las muestras de suelos colectados, indican, gene-

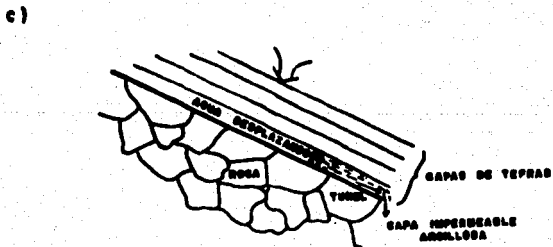
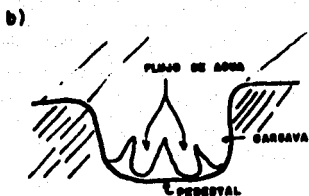
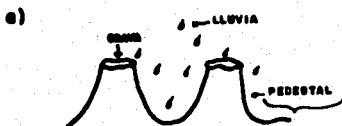
ralmente, (perfiles 4 y 5) la pérdida de nutrimento por remoción debida a un exceso de agua en el suelo. El fósforo se pierde, principalmente, con las partículas coloidales en cuya superficie está absorbido. Mientras que Ca, Mg, Na, K, y principalmente N en forma de nitrito o nitrato son solubles, por lo que se eliminan en disolución a través del lavado del perfil por exceso de drenaje interno (fig. 7e).

6) Erosión vertical. Esta forma de alteración se observó, principalmente, en los suelos con texturas gruesas, en las cuales el exceso de lluvia y la falta de cobertura vegetal, provocan un lavado vertical de las partículas arcillosas y orgánicas finas, a través de los poros y fisuras del suelo. Estas partículas, en ocasiones llegan a acumularse a niveles inferiores del perfil pero en la mayoría de los casos son eliminadas del suelo por drenaje (fig. 7f).

7) Erosión en grietas. Este tipo de erosión se presenta, principalmente, en los suelos agrícolas con caracteres verticos. La desecación del suelo produce un agrietamiento el cual propicia que los materiales orgánicos y fracciones minerales alteradas de la capa arable caigan por gravedad en tales grietas (auto-inversión), empobreciendo la superficie y, en muchos casos, propician do la pérdida de estos materiales orgánicos y minerales, debido a que el agua que penetra a través de la grietas los arrastra fuera del perfil (fig. 7g).

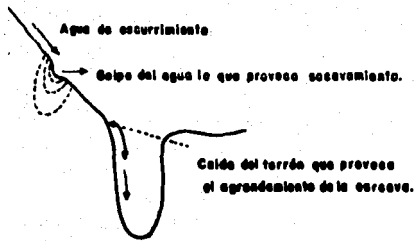
# TIPOS DE HIDROEROSION

Fig. 7

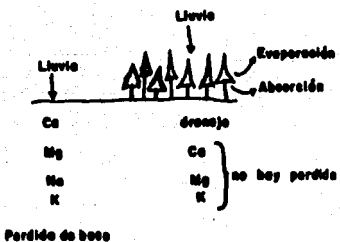




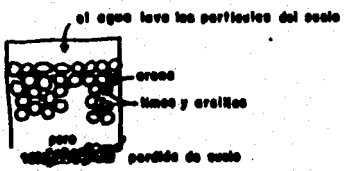
d)



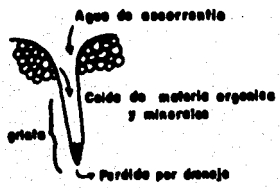
e)



f)



g)



La temperatura local, aunque con menor intensidad que la precipitación, también influye en los procesos dinámicos de erosión.

De hecho, el abatimiento del régimen edáfico de humedad por efecto de un mayor incremento en la temperatura ambiental, principalmente durante los meses de Enero a Abril, provoca un nivel de desecación en los suelos presentándose, por esta razón, problemas severos de edafoturbación principalmente producidos por argiloturbación (expansión contracción de arcillas), (Hole, 1985).

Este fenómeno de argiloturbación propicia que las estructuras y agregados de los suelos se fracturen, así como la ruptura de las raíces que se agregan al suelo. Este fracturamiento provoca a su vez, que al llegar la época de lluvia, los terrones del suelo sean fácilmente disgregados por el impacto de las gotas de lluvia y transportados por el agua de escorrentía. Este hecho es, especialmente, grave en los suelos con caracteres vérticos (perfiles 13, 14, 15 y 16) sometidos al uso agrícola que no presentan una cobertura vegetal adecuada.

Desde el punto de vista de la alteración mineral, la temperatura, según Gaucher, (1975), es un catalizador que determina la velocidad, intensidad y tipo de alteración.

En el caso particular de los suelos estudiados, la temperatura regula el régimen de humedad edáfico; propiciando como se cita anteriormente, un periodo de sequía estacional en el suelo.

Esta variación en la humedad propicia la formación de arcillas o sialitización y reduce la formación de alófono o andosolización, el cual sólo se presenta en aquellos suelos en que la temperatura no abate el régimen de humedad edáfico (suelo sin periodo

de sequía típicos de la zona volcánica).

7.2.2.1. Evaluación paramétrica del factor de agresividad climática (C).

Para estimar las pérdidas potenciales y reales de suelo por efecto de la hidroerosión, es necesario conocer la intensidad de la lluvia y obtener su energía cinética.

El factor R de la Ecuación Universal de pérdida de suelo es difícil de calcular, y a menudo falta la información detallada y de plazos prolongados por lo que, en este estudio, fue utilizado el índice propuesto por FAO-PNUMA (1980), en la forma que sigue:

$$C = f \left( \sum_{1}^{12} \frac{p^2}{P} \right)$$

C = R = Erosividad de la lluvia

$p^2$  = Precipitación media mensual

P = Precipitación media anual

Los resultados obtenidos con base en los registros de pluviometría media mensual de la estación se muestran en el cuadro 5.

DETERMINACION DEL FACTOR "C"

Cuadro 5

MESSES:	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	VALOR DE "C"	MODERADO
	0.227	0.004	0.179	0.83	8.02	22.87	48.21	38.00	24.40	8.68	2.78	0.21	146.54	
EVENTO	BARBECHO 0.61				CULTIVO			PERIODO VEGETATIVO. 104.71		COSECHA 11.6				
PORCENTAJE DE AGRESIVIDAD CLIMATICA	C=0.61=0.85 %				C=135.6=21.16 %			C=11.9=7.91 %						

Como puede observarse en el cuadro 5, la etapa de mayor agresividad climática se concentra en los meses de Mayo a Octubre con un valor de  $C^1 = 133.6$ , lo que representa el 91.16% del total ( $C = 146,54$ ). Esto resulta especialmente grave, si consideramos que durante estos meses se establecen los cultivos de temporal y, en consecuencia, el suelo queda aún más desprotegido, debido a que se trata de cultivos de baja densidad de cobertura. La hidroerosión en estos meses se acentúa de modo crítico.

Durante el período de barbecho y de cosecha el valor de agresividad climática  $C^2 = 12.94$  resulta muy ligero, y en consecuencia la hidroerosión es casi nula. No obstante; es importante considerar que la eolización se incrementa, principalmente durante Febero y Marzo (barbecho) por lo que, durante este período, la pérdida de suelo por erosión eólica es también muy significativa.

El valor de  $C = 146.54$ ; es un valor moderado y típico de las áreas aledañas al Eje Neovolcánico.

### 7.2.3. Factor Relieve (T)

Los estudios realizados en el campo, sobre el origen de las formas terrestres (morfogénesis); sus dimensiones (morfometría); forma característica (morfografía); y evolución a través de los procesos endógenos y exógenos de modelado (morfodinámica) indican que el área de estudio constituye una sola Unidad Terrestre la cual fue denominada "Sistema Terrestre San Francisco" (STSF).

Con base en las características litológicas, edáficas, climáticas y de vegetación que presenta el STSF, fue factible reconocer dos Subsistemas. En el primero, denominado "Subsistema Volcánico" (SbV), su morfogénesis es resultado directo del volcanismo, caracterizado por la creación de formas de relieve totalmente nuevas y que sobreyacen a las pre-existentes. Estas formas son tanto de construcción (acumulación de productos volcánicos) como de destrucción (explosiones volcánicas). El segundo Subsistema denominado Metamórfico (SbM) que ocupa más del 95% del área de estudio, morfogenéticamente está constituido por efecto de los fenómenos orogénicos y eruptivos, los cuales han propiciado profundas modificaciones en las rocas que integran a el Subsistema Metamórfico, tanto en su estructura, composición mineralógica y aún química. Resulta importante señalar que una cantidad considerable de material volcánico se ha depositado posteriormente por aluvionamiento y coluvionamiento sobre el Sistema Metamórfico por efecto de la eolización, creando importantes diferencias en resistencia a la erosión, entre las rocas pre-existentes (metamórficas), los nuevos productos de origen volcánico (aluviones-coluviones) y las tefras (productos de la actividad volcánica in situ) (Fig. 2). Estas diferencias según Bocco (1988) controlan la subsecuente

diseción y la erosión diferencial que se observa en el área de estudio.

Las principales características para diferenciar cada Sistema se resumen en el cuadro 6.

Cuadro #6

UNIDAD : SISTEMA TERRESTRE SAN FRANCISCO	
SUBSISTEMAS: VOLCANICO (Sbv)	METAMORFICA (Sbm)
<b>LITOLOGIA:</b> Tefras-brechas, coladas	Esquistos-Filitas-Areniscas- Pizarras
<b>SUELOS:</b> Andosoles	Regosoles-Leptosoles-Feozem- Cambisoles-Luvisoles-Antrsoles
<b>CLIMA:</b> Regimen de humedad: Udico Regimen de temperatura: Termico	Regimen de humedad: Ustico Regimen de temperatura: Termico
<b>VEGETACION:</b> Bosque de Pino	Agricultura de Temporal-Pastizal Inducido-Vegetacion secundaria.

Morfográficamente cada Subsistema, está constituido por elementos topográficos cuya curvatura tiene dos componentes: vertical y horizontal, respecto a los cuales sus contornos son cóncavos, convexos o llanos.

En síntesis, cada Subsistema está constituido por elementos topográficos característicos, los cuales pueden ser definidos como una superficie terrestre de topografía homogénea, cuyos límites son dados por cambios en el tipo de curvatura superficial (cóncavo, convexo y llano) en sentidos vertical, horizontal o

ambos (Quiñones 1987). Los cambios de pendiente que se presentan en cada elemento topográfico han sido denominados en este estudio como facetas.

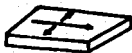
En SbV los elementos topográficos son predominantemente mono genéticos y se pueden denominar del siguiente modo:

1) Flujo de lava.-



Generalmente basálticos, planos, pero con relieve y pendiente. Presentan pocos cambios de pendiente y, en consecuencia, pocas facetas. La erosión es muy débil. Este elemento tiende a presentar una forma escalonada.

2) Cumbres.-



Constituidas por acumulaciones piroclásticas. Son planas y horizontales, carentes de componente vertical, relieve y pendiente. Las áreas con bog que no presentan erosión. Estas acumulaciones transformaron al relieve pre-existente.

3) Conos.-



Formados por la acumulación de tefras en torno a una apertura de escape durante erupción cinerítica. Lo componen dos elementos: a) Crater que es cóncavo, tanto en sentido horizontal como vertical, de relieve negativo y b) Cono que es recto en sentido vertical y cóncavo en el horizontal. En esta estructura se observa una intensa hidroerosión, debida a lo deleznable del material y a la escasa cubierta vegetal.

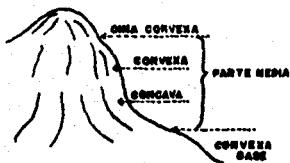
#### 4) Cuesta.-



Formado por erosión hídrica sobre orillas de estratos inclinados, en los que se alternan materiales duros y blandos. Generalmente, es recto en sentido vertical y convexo en el horizontal. Estos elementos, generalmente, presentan hidroerosión severa en rigolas y cárcavas, debida al efecto de pendiente y a la escasa cubierta vegetal presente.

En SbM el relieve está constituido por los siguientes elementos topográficos en orden de abundancia:

#### 1) Colinas y Cerros:



Estas estructuras tienen 3 componentes: a) Cima, convexa vertical y horizontalmente. b) Parte media convexa o cóncava en sentido vertical y, generalmente, cóncava en sentido horizontal. c) La base es cóncava en sentido vertical y convexa en el horizontal. Estos elementos presentan numerosas facetas.

#### 2) Cuesta

Similar en sus características; a las descritas para SbV, aunque con mayor erosión y número de facetas.



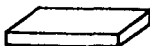


3) Elemento dómico positivo.



Convexo, tanto en sentido horizontal como vertical. No presenta cambios con la distancia en cuanto al grado de convexidad. Este elemento presenta pocas facetas.

4) Planicie no inclinada:



Es plana y horizontal, carente de componente vertical, relieve y pendiente. Casi no presenta facetas, generalmente tiene uso agrícola intensivo.

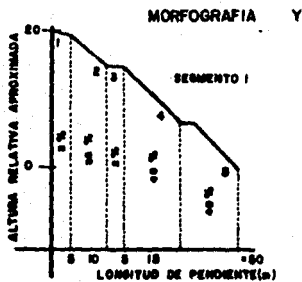
Debido a que el Subsistema volcánico ha sido ampliamente estudiado y descrito por Bocco, (1986, 1987, 1988); así como al hecho de que sólo el 5% de la superficie total del área de estudio lo presenta, la morfometría sólo se realizó para el área que corresponde a el Subsistema metamórfico, de modo especial en los elementos topográficos denominados colinas, cerros, cuevas y planos.

Los parámetros morfométricos obtenidos con base en mediciones directas en campo, fueron: 1) Gradiente de pendiente (S), y 2) Longitud (L) y forma.

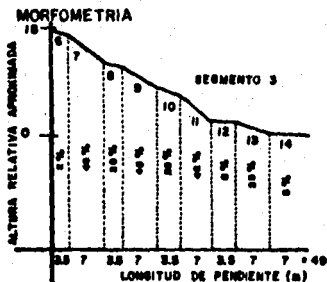
Con base en la morfometría obtenida en campo, fue posible determinar que los elementos topográficos que integran al Subsistema metamórfico, están constituidos a su vez, por 35 facetas. Cada faceta fue utilizada como un punto de medición y observación (Estación).

En la figura 8 se representan morfográficamente, segmentos de aproximadamente 50 m de longitud. Cada segmento es típico de

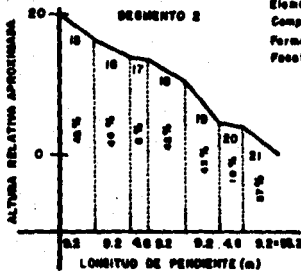
Fig. 8



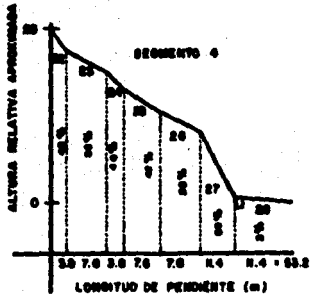
Soboleto metamorfico  
 Elemento topografico: cerro  
 Componente: cima  
 Forma: convexa  
 Pisos: 5



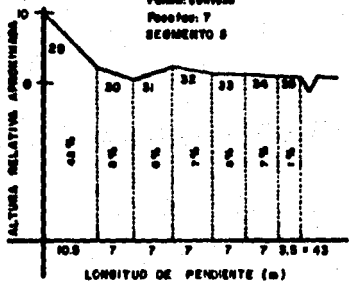
Soboleto metamorfico  
 Elemento topografico: cerro  
 Componente: parte media  
 Forma: convexa-concava  
 Pisos: 9



Soboleto metamorfico  
 Elemento topografico: cerro  
 Componente: base  
 Forma: convexa  
 Pisos: 7  
 SEGMENTO 2



Soboleto metamorfico  
 Elemento topografico: cuesta  
 Forma: ligeramente convexa  
 Pisos: 7



Soboleto metamorfico  
 Elemento topografico: cuesta-platea  
 Forma: Cuesta ligeramente convexa  
 Pisos: 7

cada elemento topográfico presente en el Subsistema metamórfico. En estos segmentos se incluyen las principales facetas.

En el cuadro 7 se indican las características morfométricas de cada faceta.

Como se observa en la figura 8, estos segmentos están constituidos cada uno por un número variable de facetas, generalmente de 5 a 9. Cada faceta es similar a un biotopo, es decir, individualmente se caracterizan por su arreglo espacial, densidad de drenaje, vegetación, suelos, humedad, longitud, gradiente y forma.

Las longitudes de pendientes detectadas con mayor frecuencia en estas facetas se pueden agrupar en 5 tipos: Tipo 1 de 3.5m a 5m, Tipo 2 de 5.1 a 7.6m, Tipo 3 de 7.7m a 9.2m, Tipo 4 de 9.3m a 11.4m y Tipo 5 de 11.5m a 15m. (figura 8, cuadro 7). El Tipo 1 presenta un gradiente de pendiente que oscila de 1 a 30%. El Tipo 2 de 2 a 45%. El Tipo 3 de 37 a 44%. El Tipo 4 de 3 a 50%. El Tipo 5 se caracteriza porque predominan los gradientes de 40%.

Este aparente desorden de la relación longitud de pendiente-gradiente, es resultado de la acción diferencial y selectiva de los procesos de modelado externo (exógeno), tanto de naturaleza eólica como hídrica (erosión geológica). Como puede observarse a medida que se incrementa la longitud de la pendiente la variación de gradiente tiende a ser menor.

Una posible explicación a este hecho puede ser que, debido a la mayor longitud de una pendiente dada, la velocidad del agua que escurre se incrementa y, en consecuencia, el desgaste es mayor.

## MORFOMETRIA DE LAS FACETAS

Cuadro N 7

UNIDAD: Sistema terrestre SAN FRANCISCO

SUBSISTEMA: Metamorfico

ELEMENTO TOPOGRAFICO	COMPONENTE ESTRUCTURAL	FACETA		DECLIVE GRADIENTE LONG. PEND. CLASE PEND.	
CERRO SEGMENTO 1	CIMA convexa, vertical y horizontalmente.	1	3%	5.0 m	Lg.
		2	38%	10.0 m	Mc.
		3	2%	5.0 m	An.
		4	40%	15.0 m	Mc.
		5	40%	15.0 m	Mc.
CERRO SEGMENTO 3	PARTE MEDIA forma convexa.	15	42%	9.2 m	Ab.
		16	44%	9.2 m	Ab.
		17	8%	4.6 m	Od.
		18	12%	9.2 m	Ab.
		19	43%	9.2 m	Ab.
		20	10%	4.6 m	Md.
		21	37%	9.2 m	Ab.
CERRO SEGMENTO 2	BASE de forma convexa- concava.	6	2%	3.5 m	An.
		7	40%	7.0 m	Ab.
		8	30%	3.5 m	Ft.
		9	45%	7.0 m	Mc.
		10	30%	3.5 m	Ft.
		11	42%	7.0 m	Ab.
		12	8%	3.5 m	Lg.
		13	25%	7.0 m	Ft.
14	5%	7.0 m	Lg.		
CUESTA SEGMENTO 4	Plano inclinado forma ligeramente convexa.	22	42%	3.8 m	Ab.
		23	38%	7.6 m	Ab.
		24	44%	3.8 m	Mc.
		25	42%	7.6 m	Ab.
		26	38%	7.6 m	Ab.
		27	50%	11.4 m	Mc.
28	3%	11.4 m	Lg.		
CUESTA-PLANO SEGMENTO 5	Cuesta ligeramente concava. Plano ligeramente inclinado.	29	42%	10.5 m	Ab.
		30	5%	7.0 m	Lg.
		31	4%	7.0 m	Od.
		32	7%	7.0 m	Od.
		33	3%	7.0 m	Lg.
		34	7%	7.0 m	Od.
		35	1%	3.5 m	An.

## SIMBOLOGIA:

An. = a nivel  
Lg. = ligera  
Mc. = muy colgada  
Mt. = montanosa

Ft. = fuerte  
Ab. = abrupta  
Md. = moderada  
Od. = ondulada

Al existir más desgaste del sustrato por el agua, la pendiente tiende a ser más homogénea en su relieve; inclusive, tiende a incrementar su longitud (Modelo exógeno).

De modo general, se observa en el cuadro 7 que el relieve es abrupto y que más de un 45% del área se caracteriza por presentar pendientes mayores de 35%. En el segmento 1, la pendiente promedio es de 24.6% y, la longitud de la pendiente promedio es de 10m; en el segmento 2 es de 25.22% y 5.5m; en el segmento 3 es de 32.28% y 7.15m; en el segmento 4 es de 36.70% y 7.14m y, finalmente, en el segmento 5 es de 10.14% y 7.14m. Estos valores promedio de gradiente-longitud, con excepción de los que presenta el segmento 5, se consideran de acuerdo al nomograma de Smith y Wischmeier (1957), como moderado en relación al riesgo de erosión y bajo el que corresponde al segmento 5. Sin embargo, los valores parciales, determinados para cada faceta (cuadro 7), resultan en la mayoría de los casos moderados a altos.

Estos valores parciales son los que deben de tomarse en cuenta para la estimación real del relieve, como un factor de erosión.

#### 7.2.3.1. Evaluación paramétrica del factor relieve (T).

Los valores paramétricos, obtenidos para cada una de las 35 facetas detectadas en el área de estudio, se presentan en el cuadro 8. Estos valores fueron estimados considerando dos variables que son: longitud de la pendiente en metros (L) y gradiente en porcentaje (S). El nomograma de Wischmeier (1974) fue utilizado para obtener una mayor precisión en la valoración de ambas variables (anexo 1).

FACTOR TOPOGRAFICO (T)

Cuadro # 8

	FACETA	VALOR DE LS	
SEGMENTO 1	1	0.18	(B)
	2	7.00	(A)
	3	0.13	(B)
	4	9.00	(MA)
	5	9.00	(MA)
SEGMENTO 2	6	0.11	(B)
	7	6.00	(A)
	8	2.50	(Md)
	9	7.00	(A)
	10	2.50	(Md)
	11	7.30	(A)
	12	0.33	(B)
	13	3.00	(MD)
14	0.25	(B)	
SEGMENTO 3	15	7.50	(A)
	16	8.00	(Ma)
	17	0.37	(Md)
	18	8.00	(Ma)
	19	8.00	(Ma)
	20	0.50	(Md)
	21	6.50	(A)
SEGMENTO 4	22	5.00	(A)
	23	5.80	(A)
	24	6.00	(A)
	25	7.00	(A)
	26	6.00	(A)
	27	11.00	(E)
	28	0.15	(B)
SEGMENTO 5	29	8.00	(Ma)
	30	0.28	(B)
	31	0.32	(B)
	32	0.35	(B)
	33	0.18	(B)
	34	0.35	(B)
	35	0.10	(B)

SIMBOLOGIA

B=Bajo=0.00-0.35  
 Md=Moderado=0.36-2.00  
 A=Alto=2.01-3.5  
 Ma=Muy Alto=3.51-8.00  
 E=Extremo=8.01-11.00

Como puede observarse en el cuadro 8, los valores de las variables longitud (L) y gradiente (S) de pendiente son: para el segmento 1 (cima) predominantemente muy altos (MA) y altos (A); para el segmento 2 (base) altos (A) y moderados (Md); para el segmento 3 (parte media) muy altos (MA) y altos (A) para el segmento 4 (cuesta) altos (A), y extremos (E) y para el segmento 5 (cuesta-plano) son predominantemente bajos (B).

En la figura 9, se muestra la frecuencia de los valores LS para cada una de las façetas estudiadas.

Es evidente que cuanto mayor sea el valor de LS mayor será el riesgo de erosión. Esto significa también, según Hudson (1982), que a medida que aumenta el valor de LS, mayor será el volumen, la velocidad, la profundidad de la escorrentía, la abrasión, la disgregación y el transporte de partículas de suelo.

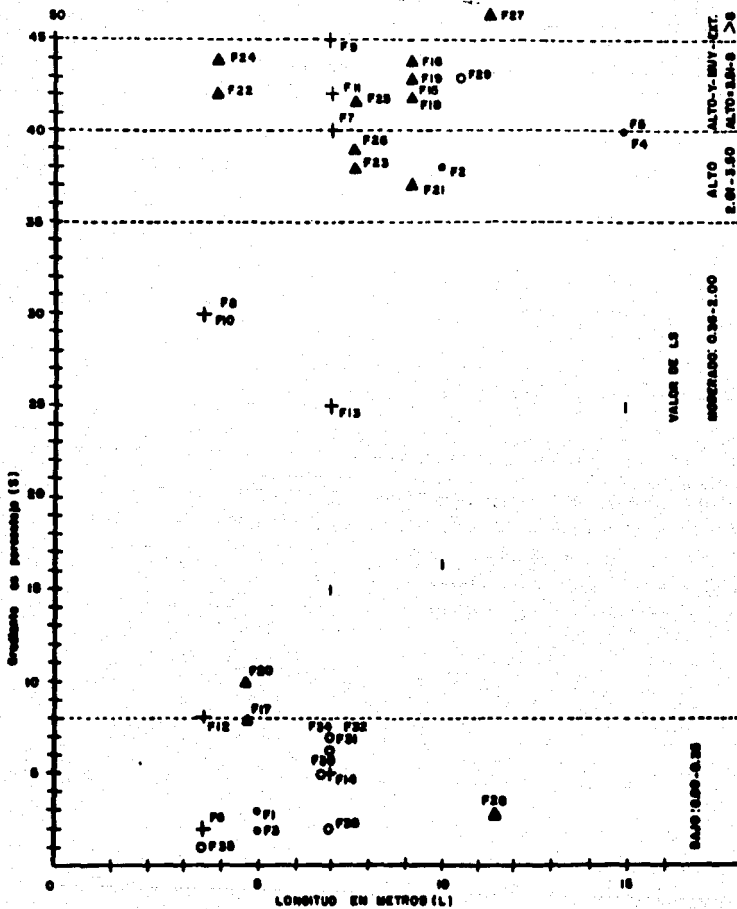


FIG. 9.-Frecuencia de los Valores L5 en las faenas colectadas.



#### 7.2.4. Factor suelos (K)

En la UTSP fueron determinados taxonómicamente en campo: seis Unidades de suelos típicos; cinco Subunidades; nueve elementos característicos; (tercer elemento taxonómico de FAO, 1983); tres tipos texturales y seis fases, según FAO-UNESCO (1983), (cuadro 9).

Todos estos suelos, con excepción de la Unidad Luvisoles, son el resultado de procesos elementales de alteración en clima templado, síntesis fisicoquímica moderada y condiciones ambientales muy variables, debidas a fenómenos de volcanismo muy intensos y a la presencia del hombre como un factor muy importante de formación o degradación de este recurso. Los Luvisoles, considerando las características de horizontalización, desarrollo del perfil, propiedades físicas, químicas, mineralógicas y grado de alteración que presentan, debieron formarse en condiciones ambientales con mayor precipitación, menor temperatura y mayor humedad. Esto es, en condiciones similares a las de bosque Alpino.

Las Unidades de suelos detectados en el área de estudio son: I) Regosol, II) Leptosol, III) Feozem, IV) Cambisol, V) Luvisol y VI) Antrosol. De acuerdo con FAO-PNUMA 1980, los Leptosoles y Feozem presentan, teóricamente, una clase de erosionabilidad ligera, en tanto que los Regosoles, Cambisoles y Luvisoles muestran una clase teórica de erosionabilidad moderada. La Unidad Antroposoles no ha sido aún suficientemente estudiada por FAO-PNUMA, en consecuencia, aún no se le ha asignado ninguna clase de erosionabilidad.

Los Regosoles y Leptosoles (I y II) son suelos que presentan pocas o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéti-

## NIVELES TAXONOMICOS: UNIDADES DE SUELO

UNIDAD	SUBUNIDAD	ELEMENTO CARACTERISTICO	PERFIL	CLAVE	HORIZONTES DIAGNOSTICOS	TIPO TEXTURAL	FASE	DISTRIBUCION
REGOSOL (B)	EUTRICO (e)	CUMULICO (c)	P5-9-11-17	Rec	A ocrico	Gruesa (1) Media (2)	Litica (L)	F5-F11-F24-F17
		FOLICO (f)	P6	Ref	A ocrico	Gruesa (1)	Gravosa (G)	F6
		BRUNICO (B)	P10	Reb	A ocrico	Media (2)	Pedregosa (P)	F10
LEPTOSOL (I)	EUTRICO (e)	ORTICO (r)	P7 - 8	Ier	A ocrico	Media (2)	Litica (L) Gravosa (G)	F 9 - F 10
		ORTICO (r)	P13	Hor	A molico B cambico	Media (2)	Litica (L)	F30
PEZEOL (H)	HAPLICO (a)	VERTICO (v)	14-15-16	Nov	A molico	Media (2)	Litica	F33-F34-F35 F3 - F20
		LEPTICO (p)	P2 - 19	Hop	A molico B cambico	Gruesa (1)	Profunda (LP) Gilgai (G) Antropica (A)	
CAMBISOL (B)	CROMICO (c)	AMBICO (a)	P10	Bca	A ocrico	Gruesa (1)	Litica (L)	F23
					B cambico	Media (2)	Litica Profunda (LP)	
LUVISOL	CRONICO (c)	ROBICO (ra)	P3 - 4	Lcrd	A ocrico B argilico	Media (2)		F4 - F4
	VERTICO (v)	ORTICO (r)	P1 - P20	Lvr	A ocrico B argilico	Media (2) Fina (3)	Litica Profunda (LP)	F1 - F1
ANTROSOL	CUMULICO (c)	URBICO (u)	P12	Aca	A antropico	Media (2)	Antropica (A)	F20
							Gruesa (1) o Fina (3)	

cos. Seis de cada diez suelos en el mundo presentan características similares a estos suelos (FOTH, 1980). Su perfil es de tipo A/C, A/R, o C/R como en el caso de algunos Leptosoles muy erosionados. Los perfiles 5, 6, 7, 8, 9, 11, 17 y 18 son típicos de las Unidades de Regosoles y Leptosoles (cuadro 9).

Genéticamente, son suelos cuya débil evolución se debe a causas mecánicas, principalmente erosión o aportes de tefras, aluviones y coluviones, los cuales permiten el rejuvenecimiento de los perfiles, interrumpiendo su ciclo evolutivo. Los suelos que han recibido este aporte se pueden clasificar en función de la naturaleza del material y del modo de transporte. En el área de estudio, los Regosoles se originaron por aporte eólico, aluvial o coluvial.

Dadas las características genéticas de estos suelos, la arcilla y el hierro, generalmente se presentan distribuidos uniformemente. De igual manera sucede con los materiales orgánicos. Esto tiende a favorecer la humificación del perfil por efecto en los suelos de esta zona, dando origen a procesos de empardecimiento como en el caso de los perfiles 2 y 19, los cuales han evolucionado de Regosoles a Feozem. La evolución del complejo húmico arcilloso en estos suelos, también se ve favorecido por el aporte de las cenizas básicas. Esta evolución, aunque muy incipiente, favorece a su vez el desarrollo de la biota, la cual incrementa la alteración química y bioquímica del sustrato; por medio de sus productos de desecho orgánico (cuadro 9).

La subunidad predominante es de carácter eútrico para ambas unidades (Regosoles y Leptosoles). El término eútrico, proviene

del Griego eu = fértil. En estas Unidades fueron determinados cuatro elementos característicos, como sigue:

1) Cumúlico (del Latín cumulare). Suelos que presentan acumulación de sedimentos.

2) Fólico (del Latín foli hoja). Suelos con material orgánico descompuesto.

3) Brúnico (del Francés brun, conotativo de un color pardo muy oscuro).

4) Ortico Suelo típico.

Los principales tipos texturales corresponden a gruesos y medios (arenosos y migajones) y las fases más características en estos suelos fueron la fase lítica (espesor del solum limitado por la presencia de roca a menos de 50 cm) y la fase gravosa. Ocasionalmente, se presentan fases pedregosas.

La Unidad Feozem (III) se caracteriza, fundamentalmente, por sus horizontes superficiales, de colores muy oscuros, ricos en bases, con un espesor mayor de 25 cm y contenidos altos de materia orgánica, de acuerdo con FAO (1983). En estos suelos, el proceso pedogenético fundamental es la melanización. Este proceso es el resultado de la dinámica biogeoquímica entre la materia orgánica, las bases (principalmente el calcio) y las arcillas presentes. El proceso de melanización es muy característico en las zonas con clima templado húmedo-subhúmedo.

Los Feozem presentan localmente un perfil de tipo A/C como en el caso de los perfiles 2 y 19 o tipo A/(B)/C como en los perfiles 13, 14, 15 y 16 (cuadro 9).

En estos suelos, como en la mayoría de los suelos jóvenes, la materia orgánica varía con frecuencia en sus contenidos; bien en sentido vertical, al pasar de un horizonte a otro, u horizontalmente de un perfil a otro.

En general, estos suelos son análogos a los suelos "pardo humíferos" observados en los pisos montañosos húmedos de Europa, con vegetación de bosque frondoso o mixto y sobre materiales parentales muy variados.

Los perfiles 13, 14, 15 y 16 se han originado de aluviones antiguos, ricos en arcilas montmoriloníticas, las cuales fueron erosionadas y depositadas por el agua y el viento en los pequeños valles y depresiones regionales. Estos suelos han estado sujetos principalmente durante la época de lluvias, a fuertes oscilaciones en la capa freática, lo cual ha favorecido la incorporación profunda de materia orgánica, la aparición de caracteres vérticos (gilgai, grietas y fisuras) y la segregación del hierro por oxidación - reducción.

Estos suelos no han evolucionado a un verdadero Vertisol, en virtud de que el edafocima (régimen de humedad) es limitante para su edafogénesis. No obstante, según la clasificación francesa (1980), se pueden considerar algunos de ellos como paravertisoles.

En la Unidad Feozem, solo fue detectada una Subunidad denominada háplico. El término háplico proviene del griego haplo, connotativo de simple, y se refiere a suelos con una secuencia de horizontes normales y una ocurrencia común. Es además, sinónimo del término ortico. Los elementos característicos detectados para

esta subunidad son 3:

1) Vértico (del Latín *verto*, conotativo de autoinversión) en la superficie del suelo.

2) Léptico (del Latín *leptus*, somero).

3) Ortico: suelo típico.

En general, las texturas predominantes son finas y medias, aunque con alguna frecuencia se presentan texturas gruesas. La textura fina predomina en los Feozem con caracteres vérticos.

Las principales fases detectadas en estos suelos son: la fase lítica profunda, la fase gilgai y la fase antrópica.

Los Cambisoles (IV) son suelos jóvenes azonales que se caracterizan por presentar un horizonte A de color claro y un horizonte B bien definido. Estos suelos resultan comunes en todo el Eje Neovolcánico.

El perfil 10 es un ejemplo típico de esta unidad (cuadro 9).

No obstante que los Cambisoles observados en esta zona, muestran gran variación en su edad (Pleistoceno-Holoceno), material parental, localización topográfica y vegetación, muestran pocas diferencias en cuanto a su morfología; principalmente en la diferenciación de sus horizontes.

En esta Unidad solo existe, taxonómicamente una Subunidad a nivel regional, la cual se denomina crómico en atención a que presentan un horizonte B de color pardo a rojo muy intenso. La característica principal de esta Subunidad, se refiere a que presentan propiedades similares a los Andosoles (carácter ándico), sin llegar a cumplir taxonómicamente con todos los requisitos diagnósticos de estos suelos que son: baja densidad aparente, riqueza de

alofano y materiales orgánicos y régimen de humedad edáfico de tipo údico.

Las características andicas que presentan los Cambisoles crómicos, se deben a una "contaminación. con cenizas volcánicas, las cuales han sido depositadas por el viento o por el agua sobre estos suelos.

Estas cenizas al alterarse dentro del perfil, han propiciado algunas características físicas y químicas; típicas de Andosoles.

Los Cambisoles crómicos de esta área presentan generalmente texturas medias y, en menor proporción, texturas gruesas. Las principales fases detectadas en estos suelos son: fase lítica y fase lítica profunda.

Los Luvisoles (V) representan a la Unidad de suelos más antigua y más evolucionada en el área de estudio. Estos suelos, según algunas evidencias de campo, se constituyeron antes que los fenómenos volcánicos que se manifestaron en el Holoceno. De hecho, existen muchos perfiles de Luvisoles sepultados por las tefras y otros materiales volcánicos.

En ocasiones se presentan perfiles truncados por la erosión o alterados por procesos de rejuvenecimiento, en los cuales aún es posible reconocer que inicialmente se trataban de Luvisoles y que, actualmente, están sirviendo de material parental a otros suelos. Estos suelos probablemente eran dominantes en la Subunidad metamórfica.

Con base en su génesis, también es posible aportar algunas evidencias que justifiquen su antigüedad como son: 1) Los facto-

res bioclimáticos (clima y formación vegetal) actuales los cuales no son característicos del tipo de génesis de estos suelos.

2) Suelos que se constituyen siempre en un estado de equilibrio entre los factores ambientales (agradación). Actualmente estos factores están muy alterados y en desequilibrio (degradación).

3) Suelos que requieren para su edafogénesis, de importantes contenidos de materia orgánica alterada como "intermediaria entre la evolución del humus, el tipo de vegetación que se desarrolla y el medio mineral del suelo" (humificación-vegetación clímax-complejo de alteración) (Duchaufour, 1985). El equilibrio suelo-vegetación, tan característico de los Luvisoles, sólo existe en México bajo regímenes de humedad údicos. Sin embargo, estos no fueron detectados en el área de estudio.

La Unidad Luvisol se presenta zonalmente, dividida en dos Subunidades taxonómicas denominados crómico y vertico. La diagnosis de la Subunidad crómico es similar a la descrita por la Subunidad crómico de los Cambisoles.

La Subunidad vértico se caracteriza por la presencia en el solum de grietas, facetas y terrones en forma de cuña, aunque no de manera tan manifiesta como ocurre en los Vertisoles, donde las grietas deben ser al menos de 50 cm. de profundidad y 1 cm. de ancho, según USDA, 1987.

La Subunidad de carácter crómico presenta un elemento característico denominado ródico, conotativo del proceso de rubefacción tan frecuente en estos suelos. La Subunidad vértico, también presenta un elemento característico. En este caso, llamado órtico, el cual se refiere a un Luvisol con caracteres vérticos típicos.



Los Luvisoles crómicos ródicos se caracterizan además, por presentar una textura predominantemente media o fina en el horizonte A, y fina en el horizonte B. Los Luvisoles vérticos órticos son de texturas generalmente finas, aunque en ocasiones presentan texturas medias en el horizonte A.

La Unidad Luvisol presenta con alguna frecuencia fases líticas profundas y fases gravosas (Cuadro 9).

- La Unidad Antrosol (VI) también denominada Antroposol, ha sido recientemente incluida en la mayoría de los sistemas taxonómicos de suelos. De manera importante en el sistema FAO-UNESCO (1983), en el sistema Soviético de Taxonomía (1983) y recientemente en el Sistema 7° aproximación, USDA (1988).

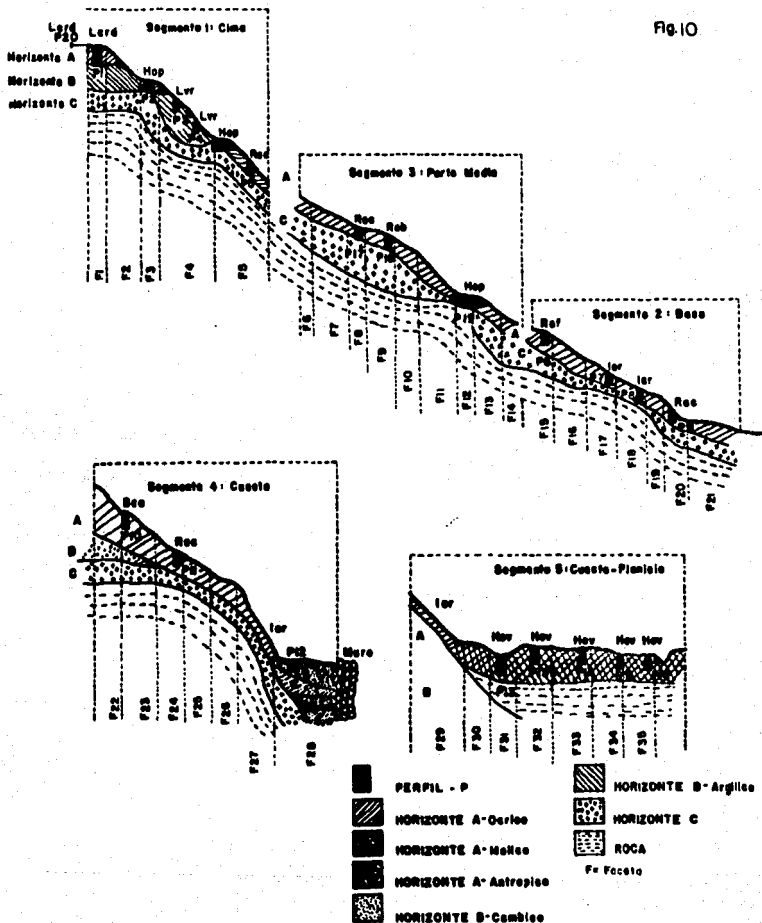
Estos suelos son producto de las actividades humanas y han sido el resultado de profundas modificaciones en las características del suelo original, a través de la remoción o perturbación del perfil, o a través de la adición de materiales orgánicos o de irrigación continua y prolongada.

Estos suelos han sido examinados desde muchas perspectivas. Yenny (1941), Bidwell y Hole (1965), Yaalon y Yarón (1976) han coincidido en que su extensión geográfica e importancia cultural son mayores de las que actualmente se les ha concedido.

En el área de estudio existen algunos ejemplos de estos suelos. En general, se presentan como terrazas, las cuales implican la construcción de pequeñas represas de roca que cruzan cárcavas y ríogolas, presentando sedimentación subsecuente en la parte superior de la pendiente de cada derrame (Fig. 10). Los sitios están, principalmente, dentro de una escala limitada de lugares

# DISTRIBUCION ESPECIAL DE LAS UNIDADES DE SUELOS

Fig.10



posibles, implicando la colocación deliberada de tales represas respecto a factores de escorrentía, topografía y suelos (Fig. 10).

Estas terrazas funcionan (o funcionaban) para reducir la velocidad de escorrentía, aumentar la humedad del suelo y su espesor. Los cambios morfológicos del suelo que continúan en el presente, están limitados principalmente a los horizontes superficiales. Estos horizontes superficiales, en la mayoría de las terrazas observadas, presentan características de color, estructura y materia orgánica similares a los horizontes A mólicos. Consecuentemente, en este trabajo han sido considerados en función de su origen, como horizontes A antrópicos.

En el área de estudio fueron detectadas las siguientes unidades de Antrosoles:

1) Antrosoles que muestran claramente remanentes de horizontes diagnósticos, perturbados por cultivos y subsoleo. A estos suelos se les denominó según FAO (1985), Antrosoles áricos.

2) Antrosoles que fueron rellenados, por el efecto de la escorrentía y por la acción humana. Estos rellenos, principalmente, consistían de restos orgánicos y lodos. A estos suelos se les ha denominado Antrosoles fímicos.

3) Antrosoles que muestran una acumulación de sedimentos finos o medios, mayores de 50 cm de espesor, resultado de una larga y continua escorrentía. El perfil 12 es un ejemplo de ello y se les denomina Antrosoles cumúlicos. En ocasiones, estos suelos presentan en su perfil restos de materiales para construcción, lo cual constituye un elemento característico denominado urbano, conotativo de urbe.

4) Antrosoles que muestran una acumulación mayor de 100 cm, constituida unicamente por materiales de origen tecnógeno (rellenos de minas, concreto, etc.). A estos suelos se les ha denominado Antrosoles úrbicos.

Es importante denotar que aunque estos suelos representan zonalmente una superficie pequeña, no cartografiable, su enorme importancia histórica nos indujo a referirlos y considerarlos en esta tesis.

Sus características físicas y químicas, así como su riesgo de erodabilidad, resultan muy variables, por lo que estimamos que el perfil 12 sólo podía considerarse representativo para algunos Antrosoles cumúlicos con caracteres similares. Esta unidad de suelos requiere de intensos y profundos estudios para su diagnóstico y para su manejo.

#### 7.2.4.1. Caracterización morfológica, física y química de los suelos.

Los resultados de los análisis morfológicos de los perfiles estudiados en campo, así como de los análisis físicos y químicos practicados en los epipedones colectados se muestran resumidos, respectivamente, en los cuadros 10-11. De ambos análisis es posible establecer las siguientes características diagnósticas:

1) Las Unidades de Regosoles y Leptosoles se caracterizan por ser suelos jóvenes o en proceso de rejuvenecimiento. Generalmente, se localizan en relieves ondulados a montuosos (Fig. 10). Su modo de formación puede ser residual, eólico coluvio-aluvial o coluvial generalmente, con drenaje externo eficiente, una erosión hídrica muy evidente y alta influencia humana.



CLAVES PARA LA DESCRIPCION DE LOS PERFILES

G = grieta  
 Gv = grava  
 Cn = concreciones  
 Mn = manchas  
 No = nodulos  
 Sk = película arcillosa

A M = molico  
 O = ocrico

B2t argillico  
 B2 cambico  
 (B) estructural  
 Bg pseudogley

Separación  
contraste

1 Abrupta 2.5 cm	1- Ondulada
2 Clara 2.5 a 6 cm	2- Irregular
3 Gradual 6 a 12.5 cm	3- Discontinua
4 Defusa 12.5 cm	4- Plana
	5- Lenguas

Consistencia  
seco

1 Suelta	1 Suelta
2 Blanda	2 Muy friable
3 Ligeramente dura	3 Friable
4 Dura	4 Firme
5 Muy dura	5 Muy firme
6 Extremadamente dura	6 Extremadamente firme

forma

húmedo

Adhesividad y Plasticidad (ambos)

1 Nula 3 Moderada  
 1 Ligera 4 Fuerte

Gravas guijarros piedras

Tamaño

Gravas 1 Fina de 0.2 - 1 cm 3 Angulares  
 2 Media de 1 - 5 cm 4 Subangulares  
 3 Gruesas 5 - 7.5 cm 5 Planas

guijarros de 7.5 - 25 cm  
 piedras de 25 cm

Forma

Cantidad

1 Redondeadas	1 muy escasas 5% en vol.
2 Subredondeadas	2 escasas 5-15% en vol.
	3 frecuentes 15-40% en vol.
	4 abundantes 40-80% en vol.
	5 dominantes 80% en vol.

Estructura

Forma

Tamaño

1 Laminar	1 Muy fina
2 Cubica	2 fina
3 Prismática	3 media
4 Columnar	4 gruesa
5 Bloques angulares	5 muy gruesa
6 Bloques subangulares	
	<u>Desarrollo</u>
7 Granular	1 débil
8 Migajosa	2 moderado
9 Masiva	3 fuerte

Porosidad  
cantidad

Constitución

1- escasa cada 1.5 cm o más	1 Finamente poroso
2- moderada entre 0.5-1.5 cm	2 Poroso 1-3 mm
3- abundante cada 0.5 cm o menos	3 Esponjoso 3-5 mm
	4 Cavernoso 5-10 mm
	5 Celular 10 mm

Películas (Los anotados película arcillosa, de manganeso, óxido de hierro, sales solubles-carbonatos, sulfatos, cloruros, de sílice, etc.)

Distribución

- 1- Zonales
- 2- Discontinuos
- 3- Continuos

Espesor

- 1- Delgados
- 2- Moderadamente gruesos
- 3- Gruesos

Ubicación

- 1- Horizontales
- 2- Verticales
- 3- Horizontales y verticales
- 4- Puentes y/o superficie de clásticas
- 5- En tubos canales de raíces fisuras y grietas

Drenaje Interno

- 0 - Muy escasamente drenado
- 1 - Escasamente drenado
- 2 - Imperfectamente drenado
- 3 - Moderadamente drenado
- 4 - Drenado
- 5 - Muy drenado
- 6 - Excesivamente drenado





En general, presentan estructuras en su perfil, que varían de laminares a migajosas débilmente desarrolladas. Su porosidad es fina y, en ocasiones, de tipo esponjoso. Sus pedrs son de consistencia blanda en seco y friable en húmedo. Presentan esqueleto en el solum constituido, principalmente, por gravas subredondeadas y angulares. En general, presentan poca densidad de raíces.

El tipo textural, en estos suelos, varía de migajón arenoso a franco, con contenidos de arena generalmente superiores al 50% y contenidos de arcilla de 10 - 26%. Se caracterizan por presentar altos contenidos de limo, generalmente mayores de 30% con excepción de los perfiles 9 y 17, en que sus porcentajes son menores (cuadro 11). Sus contenidos de limos y arenas muy finas, también son muy altos y varía de 46 - 71%. Estos contenidos altos de arenas muy finas y limos han limitado el drenaje interno en estos suelos de lento a moderadamente lento. Sus porcentajes de materia orgánica son muy variables, y van de pobres a extremadamente ricos.

Sus pH, en general, varían de ligeramente ácido a neutro. Su capacidad de intercambio catiónico en general es moderadamente alta, debido a la presencia de alofano y de arcillas montmorilloníticas. Presentan deficiencias, en cuanto a sus porcentajes de saturación de bases y sus contenidos de nitrógeno varían de pobres a medianamente ricos.

Feozem (II). Esta Unidad constituida en general por suelos en proceso de rejuvenecimiento y empardecimiento, se localizan casi siempre en las áreas más estables y con menor pendiente (fig. 10). Se consideran suelos residuales, formados a partir de

rocas metamórficas, aluviones arcillosos antiguos o de otros suelos (Luvisoles), que han servido como material parental. Se caracterizan por presentar un drenaje externo eficiente y por ser, zonalmente, los suelos con menor erosión hídrica aparente, no obstante la alta influencia humana a la que han sido sometidos.

Morfológicamente, son suelos con una profundidad promedio mayor de 50 cm, con excepción de los perfiles 2 y 19, los cuales están limitados a una profundidad menor de 40 cm, debido a la presencia de roca dura continua y coherente (cuadro 10).

Sus horizontes presentan estructuras angulares y subangulares, con desarrollo de moderado a fuerte y el tamaño de ped de fino a medio. Son porosos, en ocasiones muy porosos. El horizonte B casi siempre es de porosidad fina. Los peds son de consistencia blanda a ligeramente dura en seco y, generalmente, friable en húmedo. El solum no presenta esqueleto, aunque presenta algunas microestructuras como son: cutanes, concreciones, nodulos, manchas, grietas y fisuras. Es frecuente que presenten raíces en cantidad que varía de 20 a 60 por cada 10 dm<sup>2</sup>. En general, son suelos moderadamente drenados, con excepción de los perfiles 15 y 16 donde el drenaje interno es lento.

Su tipo textural es predominantemente de migajón arcilloso, aunque en ocasiones presentan texturas francas, migajón limoso o migajón arenoso. Sus contenidos de arena son menores que en el caso de los Regosoles y Leptosoles. De igual modo, sus contenidos de arcilla son mayores. Estos suelos se caracterizan por presentar contenidos de materia orgánica mayores al 1%. Generalmente, estos contenidos varían en sus porcentajes, de medianos a

ricos. Sus pH varían de ligeramente ácidos a muy ligeramente alcalinos. La capacidad de intercambio catiónico es moderada. Sus porcentajes de saturación de bases varían de 50 a 62%, lo cual indica desbasificación moderada. Los contenidos de Nitrógeno varían de medianos a ricos (Cuadro 11).

Cambisoles (III). La Unidad Cambisoles está representada zonalmente por suelos jóvenes derivados de rocas metamórficas y rejuvenecidos periódicamente, por el aporte de cenizas volcánicas. Estos suelos se localizan en relieves ondulados que, generalmente, poseen un drenaje externo muy eficiente, una erosión hídrica moderada, alta influencia humana manifiesta por el cultivo y con frecuencia por el pastoreo (Fig. 10).

Estos suelos presentan pedos con estructura angular y subangular, en el horizonte A y prismática, en ocasiones columnar, en el horizonte B. La porosidad en el horizonte A es fina o esponjosa, y fina en el horizonte B; la consistencia de los pedos varía de ligeramente dura a dura en seco, y de friable a firme en húmedo. Ocasionalmente, presentan esqueleto en el solum, constituido principalmente por guijarros subangulares. En general, presentan edafoestructuras características como: concreciones y manchas de color rojo u ocre y, con frecuencia presentan grietas y fisuras. Las raíces llegan a ser frecuentes en el horizonte A, y escasas en el B. Su drenaje interno es moderado (Cuadros 10-11).

El tipo textural predominante en estos suelos es franco, aunque existen algunos migajones limosos y arcillosos. Sus contenidos característicos de arenas en los horizontes son próximos al 50%, mientras que sus contenidos de arcillas no llegan al 20%.

Estos suelos, generalmente presentan altos contenidos de limos, que varían localmente de 35 a 50%. Es importante señalar que sus contenidos de arenas muy finas, también son muy altos y varían de 35-46. El pH varía de muy ligeramente ácido a neutro. En general, estos suelos son ricos en materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico es alta debido principalmente a los contenidos de materia orgánica y humus presentes. Como todos los suelos de la zona, presentan una tendencia fuerte a la desbasificación. Los contenidos de N son muy variables, en estos suelos y generalmente, oscilan de medianamente pobres a medianamente ricos (Cuadro 11).

4) Luvisoles. Como se ha discutido anteriormente, la Unidad Luvisol está representada por suelos maduros bien desarrollados morfológicamente, aunque con procesos intensos de degradación física, química y principalmente biológica. Estos procesos son resultado del desequilibrio que actualmente existe entre estos suelos y su medio. (Edafoperturbación). Originalmente, el proceso dominante en ellos era la argilización (formación de arcillas y B<sub>2</sub>t. Actualmente, por las características morfológicas y químicas que presentan, se infiere que el proceso dominante es la par-dificación, llamada también melanización.

Estos suelos se localizan siempre en las áreas más estables y antiguas. Son suelos residuales, formados a partir de rocas parentales metamórficas, alteradas bajo condiciones de un régimen árido que, como se ha dicho anteriormente, es propio de bosques húmedos y fríos (vegetación holártica). Presentan un drenaje externo eficiente y signos evidentes de erosión hídrica que varía de rigolas a cárcavas, debido a la alta influencia humana, prin-

principalmente cultivos de temporal.

La estructura de los pedrs en el horizonte A, es predominante mente subangular y angular en el horizonte B. En ambos casos se trata de estructuras bien desarrolladas, de tamaño medio y grueso. Sólo en los Luvisoles muy alterados existe una degradación aparente de esta estructura. La porosidad en sus pedrs es fina en todo el perfil y su consistencia generalmente es dura o ligeramente dura y siempre firme en húmedo. Estos pedrs son adhesivos y plásticos cuando el suelo está húmedo (Cuadro 11).

Los suelos no alterados no presentan esqueleto. Los alterados lo presentan debido a procesos de coluvionamiento o aluvionamiento secundarios a su edafogénesis. En general, el esqueleto en los perfiles alterados está constituido por gravas y guijarros de formas, tamaños y naturaleza caótica. Estos suelos se caracterizan por presentar un horizonte de acumulación de arcillas (B<sub>2t</sub>), en el cual, si el suelo no está degradado, se observan películas arcillosas orientadas vertical y horizontalmente y de espesor grueso (B argílico).

En los escasos sitios no alterados que se presentan en el área de estudio, estos suelos muestran un horizonte A con alta densidad de raíces en ocasiones próximas a 100/c.10dm<sup>2</sup>. Así mismo, llegan a presentar una capa de hojarasca con un espesor promedio de 6 cm. Estos suelos, en general, se consideran con un drenaje interno moderado.

El tipo textural en los horizontes A y B es predominantemente fino con contenidos de arena que varían de 42 a 48% en el horizonte A y de 35 a 40% en el horizonte B. Los mayores porcenta-

jes de arcilla se concentran, principalmente en el horizonte B<sub>2t</sub> y llegan a variar de 28 hasta 40%. Los porcentajes de limos son moderados y varían de 24 a 28%. Los porcentajes de arenas muy finas son moderados.

En general, en los horizontes A los contenidos de materia orgánica varían de medianamente pobre, en los suelos más degradados, a rico en los suelos con menor alteración. En pH varía de ligeramente ácido a muy ligeramente ácido. La capacidad de intercambio catiónico es alta en el horizonte A y moderada en el horizonte B. Esto es debido principalmente, a la presencia de arcillas de relación 1:1 (grupo de caolín) en el horizonte B. Sus contenidos en bases siempre son más altos en el horizonte A que en el B. Sin embargo, en ningún caso exceden de 60%. El perfil 4 muestra una desbasificación severa (porcentaje de bases menor de 50%). Sus contenidos de nitrógeno son pobres en los suelos degradados y medianamente ricos en los suelos menos alterados (Cuadro 11).

Antrosoles (V). Estos suelos se caracterizan por presentar propiedades morfológicas, físicas, químicas y biológicas muy variables. El perfil 12 representa un suelo típico de esta Unidad en la zona de estudio, presenta coloración, espesor, contenido de materia orgánica, saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico similares a las que presentan los suelos de la Unidad Feozem (cuadro 10-11). Estas características no son diagnós-ticas, ya que existen informes de suelos similares en el estado de Nuevo México USA, donde las características antes mencionadas son completamente diferentes. Estos suelos también son comunes

en Europa (Soil Sourvey. Staff 1975). Sin embargo, en estos países se nota únicamente un enriquecimiento en el horizonte superior (altos contenidos de nitrógeno y fósforo), lo que evidentemente muestra que estos suelos fueron "construidos" por el hombre con fines de uso agrícola; a diferencia de los suelos estudiados, cuyos fines son principalmente para la conservación.

El perfil 12 presenta una textura franca muy evidente, buena permeabilidad y desde luego poca erosión, lo cual no es característico para ninguno de los otros suelos estudiados en el área.

En términos generales, la observación a través de microscopía nos indicó claramente que los peds que integran a estos perfiles son heterogéneos, ya que corresponden con peds de las diferentes Unidades de suelos estudiados.

Por otra parte, se observa con excepción del horizonte A, que el perfil está constituido por capas de espesores variables (depósitos) que indican la juventud de estos suelos, y su absoluta falta de horizontalización, es decir, de procesos edafogénicos.

Resulta muy interesante observar que el horizonte A, como se ha mencionado ya, presenta características similares a un A mólico, lo cual contradice algunas de las teorías que indican que la formación de este horizonte requiere de cientos de años, ya que estos suelos según algunos restos arqueológicos encontrados en ellos, no tienen una antigüedad mayor de 300 años. Estas observaciones también han sido realizadas o citadas para Nuevo México USA, principalmente por Sharpley y Smith (1983).

#### 7.2.4.2. Evaluación paramétrica del factor suelo (K)

Como se observa en el cuadro 12 cada una de las Unidades de suelos que se localizan en el área de estudio, presenta diferentes valores de erodabilidad. Estos valores son característicos para taxón edáfico.

En el cuadro 12 se muestran además, los siete grados de erodabilidad detectados, las Unidades de suelos que los presentan, las facetas en que se localizan estas Unidades y las tres clases de erodabilidad que originan:

**GRADOS Y CLASES DE ERODABILIDAD**

Cuadro 12

GRADO (K)	SUELO	FACETA	CLASE DE ERODABILIDAD
1) menor e 0.20	L, B, A	1, 22, 28	Ligera
2) 0.20 - 0.29	L, M	2, 33	Ligera
3) 0.29 - 0.39	L, M	4, 34	Moderada
4) 0.39 - 0.49	M, R, I	5, 11, 12, 13, 14, 20, 30, 31, 32, 38	Moderada
5) 0.49 - 0.59	R, I	15, 16, 17	Moderada
6) 0.40 - 0.66	R, I	3, 6, 7, 8, 9, 21, 24, 25, 26	Moderada
7) mayores e 0.66	R, I	10, 18, 19, 27, 29	Alta

L = levisol      R = regosol      B = cambisol  
I = leptosol    M = faezem      A = entosol

Como se observa en este cuadro, aproximadamente un 70% de las facetas estudiadas presenta suelos con una clase de erodabilidad moderada, un 15% ligera y otro 15% alta. No obstante, conviene advertir que estas cifras resultan relativas, ya que como se observa en este cuadro, aproximadamente un 40% de las facetas



que presentan una clase de erodabilidad moderada, tienen también un grado de erodabilidad muy alto (grado 6). De continuar la degradación del ecosistema, las facetas 5, 6, 7, 8, 9, 21, 24, 25 y 26, terminarán por erosionarse totalmente, ya que se incrementará su erodabilidad principalmente por la pérdida de materia orgánica y, consecuentemente, por la degradación de los agregados estructurales.

En el caso de la Unidad Luvisoles, los valores de K para el perfil 1, 3 y 20 son ligeros, y moderados para el perfil 4. Como se observa en el cuadro 12 la erodabilidad de estos suelos tiende a ser ligera.

Las unidades de Feozem se caracterizan por presentar valores moderados para su clase de erodabilidad, con excepción del perfil 14, cuyo valor es ligero.

La unidad de Cambisoles presenta, de modo similar a la unidad Feozem, valores moderados para su clase de erodabilidad (cuadro 12 y fig. 11).

Las unidades de Regosoles y Leptosoles resultaron ser las unidades con valores más altos para su clase de erodabilidad (cuadro 12), considerándose moderados para los perfiles 5, 6, 7, 9, 11 y 17 y altos únicamente para los perfiles 8 y 18.

La unidad Antrosoles mostró valores ligeros para su clase de erodabilidad (cuadro 12).

Las clases de erodabilidad determinadas en este trabajo para cada unidad de suelos estudiada son, con excepción de los Cambisoles, diferentes a las preestablecidas por FAO-PNUMA (1980). Esta aparente discrepancia se debe a que los valores propuestos por

FAO-PNUMA son promedios estadísticos, útiles sólo para evaluar las clases a nivel regional; en tanto que los valores de clase presentados en este estudio, son producto de una estimación directa, diseñada para una evaluación semidetallada de la erodabilidad de los suelos.

En la fig. 11 se observa una distribución de los perfiles estudiados según su riesgo de erosión y su valor de erodabilidad.

En esta figura 11 se aprecia claramente que todos los perfiles, con excepción del 8 y 18 presentan riesgos ligeros y moderados, mientras que los perfiles antes citados 8 y 18, son los únicos con un riesgo alto a la erosión.

En el cuadro número 13 se muestran los principales elementos considerados para la determinación detallada del factor (K) de erodabilidad.

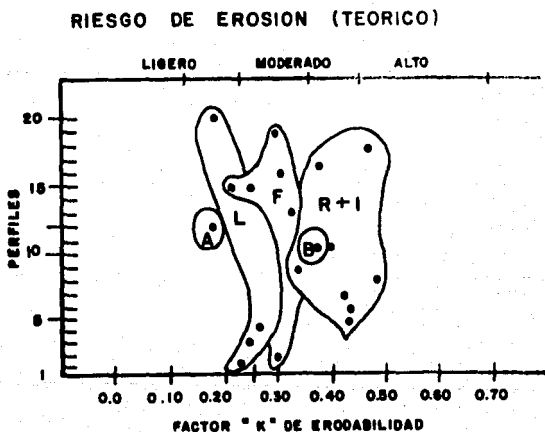
Como puede observarse en este cuadro, los mayores contenidos de arena muy fina y limo correspondieron con las Unidades de Regosoles y Leptosoles; mientras que los menores contenidos de estas fracciones correspondieron con las Unidades Luvisoles y Antrosoles. La variabilidad detectada en los porcentajes de arenas muy finas y limos, resultó muy significativa desde el punto de vista del grado, clase y valor de la erodabilidad.

Si se comparan los resultados obtenidos en el cuadro 13, con los presentados en la figura 11; se observará que existe una correlación directa para cada Unidad de Suelos, entre los porcentajes de partículas finas (diámetro  $< 0.5\text{mm}$ ) y su valor de erodabilidad.

Desde luego, es evidente, que los altos contenidos de limo

se correlacionan con una erodabilidad alta. No obstante, esta correlación está influenciada además, por otros factores como son: porcentaje de materia orgánica, porcentaje de arena, porcentaje de arcilla y pH (cuadro 11).

Cuando la relación arena/limo es baja pero la materia orgánica es alta, los valores de K son bajos. Cuando los porcentajes de arcilla son altos no interesan los porcentajes de materia orgánica presente, ni la relación arena/limo, ya que el valor de K también será bajo. Bajo estas condiciones la arcilla proporciona agregación y coherencia al suelo.



DETERMINACION DEL FACTOR DE EROABILIDAD DEL SUELO (II)

Cuadro 8 13

PERFIL	AREA DE INFLUENCIA	% DE ARENAS TOTAL	% DE ARENAS DE ARENAS MUY FINAS	% DE ARENAS GRUESAS, MEDIAS Y FINAS	% DE ARENAS MUY FINAS LITRO	% DE MATERIA ORGANICA	ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD	VALOR DEL FACTOR K
UNIDAD LUISOLES	F1, F2	48	16	32	40	3.20	4	Moderada 3	0.23
	F4	34	10	24	36	1.22	4	Lenta 4	0.25
	F4	46	14	32	30	1.35	4	Moderada 3	0.16
	F1	42	12	30	34	4.10	4	Moderada 3	0.10
UNIDAD DE MENDOCLES Y LEPTOCLES	F3	52	19	33	31	1.15	4	Muy lenta 4	0.43
	F15, F16, F17	40	22	26	46	0.83	4	Muy lenta 4	0.36
	F18, F19, F21	50	20	30	34	1.07	4	Muy lenta 4	0.47
	F6, F7, F8	40	35	25	43	0.42	4	Lenta 5	0.43
	F9	50	26	24	64	3.52	4	Lenta 5	0.42
	F10	40	25	15	71	4.46	4	Lenta 5	0.47
	F11, F12, F13	40	34	34	52	4.34	4	Muy lenta 4	0.34
	F14								
	F24, F25, F26	54	24	30	60	4.09	4	Lenta 5	0.40
	F7								
PERZEN	F3, 1/3 3	46	11	35	49	3.00	4	Moderada 3	0.30
	F30, F31, F32	40	12	28	52	2.37	4	Moderada 3	0.34
	F33	50	14	36	34	3.70	4	Moderada 3	0.22
	F34	40	14	34	36	2.25	4	Muy lenta 4	0.25
	F35	54	14	40	40	1.00	4	Muy lenta 4	0.32
	F20	50	16	44	44	2.75	4	Moderada 3	0.30
CAMBIOLES	F22, F29	46	23	23	61	3.33	4	Muy lenta 4	0.37
ANTROBLES	F20	44	10	34	40	4.66	4	Moderada 3	0.17

### 7.2.5 Factor vegetación (V).

Desde el punto de vista ecológico se distinguen zonalmente, dos grupos vegetales a mencionar: a) plantas arvenses (plantas ligadas a los cultivos); y b) plantas ruderales (propias de los poblados y de las vías terrestres). Ambos grupos de plantas constituyen una asociación secundaria denominada por Rzendowski (1985) "maleza". La mayoría de las malezas están constituidas por especies particularmente bien adaptadas a las condiciones antropogénicas, peculiares, en las que se desarrollan. Su auge se inició, sin duda, con el origen mismo de la agricultura y con el establecimiento sedentario del hombre.

El ubicuismo de estos vegetales les ha permitido invadir y expandirse en zonas dedicadas a cultivos, provocando una competencia interespecífica en estos lugares. El estudio botánico en el área de estudio permitió determinar 29 familias, 50 géneros y 59 especies vegetales presentes durante el Verano, y sólo 8 familias, 15 géneros y 15 especies presentes durante el Otoño (Cuadros 14 y 15). En estos mismos cuadros se incluyen como resultados, la lista florística correspondiente a cada faceta.

Se incluyen también sus porcentajes de cobertura máxima, determinado durante el Verano y Otoño.

Se hace especial énfasis a la vegetación detectada durante el Verano, en virtud de que durante esta época se presenta la temporada de lluvias y, en consecuencia, los principales procesos de hidroerosión.

De modo especial, como se ha citado anteriormente, la protección del suelo contra el impacto de la gota de lluvia (Micro-

## LISTA FLORISTICA DE GENEROS Y ESPECIES COLECTADAS EN VERANO

NOMBRE CIENTIFICO	LEV.1	LEV.2	LEV.3	LEV.4	LEV.5
1 Anagallis arvensis				10%	
2 Anthericum stenocarpum		20%		20%	
3 Arbutus glandulosa				1%	
4 Sacharis pteronioides		30%			
5 Bidens odorata		20%			
6 Bouvardia ternifolia	20%	20%		40%	
7 Brassica campestris		30%			
8 Brassica napus			50%		
9 Calliandra sp		40%	50%	50%	20%
10 Castilleja tenuifolia	20%				
11 Cologania glabrior			20%		
12 Conyza sp	50%				
13 Crotalaria pumila			30%	30%	30%
14 Crotalaria rotundifolia			40%		
15 Cyperus aggregatus		30%	50%	30%	
16 Cyperus ischnos				30%	
17 Cuphea aequipetala					30%
18 Dahlia coccinea		40%	50%	50%	10%
19 Desmodium sp		10%			
20 Erigeron longipes	10%		10%		
21 Eruca sativa		10%		10%	
22 Eringium carlinae					50%
23 Gaura hexandra	20%				10%
24 Geranium aristaeapalium		5%			
25 Ialtomata procumbens	20%				
26 Lepechinia caulescens					20%
27 Lobelia fenestralis					50%
28 Loeselia mexicana			10%		
29 Macroptilium gibosifolium					10%
30 Medicago sp			30%		
31 Mirabilis jalapa	30%	30%	50%		
32 Monina ciliolata	20%		10%		
33 Montanoa grandiflora		40%	40%	50%	10%
34 Nemastylis tenuis var nanai					20%
35 Oenothera pubescens	20%	30%	20%	30%	
36 Oxalis corniculata		50%	10%		
37 Oxalis divergens	20%	50%			
38 Pellea cordifolia		40%			
39 Penstemon campanulatus		10%		30%	10%
40 Piqueria trinervia	20%	30%			
41 Physalis sordida	20%				
42 Phytolacca icosandra		5%			
43 Plantago linearis		10%			
44 Quercus obtusata				5%	5%
45 Ranunculus petiolaris					10%
46 Salvia laevis		10%	20%		
47 Salvia polystachya	30%				
48 Solanum sp.		5%		10%	
49 Solanum stoloniferum		10%			
50 Stachys keerii					10%
51 Stevia salicifolia					30%
52 Tagetes lãcida			40%	20%	20%
53 Tagetes aff. coronopifolia	70%	50%	40%	20%	
54 Tillandsia sp.		10%			
55 Trifolium amabile		60%	30%		30%
56 Tripogandra floribunda		5%			
57 Verbena carolina		30%			
58 Verbena litoralis			40%	40%	
59 Verbena tenerifolia	30%	20%	40%		

LISTA FLORISTICA

Familias y géneros colectados en Otoño

FAMILIA	GENERO
Compositae.....	<i>Bidens odorata</i> . Cav. <i>Conyza</i> sp. <i>Cosmos bipinata</i> . Cav. <i>Montanoa grandiflora</i> . (DC.) Sch. <i>Senecio stoechadiformis</i> . DC. <i>Tagetes lucida</i> . Cav. <i>Tagetes aff coronopifolia</i> . <i>Vernonia alamanii</i> . D.C.
Labiatae.....	<i>Salvia polistachya</i> . Ort.
Onagraceae.....	<i>Lopezia racemosa</i> . Cav.
Polemoniaceae.....	<i>Loeselia mexicana</i> . (Lam). Brand. ( <i>L.coccinea</i> { Cav.}). Don
Scrophulariaceae.....	<i>Castilleja tenuifolia</i> . Benth. <i>Penstemon campanulatus</i> . (Cav.) Willd.
Leguminosae.....	<i>Calliandra</i> sp.
Fagaceae.....	<i>Quercus obtusata</i> .
Ericaceae.....	<i>Arbutus glandulosa</i> .

- Geraniaceae.....*Geranium aristisepalum*. Moore.  
 Iridaceae.....*Nemastylis tenuis*. var. *nana*. (S. Wats). Foster.  
 Labiateae.....*Lepechinia caulescens*. (L. *spicata* Willd)  
 (Oxt.) Epl.  
                   *Salvia laevis*. Benth.  
                   *Salvia polystachya*. Oxt.  
                   *Stachys keertli*. Benth.
- Leguminosae.....*Cologania glabrator*. Rose.  
                   *Crotalaria pumila*. Oxt.  
                   *Crotalaria rotundifolia*. var. *vulgaris*. Windler.  
                   *Calliandra* sp.  
                   *Desmodium* sp.  
                   *Macroptilium gibossifolium*. (Gómez-Ortega)  
   A. Delgado.  
                   *Medicago* sp.  
                   *Trifolium amabile*. HBK.
- Liliaceae.....*Anthericum stenocarpum*. Baker.  
 Lythraceae.....*Cuphea aequipetala*. Cav.  
 Nyctaginaceae.....*Mirabilis xalapa*.  
 Onagraceae.....*Gaura hexandra*. Gómez. Oxt.  
                   *Oenothera pubescens*. Willd. ex. Spreng.  
                   {*O. laciniata*. var. *pubescens*, (Willd) Muns}.
- Oxalidaceae.....*Oxalis divergens*. Benth. ex. Lind.  
                   *Oxalis corniculata*. L.
- Phytolaccaceae.....*Phytolaca icosandra*. L.
- Plantaginaceae.....*Plantago linearis*. HBK.
- Polemoniaceae.....*Loeselia mexicana*. (Lam.) Brand.  
                   {*L. coccinea* (Cav. (Don).





LISTA FLORISTICA DE GENEROS Y ESPECIES COLECTADAS EN OTONO  
Y PORCENTAJES DE COBERTURA

NOMBRE CIENTIFICO	LEV.1	LEV.2	LEV.3	LEV.4	LEV.5
5 <i>Bidens odorata</i>		40%	40%	30%	
9 <i>Calliandra</i> sp		40%	40%	40%	
10 <i>Castilleja tenuifolia</i>		20%	10%	10%	
12 <i>Coryza</i> sp	20%	30%	30%	20%	
60 <i>Cosmos bipinatus</i>			30%		
28 <i>Loeselia mexicana</i>		20%	10%	10%	10%
61 <i>Lopezia racemosa</i>		30%		30%	
33 <i>Montanoa grandiflora</i>	40%	40%	10%	20%	
39 <i>Penstemon campanulatus</i>	10%	10%			
47 <i>Salvia polystachya</i>	20%	30%			
62 <i>Senecio stoechadiformis</i>	30%	30%	30%	20%	
53 <i>Tagetes lucida</i>	40%	40%	30%	20%	
63 <i>Vernonia alananii</i>			20%		

LISTA FLORISTICA

Familias y géneros colectados en Verano

Familia.....	Género
Bromeliaceae.....	<i>Tillandsia</i> sp.
Campanulaceae.....	<i>Lobelia fenestralis</i> . Cav.
Commelinaceae.....	<i>Tripogandra floribunda</i> . (Hook & Ara) Woodson
Compositae.....	<i>Baccharis pterinioides</i> D.C. [ <i>B. remulosa</i> , (D.C.) A. Gray]. <i>Bidens odorata</i> . Cav. <i>Conyza</i> sp. <i>Dhalia coccinea</i> . Cav. <i>Erigeron longipes</i> . D.C. <i>Montanoa grandiflora</i> . (D.C.) Sch. Bip. <i>Piqueria trinervia</i> . Cav. <i>Stevia salicifolia</i> . Cav. <i>Tagetes lucida</i> . Cav. <i>Tagetes</i> aff. <i>coronopifolia</i> . Willd.
Cruciferae.....	<i>Brassica campestris</i> . L. <i>Brassica napus</i> . L. var. <i>oleifera</i> <i>Eruca sativa</i> .
Cyperaceae.....	<i>Cyperus ischnos</i> . <i>Cyperus aggregatus</i> .
Ericaceae.....	<i>Arbutus glandulosa</i> . Mart. & Gal.
Fagaceae.....	<i>Quercus obtusata</i> . H. & B. ( <i>Q. hartwegii</i> . Benet.)

impacto perturbación).

#### 7.2.5.1. Evaluación paramétrica del factor vegetación (V) .

Los valores paramétricos de vegetación sugeridos por FAO-PNUMA (1980). Se basan en el porcentaje de suelo que la vegetación cubre; principalmente durante las estaciones de lluvias (Verano).

Desafortunadamente son muy limitados los mapas botánicos que existen en nuestro país; por lo que los valores que se presentan, en los cuadros 16, 17, 18, 19 y 20, fueron establecidos con base en los levantamientos botánicos efectuados el Verano y Otoño de un solo año (figuras 12 y 12 a); lo cual, evidentemente, no resulta del todo representativo, ya que estimamos que estos valores de porcentaje de cubrimiento de la vegetación del suelo deberían de ser, al menos, promedio de los últimos cinco años .

Como puede observarse en los cuadros 21 y 22, los porcentajes de cubrimientos del suelo durante el Verano son predominantemente - del orden de 20 - 40% y, de modo secundario, de 5 - 20 %. Los porcentajes menores al 5%, así como los mayores de 40% son muy poco, frecuentes y no se consideran representativos de la zona de estudio. Durante el Otoño, la cobertura de vegetación predominante es menor al 5%.

Teóricamente, esta zona debió presentar una cobertura vegetal superior al 80% antes de ser alterada por la acción antropogénica. Existen evidencias de esto en algunas regiones de la Subprovincia de Mil Cumbres, donde la alteración es casi nula y sus porcentajes de cubrimiento son mayores de 80%.

Cuadro #16

LOCALIZACION		VEGETACION DE VERANO		VEGETACION DE OTONO			
LEVANT	IFACETA	GENERO ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL PROM. MAXIMA	GENERO ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL PROM. MAXIMA
	1	<i>Ibervillea obtusata</i> (44)	5%	5%	<i>Ibervillea obtusata</i> (44)	5%	5%
		<i>Arbutus glandulosa</i> (3)	5%		<i>Arbutus glandulosa</i> (3)	5%	
		<i>Sarcocolla torquata</i> (6)	20%				
		<i>Cantillina tenuifolia</i> (10)	20%				
		<i>Conyza</i> sp (12)	50%				
	2	<i>Samra berandera</i> (23)	20%	24%	<i>Conyza</i> sp (12)	20%	5%
		<i>Zaltmata procumbens</i> (25)	20%				
		<i>Mirabilis jalapa</i> (31)	30%				
		<i>Rhinus ciliolata</i> (32)	20%				
	3	<i>Tagetes</i> aff. <i>coranopifolia</i> (53)	70%	70%	-----	( 5%	( 5%
		<i>Isalia corniculata</i> (36)	50%	60%	<i>Tagetes</i> aff. <i>coranopifolia</i> (53)	40%	10%
	4	<i>Tagetes</i> aff. <i>coranopifolia</i> (53)	70%				
		<i>Eriopon longipes</i> (20)	10%				
		<i>Onosmodium pubescens</i> (35)	20%				
	5	<i>Isalia discolorata</i> (37)	20%	22%	<i>Salvia polistachya</i> (47)	20%	5%
		<i>Pignonia trinervis</i> (40)	20%				
		<i>Salvia polistachya</i> (47)	30%				
		<i>Verbena tenuifolia</i> (39)	30%				

LOCALIZACIÓN		VEGETACION DE VERANO			VEGETACION DE OTONO		
LEVANT	FACTA	GENERO Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL PROM. MAXIMA	GENERO Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL PROM. MAXIMA
	6	<i>Ambrosia elenocarpus</i> (2)	20%	20%	-----	1%	1%
		<i>Ambrosia elenocarpus</i> (2)	20%				
		<i>Ambrosia grandiflora</i> (2)	40%				
		<i>Ambrosia pubescens</i> (20)	20%	2%	<i>Ambrosia grandiflora</i> (2)	40%	1%
	7	<i>Ambrosia grandiflora</i> (4)	10%				
		<i>Ambrosia grandiflora</i> (19)	10%				
		<i>Ambrosia grandiflora</i> (19)	10%				
	8	<i>Ambrosia aristolopetala</i> (24)	5%	0%	<i>Passiflora campanulata</i>	10%	5%
		<i>Passiflora campanulata</i> (29)	10%		(29)		
		<i>Calliandra</i> sp (9)	40%				
		<i>Bobbia racemosa</i> (10)	40%				
	9	<i>Boerhaavia</i> sp (17)	10%	20%	<i>Calliandra</i> sp (9)	40%	7%
		<i>Boerhaavia jalapa</i> (3)	20%				
		<i>Boerhaavia carolinensis</i> (30)	40%				
		<i>Boerhaavia</i> sp. (34)	10%				
2	10	<i>Boerhaavia pterocauloides</i> (4)	20%		-----	1%	1%
		<i>Boerhaavia aggregata</i> (15)	20%	20%			
		<i>Boerhaavia carolinensis</i> (36)	10%				
		<i>Boerhaavia divergens</i> (37)	20%				
		<i>Borreria compacta</i> (7)	20%				
		<i>Boerhaavia</i> (30)	3%				
		<i>Boerhaavia</i> (30)	20%	13%	-----	1%	1%
		<i>Boerhaavia linearis</i> (42)	1%				
		<i>Boerhaavia linearis</i> (44)	10%				
		<i>Boerhaavia</i> sp. (48)	3%				
	11	<i>Boerhaavia carolinensis</i> (4)	20%		-----	1%	1%
		<i>Boerhaavia linearis</i> (46)	10%	27%			
		<i>Boerhaavia</i> aff. <i>carolinensis</i>	50%				
		(53)					
	12	<i>Boerhaavia odorata</i> (5)	20%				
		<i>Boerhaavia</i> aff. <i>carolinensis</i>	50%				
		(53)		27%	<i>Boerhaavia odorata</i> (5)	40%	10%
		<i>Boerhaavia floribunda</i> (56)	3%				
	13	<i>Boerhaavia carolinensis</i> (57)	20%				
	14	<i>Boerhaavia linearis</i> (2)	10%	1%	-----	1%	1%
		<i>Boerhaavia linearis</i> (19)	20%				

LOCALIZACION		VEGETACION DE VERANO			VEGETACION DE OTOÑO		
LEVANT	IFACETA	GENERO Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL. PROM. MAXIMA	GENERO Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL. PROM. MAXIMA
		<i>Dracopis vagus</i> (8)	50%				
		<i>Deschampsia pubescens</i> (25)	20%				
	15	<i>Tagetes aff. coronopifolia</i> (53)	40%	36%	-----	15%	15%
		<i>Tritolium amabile</i> (25)	30%				
		<i>Horbeea litoralis</i> (28)	40%				
		<i>Coloanthe glaberr</i> (11)	20%				
		<i>Crotalaria pumila</i> (13)	30%				
		<i>Cyperus aggregatus</i> (15)	30%				
	16	<i>Hemicarpha sp</i> (30)	30%	36%	-----	15%	15%
		<i>Mirabilis jalapa</i> (31)	30%				
		<i>Tagetes aff. coronopifolia</i> (53)	40%				
		<i>Crotalaria retusifolia</i> (14)	40%	25%	-----	15%	15%
		<i>Eriogonum longipes</i> (20)	10%				
3		<i>Calliandra sp</i> (9)	30%		<i>Calliandra sp</i> (9)	40%	
		<i>Bahia coccinea</i> (18)	30%				
		<i>Eriogonum longipes</i> (20)	10%		<i>Loasella mexicana</i> (20)	10%	
	18	<i>Loasella mexicana</i> (20)	10%	32%			12%
		<i>Mimosa grandiflora</i> (23)	40%		<i>Mimosa grandiflora</i> (23)	10%	
		<i>Salvia polistachya</i> (47)	30%				
		<i>Tagetes aff. coronopifolia</i> (53)	40%		<i>Salvia polistachya</i> (47)	20%	
		<i>Tagetes aff. coronopifolia</i> (53)	40%				
	19	<i>Tagetes bicolor</i> (52)	40%	40%	-----	15%	15%
		<i>Salvia polistachya</i> (47)	30%				
		<i>Mimosa grandiflora</i> (23)	10%	15%	<i>Salvia polistachya</i> (47)	20%	10%
		<i>Bahia coccinea</i> (18)	30%				
		<i>Mimosa grandiflora</i> (23)	40%		<i>Mimosa grandiflora</i> (23)	10%	
	21	<i>Tagetes bicolor</i> (52)	40%	42%			10%
		<i>Horbeea litoralis</i> (28)	40%		<i>Tagetes aff. coronopifolia</i> (53)	30%	
		<i>Horbeea laurifolia</i> (29)	40%				

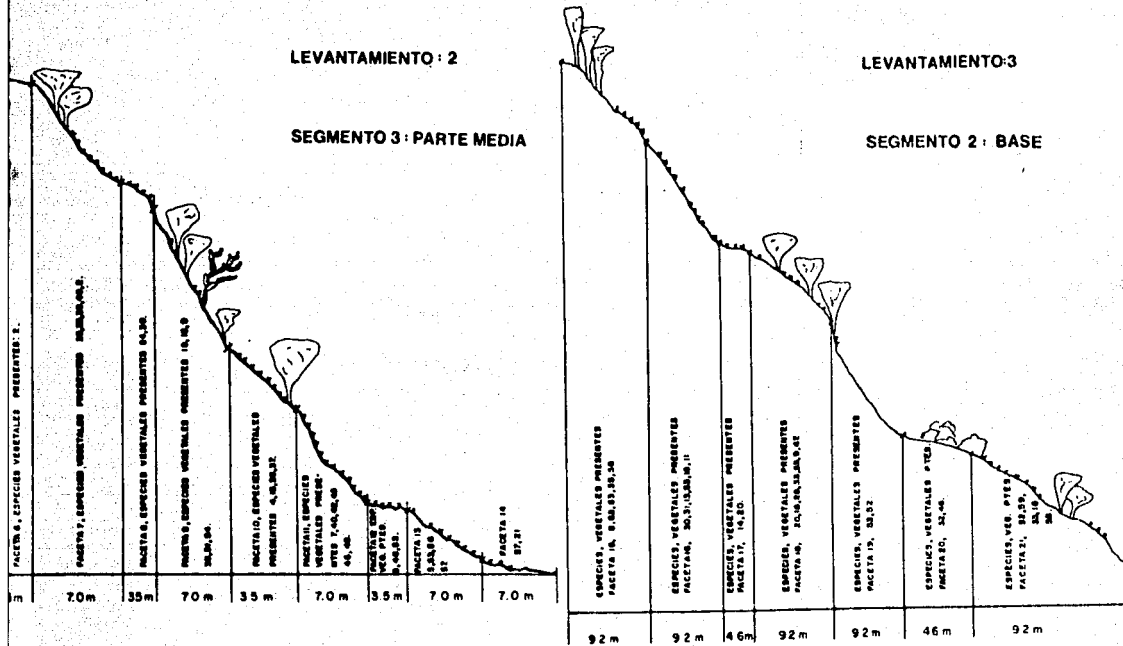
LOCALIZACION		VEGETACION DE VERANO		VEGETACION DE OTONO			
LEVANT	(FACETA)	NOMBRE Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL POR M. MAXIMA	NOMBRE Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL POR M. MAXIMA
	22	(Anagallis arvensis (1)	10%	10%	-----	5%	5%
		(Anthericum stenoacarpum (2)	20%				
		(Eragrostis sativa (21)	19%				
	23	(Onoclella pubescens (25)	30%	15%	-----	5%	5%
		(Poa annua (39)	30%				
		(Galium sp. (40)	10%				
		(Arbutus glandulosa (3)	5%		(Arbutus glandulosa (3)	5%	
	24	(Montanoa grandiflora (33)	50%	20%	(Montanoa grandiflora (33)	20%	10%
		(Quercus obtusata (44)	5%		(Quercus obtusata (44)	5%	
		(Dioscorea ternstroemii (6)	40%				
		(Crotalaria pumila (12)	30%				
	25	(Dahlia coccinea (18)	50%	25%	(Tagetes aff. coronopifolia (53)	40%	10%
		(Tagetes aff. coronopifolia (53)	20%				
		(Arbutus glandulosa (3)	5%				
		(Calliandra sp (9)	50%		(Arbutus glandulosa (3)	5%	
	26	(Cyperus aggregatus (15)	30%	25%	(Calliandra sp (9)	40%	10%
		(Cyperus ischaemum (16)	30%		(Quercus obtusata (44)	5%	
		(Quercus obtusata (44)	5%				
	27	(Quercus obtusata (44)	50%	50%	(Quercus obtusata (44)	50%	50%
	28	(Tagetes aff. coronopifolia (53)	20%	30%	(Tagetes aff. coronopifolia (53)	20%	10%
		(Verbena litorea (38)	40%				



LOCALIZACION		VEGETACION DE VERANO		VEGETACION DE OTONO			
LEVANT	IFACETA	GENERO Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL. PROM. MAXIMA	GENERO Y ESPECIE	% DE COBERTURA POR ESPECIE	% DE COBERT. VEGETAL. PROM. MAXIMA
		<i>Calliandra</i> sp (9)	20%				
		<i>Crotalaria</i> sp (13)	30%				
		<i>Copha</i> <i>angustata</i> (17)	30%				
		<i>Eriogonum</i> <i>carolinense</i> (22)	50%				
	29	<i>Bomra</i> <i>hexandra</i> (23)	10%	21%	-----	(5%)	(5%)
		<i>Lepechinia</i> <i>caulescens</i> (26)	20%				
		<i>Macropitium</i> <i>gibbosifolium</i> (29)	10%				
		<i>Montanoa</i> <i>grandiflora</i> (33)	10%				
		<i>Peritoma</i> <i>complanata</i> (39)	10%				
	30	<i>Lupinus</i> <i>foenestrallis</i> (27)	50%	40%	-----	(5%)	(5%)
		<i>Stevia</i> <i>salicifolia</i> (31)	30%				
5	31	<i>Banunculus</i> <i>potitoris</i> (45)	10%	20%	-----	(5%)	(5%)
		<i>Trifolium</i> <i>amblylo</i> (55)	30%				
		<i>Hemacetylus</i> <i>toennis</i> var <i>nana</i> (34)	20%				
	32	<i>Banunculus</i> <i>potitoris</i> (45)	10%	13%	-----	(5%)	(5%)
		<i>Togetes</i> <i>lucida</i> (52)	10%				
	33	<i>Trifolium</i> <i>amblylo</i> (55)	30%	30%	-----	(5%)	(5%)
	34	<i>Grassum</i> (1)		70%	<i>Grassum</i> (1)		50%
		<i>Grassum</i> (1)		70%			50%



FIG.12



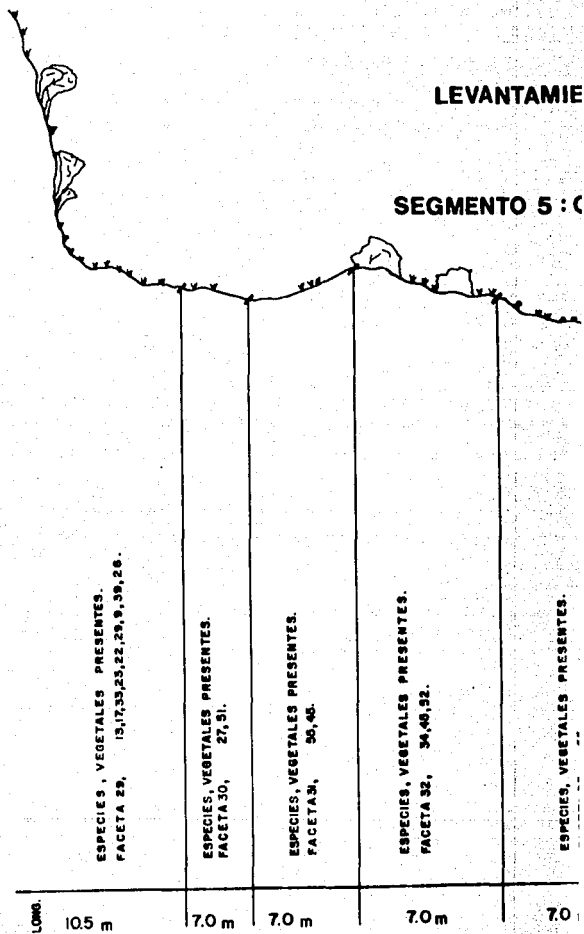
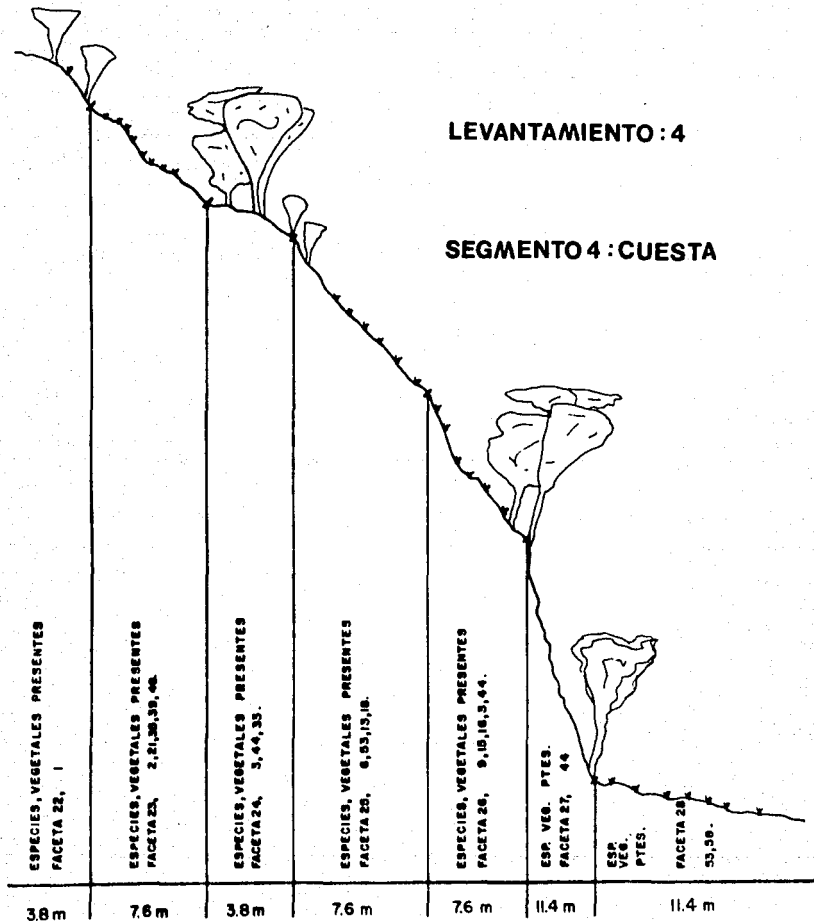
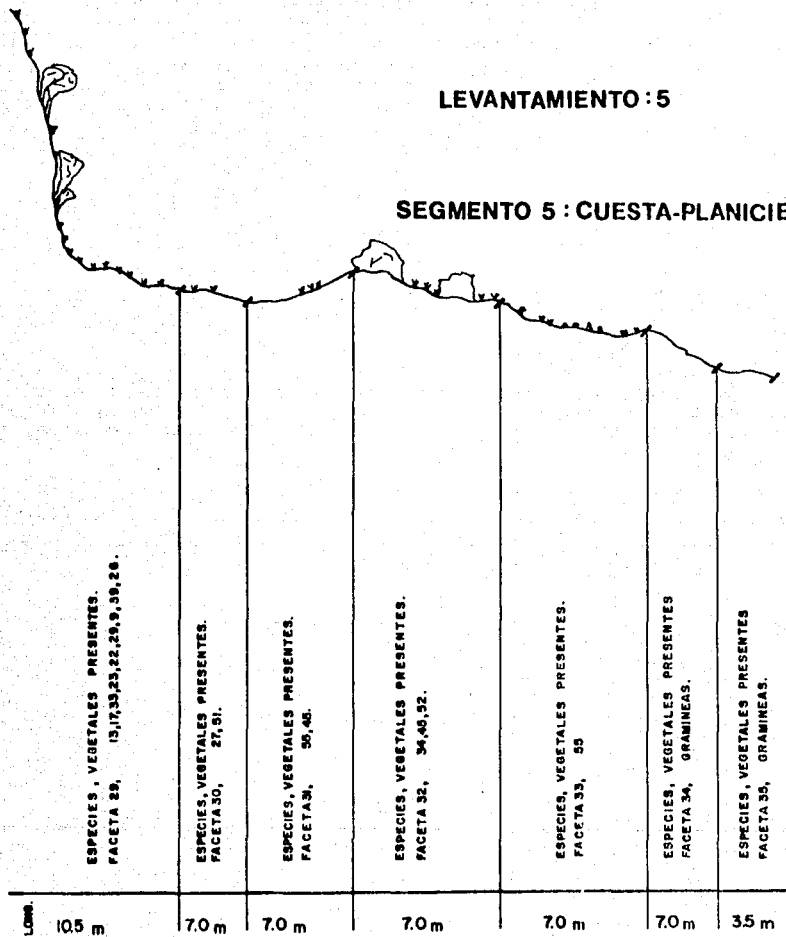


FIG.12 - A

LEVANTAMIENTO : 5

SEGMENTO 5 : CUESTA-PLANICIE



CUADRO DE COBERTURA VEGETAL POR LEVANTAMIENTO PARA VERANO

No.	ESPECIE #1	%	No.	ESPECIE #2	%	No.	ESPECIE #3	%	No.	ESPECIE #4	%	No.	ESPECIE #5	%
1	53 Tagetes aff coronopifolia	70%	55 Trifolium anabile	60%	8 Brassica napus	50%	18 Bahlia coccinea	50%	22 Eriogonum carlinae	50%				
1	12 Coynsa sp	50%	53 Tagetes aff coronopifolia	50%	15 Cyperus aggregatus	50%	33 Montanoa grandiflora	50%	27 Lobelia fenestralis	50%				
1	36 Oxalis corniculata	50%	38 Pellaea cordifolia	50%	18 Bahlia coccinea	50%	9 Calliandra sp	50%	13 Crotilaria pusilla	30%				
1	31 Mirabilis jalapa	30%	19 Desmodium sp	40%	31 Mirabilis jalapa	50%	6 Bouvardia ternifolia	40%	17 Cophea aequipetala	30%				
1	47 Salvia polystachya	30%	34 Menastylis tenuis var nana	40%	9 Calliandra sp	50%	58 Verbena litoralis	40%	51 Stevia salicifolia	30%				
1	59 Verbena tenerifolia	30%	39 Penstemon campanulatus	40%	14 Crotilaria rotundifolia	40%	13 Crotilaria pusilla	30%	55 Trifolium anabile	30%				
1	6 Bouvardia ternifolia	20%	9 Calliandra sp	40%	33 Montanoa grandiflora	40%	15 Cyperus aggregatus	30%	26 Lepechinia caulescens	20%				
1	10 Castillojas tenuifolia	20%	4 Bacharis pteronioides	30%	52 Tagetes lucida	40%	16 Cyperus ischnos	30%	34 Menastylis tenuis var nana	20%				
1	23 Gaura hexandra	20%	7 Brassica caupestris	30%	53 Tagetes aff coronopifolia	40%	39 Penstemon campanulatus	30%	9 Calliandra sp	20%				
1	25 Ialtunata procumbens	20%	15 Cyperus aggregatus	30%	58 Verbena litoralis	40%	2 Anthericum stenocarpum	20%	45 Ranunculus petiolaris	20%				
1	32 Monina ciliolata	20%	31 Mirabilis jalapa	30%	59 Verbena tenerifolia	40%	52 Tagetes lucida	20%	52 Tagetes lucida	20%				
1	35 Oenothera pubescens	20%	35 Oenothera pubescens	30%	13 Crotilaria pusilla	30%	53 Tagetes aff coronopifolia	20%	23 Gaura hexandra	10%				
1	37 Oxalis divergens	20%	40 Piqueria trinervia	30%	30 Medicago sp	30%	1 Anagalis arvensis	10%	29 Macroptilium gibosifolium	10%				
1	40 Piqueria trinervia	20%	57 Verbena carolina	30%	55 Trifolium anabile	30%	21 Eruca sativa	10%	33 Montanoa grandiflora	10%				
1	41 Physalis sordida	20%	2 Anthericum stenocarpum	20%	11 Coligasia glabrior	20%	48 Solanum sp	10%	39 Penstemon campanulatus	10%				
1	20 Erigeron longipes	10%	5 Bidens odorata	20%	35 Oenothera pubescens	20%	44 Quercus obtosata	5%	45 Ranunculus petiolaris	10%				
			6 Bouvardia ternifolia	20%	46 Salvia laevis	20%	3 Arbutus glandulosa	5%	50 Stachys keerlii	10%				
			59 Verbena tenerifolia	20%	20 Erigeron longipes	10%			44 Quercus obtosata	5%				
			19 Desmodium sp	10%	28 Loeselia mexicana	10%								
			21 Eruca sativa	10%	32 Monina ciliolata	10%								
			36 Oxalis corniculata	10%										
			39 Penstemon campanulatus	10%										
			43 Plantago linearis	10%										
			45 Ranunculus petiolaris	10%										
			49 Solanum stoloniferum	10%										
			54 Tillandsia sp	10%										
			24 Geranium aristisepalum	5%										
			48 Solanum sp	5%										
			42 Phytolacca iconandra	5%										
			56 Tripogandara floribunda	5%										

## CUADRO DE COBERTURA VEGETAL POR LEVANTAMIENTO PARA OTONO

No.	ESPECIE r1	%	No.	ESPECIE r2	%	No.	ESPECIE r3	%	No.	ESPECIE r4	%	No.	ESPECIE r5	%
33	Montanoa grandiflora	40%	5	Bideas odorata	40%	5	Bideas odorata	40%	9	Calliandria sp	40%	28	Loeselia mexicana	10%
53	Tagetes aff coronopifolia	40%	9	Calliandria sp	40%	9	Calliandria sp	40%	5	Bideas odorata	30%			
62	Senecio stoechadiformis	30%	33	Montanoa grandiflora	40%	12	Conyza sp	30%	61	Lopezia racemosa	30%			
12	Conyza sp	20%	53	Tagetes aff coronopifolia	40%	60	Cosmos bipinatus	30%	12	Conyza sp	20%			
47	Salvia polystachya	20%	12	Conyza sp	30%	62	Senecio stoechadiformis	30%	33	Montanoa grandiflora	20%			
39	Penstemon campanulatus	10%	61	Lopezia racemosa	30%	53	Tagetes lucida	30%	62	Senecio stoechadiformis	20%			
			62	Senecio stoechadiformis	30%	63	Vernonia alanani	20%	53	Tagetes lucida	20%			
			10	Castillejas tenuifolia	20%	10	Castillejas tenuifolia	10%	10	Castillejas tenuifolia	10%			
			28	Loeselia mexicana	20%	28	Loeselia mexicana	10%	28	Loeselia mexicana	10%			
			39	Penstemon campanulatus	10%	33	Montanoa grandiflora	10%						

Hipotéticamente estas zonas, cuando presentan bosque con sotobosque apreciable, su valor paramétrico según FAO/PNUMA (1980) es de 0.006 y de 0.02, cuando la vegetación es predominantemente de plantas herbáceas. Ambos valores teóricos son utilizados en este estudio con el fin de demostrar el efecto que la degradación de la vegetación tiene sobre el ecosistema en relación al incremento de la hidroerosión (Erosión teórica).

#### 7.2.5.2. Consideraciones generales.

Dentro de la dinámica de las especies vegetales que constituyen poblaciones y que, en asociación, conforman comunidades vegetales, encontramos que por lo menos una especie de la familia Compositae, se encuentran predominando en cada uno de los relevés, (Fig. 12 y 12a) a excepción del releve número cinco, en el que la predominancia está dada por dos especies; Eringium carlinae; (Umbelífera) y Lobelia fenestralis; (Campanulacea). En el releve número uno, encontramos a Tagetes aff coronopifolia, (Compositae) como predominante, en asociación con Oxalis corniculata y Conyza sp. En el releve número dos, se presenta la siguiente asociación vegetal: Tagetes aff coronopifolia con Trifolium amabile y Pellea cordifolia, con una densidad significativa. En el releve número tres el estrato herbáceo está dominado básicamente por Dahlia coccinea, (Compositae), en asociación con Brassica napus; Cyperus aggregatus; Miriabilis xalapa y Calliandra sp. En el releve número cuatro, la predominancia y asociación de Dahlia coccinea, está dada con dos especies: Montanoa grandiflora y Calliandra sp., esta última también colectada en el releve anterior.



En la estimación de cobertura vegetal para el Verano, no fue posible hacer la determinación taxonómica de algunas especies en esa época, por no presentar período de floración, sino hasta el siguiente ciclo; como fue el caso de Tagetes aff coronopifolia, determinado hasta la estación de Otoño; período de su floración.

Cabe señalar que en algunos relevés se colectaron gramíneas, únicamente con el propósito de estimar su cobertura y su posible contribución para la retención del suelo. No fue posible realizar su determinación taxonómica, aparte, observaciones hechas en el sistema reticular del estrato herbáceo, arrojaron los siguientes datos (corroborados posteriormente en la literatura): el tipo de raíz para la mayor densidad de las plantas es tuberosa, fasciculada y pivotante. Encontramos que algunos autores opinan que este tipo de raíz no favorece la agregación de partículas de suelo y, por lo tanto, no contribuye a la formación y retención de suelo; como es el caso de Dahlia coccinea que presenta raíz tuberosa, predominante en el releve número tres y cuatro; así como Eringyum carlinae que tiene raíz pivotante. En el releve número dos, hállase Trifolium amabile (Leguminosae) que posee raíz simbiótica, que contribuye a la agregación de partículas edáficas y a la incorporación de nitrógeno del suelo desafortunadamente sólo está presente en un ámbito demasiado restringido, como para considerarlo significativo dentro de las variables que aminoran la pérdida de suelo. Algunas otras especies poseen raíces fibrosas que contribuyen a la retención y agregación de partículas de suelo, como es el caso de Desmodium sp. desafortunadamente, en el caso anterior estas especies no las encontramos en ningún releve, como predomi-

nantes en la población que forma el estrato herbáceo colectado en la zona de estudio.

#### 7.2.6 Factor prácticas de conservación (P).

Con excepción de las pequeñas áreas de suelos antropomórficos antes citados, donde no existe una erosión importante y, de algunas áreas comprendidas principalmente en pendientes de 10% a 16%, donde se observaron prácticas muy rudimentarias de "terrazeo" de base angosta, el análisis directo en campo, indicó la ausencia, casi total de prácticas de conservación.

En toda el área de diagnóstico no existe labranza de conservación. La rotación de cultivos es muy esporádica. Los tratamientos con fertilización sólo se presentan eventualmente y, la retención o incorporación de los residuos de cultivos no se conoce. Antiguamente, según versión de los campesinos de la región, se practicaba el surcado en contorno, y fue abandonado según su versión por resultar ineficaz.

Esta relación hecha por los campesinos, resulta congruente, si se considera que el surcado en contorno presenta un valor de eficiencia bajo como método de conservación, y sólo resulta relativamente útil para los suelos comprendidos en pendientes máximas de 3% a 8% (Witchmeyer y Smith, 1978). Su efectividad se reduce aún más, a medida que la pendiente aumenta. En pendientes mayores de 20% es casi nula. En las facetas 15, 16, 17 y 18 se observaron evidencias de antiguos surcados en contorno. Desafortunadamente tal práctica ha sido totalmente abandonada.

En el cuadro 23 se indican brevemente, los valores numéricos del factor de prácticas mecánicas de conservación. Estos valores

son aceptados para suelos de zonas templadas, que se localizan en pendientes de 3% a 8%. (Witchsmeyer y Smith, 1978).

**PRACTICAS DE CONSERVACION**

Cuadro 23

TIPO DE OBRA	FACETA	VALOR DE $P^H$	OBSERVACIONES ABANDONADAS.
1) Cercado al contorno	18, 16, 17, 18.	0.88	Abandonada
2) Terraza de base ancho		0.27	No Detectada
3) Terraza de base angosta	10, 11, 12, 13, 14.	0.68	Abandonada
4) Terraza de construcción	28	0.18	Suelos Antropicos
5) Terraza de canal		0.40	No Detectada
6) Terraza de banco		0.14	No Detectada

A medida que el valor de P se incrementa, su valor de efectividad como práctica de conservación disminuye.

7.2.6.1. Evaluación paramétrica del factor prácticas de conservación.

Con excepción de los suelos antropomórficos cuyo valor  $P=0.3$ ; no existe, a la escala de trabajo empleada, ninguna práctica de conservación en el área de estudio, por lo que el valor de P es 1.

7.3. Desarrollo de la ecuación propuesta por FAO-PNUMA (1980)  
modificada en este estudio (1989).

Para su desarrollo se consideraron las cinco variables ya descritas anteriormente, las cuales son:

$D = C T K V P$  donde:

D = Degradación del suelo por hidroerosión

C = factor de agresividad climática

T = factor topográfico

K = factor de erodabilidad del suelo

V = factor de vegetación y

P = factor de conservación.

7.3.1. Predicción del riesgo de erosión, riesgo teórico y valoración de la erosión actual.

El riesgo de erosión se estableció considerando únicamente los factores C, T, y K. La erosión teórica se estableció considerando los valores de cobertura vegetal, no alterada en la zona de bosque y en la de pastizal, según los parámetros propuestos por FAO-PNUMA (1980). El valor propuesto para bosque con sotobosque no alterado, como ya se citó anteriormente, es de 0.006 y de 0.02 cuando la vegetación es de plantas herbáceas. Los valores de erosión actual se obtuvieron con base en los factores C, T, K, V y P.

En el cuadro 24 se estiman los valores para cada uno de los factores y en cada una de las facetas; considerándose los valores de riesgo de erosión, pérdida actual del suelo, pérdida permisible y pérdida teórica. Estos valores se expresan en ton/ha/año.

Las clases para cada uno de los factores considerados, así como para la estimación de las pérdidas por erosión, son las si-

guientes:

I Clima (factor C)

valoraciones:	0-5-	50-500	500-1000	1000
clase:	ligero	moderado	alto	muy alto
	(L)	(Md)	(A)	(Ma)

II Topografía (factor T)

valoraciones:	0-0.35	0.36-2	2.01-3.5	3.51-8
clase:	bajo	moderado	alto	muy alto
	(B)	(M)	(A)	(Ma)

III Suelo (factor K)

valoraciones:	0.25	0.26-0.46	> 0.46
clase:	ligero	moderado	alto
	(L)	(Md)	(A)

IV Vegetación (factor V)

Porcentaje de cobertura:	0 - 30%	30 - 70%	> 70%
clase:	baja	moderada	alta
	(B)	(Md)	(A)

V Conservación (factor P)

valoraciones:	0-0.3	0.3-0.5	0.5-0.9	1
clase:	eficiente	moderada-	inade-	nula
	(Ef)	mente	cuado	(N)
		eficiente	(In)	
		(MdeF)		

7.4. Discusión de los resultados obtenidos a través del desarrollo y aplicación de la ecuación FAO-PNUMA (1980), modificada en este estudio (1989).

7.4.1. Factores C, T, K, V, y P.

1) Erosividad de la lluvia (C). El valor de energía cinética de la lluvia, según los resultados obtenidos es  $C=146.54$ . Este valor es aproximadamente equivalente a una energía de 393 joules. Tal energía sería suficiente para levantar 40 toneladas de suelo a la altura de un metro. Sin embargo, FAO-PNUMA (1980) considera que la magnitud de esta energía es moderada desde el punto de vista de la agresividad climática y de su erosividad sobre el suelo.

2) Efectos topográficos (T). Los relacionados con los efectos del relieve obtenidos en este estudio, presentan valores característicos en relación con los elementos topográficos presentes en el área de estudio. Estos valores varían de 0.11 a 11 (cuadro 24) y se consideran como valores adimensionales con respecto al factor C, es decir, cuando llueve la energía de escurrimiento va a aumentar en una proporción de 0.11 a 11 veces con respecto a la energía del fenómeno; esto se debe a que la energía y aceleración del escurrimiento que se genera después de una lluvia, son directamente proporcionales a la longitud y gradiente de la pendiente por donde escurre.

3) Erodabilidad del suelo (K). Como se indica en el párrafo 7.2.4.2, fueron determinados siete grados y tres clases de erodabilidad. Los valores representativos de K, varían de 0.17 a 0.47 y son resultado directo de las propiedades físicas, químicas,

biológicas e hidrológicas que cada Unidad de suelos estudiada muestra.

Al analizar estas propiedades, en cada uno de los perfiles representativos de las Unidades, se observó que el contenido de limo en la característica que mayor relación tiene con las diferencias que estos suelos presentan entre ellos, con relación al grado y clase de erodabilidad y, consecuentemente, con las diferencias en la pérdida del suelo por hidroerosión, siguiéndole el contenido de arenas muy finas, arcilla, estructura, permeabilidad y, por último, el contenido de materia orgánica (Cuadro 13).

4) Efectos de la vegetación (V). Tomando como parámetro de diagnóstico el porcentaje de cobertura vegetal, existente durante el verano, se obtuvieron valores bajos de 0.07 a 0.32, representativos de coberturas que varían de 70% a 5% respectivamente (cuadros 21 y 22).

Estos porcentajes de cobertura son muy críticos, si se considera que la hidroerosión se presenta de un grado moderado a uno alto; cuando la cobertura vegetal es menor al 70%.

Teóricamente, según las valorizaciones del porcentaje de cobertura propuestas por FAO-PNUMA (1980), una cobertura vegetal de 80% resulta tres veces más eficiente para proteger al suelo del impacto de la lluvia, que una cobertura de 70% y es 16 veces más efectiva que una cobertura de sólo 5%.

5) Prácticas de conservación (P). Como se menciona en 7.2.6.1, no existe globalmente en el área de estudio, un factor atenuante de la hidroerosión y como su valor (valor de P) es multiplicativo, su efecto es nulo cuando no hay obras de conservación y el

valor de  $P = 1.0$  (cuadro 23).

#### 7.4.2. Unidades taxonómicas de suelos.

Desde el punto de vista edafológico, el área de estudio está constituida, aproximadamente en el 60% de la superficie total, por las Unidades de suelos denominadas Regosoles y Leptosoles. Se tienen además los Feozem que ocupan 25% y los Luvisoles, Cambisoles y Antrosoles que representan el 9%, 5.5%, y 0.5% de la superficie del área de estudio, respectivamente.

7.4.2.1. El hecho de que predominen los Leptosoles y Regosoles en el área de estudio, se considera desafortunado ya que, aproximadamente, el 80% de estos suelos presentan un riesgo muy alto de la erosión y una pérdida real de suelo, por hidroerosión alta (cuadro 24).

No obstante la erodabilidad moderada de la mayoría de estos suelos, existe el hecho de que por una parte, el 75% de estos suelos se localicen en áreas muy pendientes y por la otra, el que el 70% de los mismos tengan una cobertura vegetal escasa debido principalmente, a la perturbación antrópica (cuadro 24). Teóricamente, con base en los valores paramétricos establecidos por FAO-PNUMA (1980) se infiere que si la cobertura vegetal característica de estos suelos se hubiera mantenido sin alteración, la pérdida de suelo habría sido en general ligera. En todos estos suelos la pérdida actual por hidroerosión rebasa, por lo menos, 10 veces a la pérdida que teóricamente hubiera manifestado bajo una cubierta vegetal no alterada (cobertura de 80% según FAO-PNUMA, 1980).



7.4.2.2. La Unidad Feozem se caracteriza por presentar el menor riesgo y pérdida actual de suelo por hidroerosión. No obstante que su erodabilidad es, en general, de moderada a ligera (cuadro 24). Esto se explica en virtud de que estos suelos se localizan generalmente en áreas con topografías planas o casi planas que poseen una cubierta de vegetación secundaria en la mayoría de los casos moderada (cuadro 24).

Como se observa en el cuadro 24, en estos suelos el riesgo a la hidroerosión varía de moderado a ligero, con una pérdida actual, en general muy ligera, al grado de que es la única Unidad de suelos que no rebasa a la pérdida permisible.

Con base en los parámetros establecidos por FAO-PNUMA (1980), los Feozem, bajo una cobertura vegetal teórica de vegetación no alterada (80% a 100% de cobertura) no presentarían erosión o esta sería muy leve (cuadro 24). Es evidente que por ser los mejores suelos, desde el punto de vista agrícola, siempre existirá el riesgo de incrementar sensiblemente, su erosión; ya sea por la destrucción de su estructura como resultado de la labranza, por su empobrecimiento o pérdida de materia orgánica, nitrógeno y cationes intercambiables, así como por la compactación que puede sufrir por el efecto de aradura, por el peso de los implementos agrícolas.

7.4.2.3 No obstante que algunos Luvisoles se localizan en sitios con topografía abrupta, con cobertura vegetal que varía de moderada a baja, y sin ninguna obra de conservación; sólo un 30% de ellos muestra riesgos altos a la hidroerosión (cuadro 24).

Esto se debe a que los Luvisoles son la Unidad natural de suelos regionales que manifiesta menor erodabilidad (factor K).

Como se observa en el cuadro 24, su riesgo a la erosión y pérdida actual varían, en general, de moderada a baja y son muy ligeras, cuando estos suelos se localizan en topografías planas. Sin embargo, estas pérdidas rebasan, en la mayoría de los casos, los límites de las pérdidas permisibles. Por lo que se infiere que a medida que se acentúa su degradación, por causas naturales o inducidas, se abatirá su factor de erodabilidad y se incrementará su erosividad. A tal grado que, en un determinado momento, se producirá un desequilibrio entre la formación del suelo y su erosión y su destrucción llegará a ser muy evidente. Como en el caso de las Unidades de suelos, citadas con anterioridad, la pérdida teórica por hidroerosión en estos suelos, bajo cubierta vegetal no alterada, siempre resultaría inferior a la pérdida permisible y, aún más, a la pérdida real.

7.4.2.4. Los Cambisoles representan la Unidad de suelos más joven, desde el punto de vista de su desarrollo y evolución. Por esta razón, sus propiedades físicas, químicas, biológicas e hidrológicas resultan aún muy variables y dependen principalmente de las características del material parental, más que de ningún otro factor. Esta variabilidad morfogénica general que el factor de erodabilidad (K) también sea muy variable (cuadro 14). De hecho, su variabilidad fluctúa de ligera a alta; lo cual resulta atípico en los suelos maduros, donde el factor K es característico y muy constante en su grado y clase, principalmente, cuando estos suelos maduros están en equilibrio con su medio. En general, en los

Cambisoles estudiados, su riesgo a la erosión y pérdida de suelo por hidroerosión tienden a ser muy altos y, en el mejor de los casos, moderados. Esto se explica, en gran parte, debido a que siempre se localizan en pendientes muy abruptas y con una cobertura vegetal baja.

Las pérdidas actuales de suelo en esta Unidad son con frecuencia extremas en relación con la pérdida permisible. Su pérdida teórica, bajo cobertura vegetal no alterada, también es muy variable; ya que fluctúa de ligera a moderada. Esta característica indica que son suelos que por su naturaleza y propiedades, deberían de estar sujetos de modo constante a obras y medidas de conservación.

En las imágenes de satélites obtenidas recientemente, se observa que la mayoría de los Cambisoles en todo el país, están sujetos a procesos muy activos de hidroerosión.

7.4.2.5. Antrosoles. Estas Unidades desde el punto de vista práctico, no presenta problemas de hidroerosión (cuadro 24). Su riesgo es ligero y su pérdida actual es casi nula; pudiendo ser completamente nula bajo una cobertura teórica de vegetación no alterada (cobertura 80%).

Resulta sorprendente que el factor de erodabilidad en estos suelos sea ligero, ya que es muy difícil en la actualidad, el poder mezclar y acomodar una serie de capas de suelo que, en conjunto den una erodabilidad de este tipo. Esto lleva a suponer que las personas (vélgase la expresión) que "construyeron" estos suelos, debían tener conocimientos muy amplios sobre la conservación de este recurso.

Actualmente la metodología FAO-PNUMA (1980), no contempla la evaluación paramétrica de la degradación en esta Unidad de suelos; la razón consiste principalmente, en que la Unidad de Antrosoles fue reconocida como tal a partir de 1986; es decir, seis años después de que la metodología fuera establecida.

## RESULTADOS OBTENIDOS SOBRE EL RIESGO DE EROSION, EROSION ACTUAL, EROSION TEORICA Y PERDIDA PERMISIBLE DE SUELO POR HIDROEROSION

(FACTA)	(CLINIC)	(TIPOG. LT)	(V.VEG. (V))	(CONSERV. DEL SUELO (P))	(RIESGO DE EROSION)	(PERDIDA ACTUAL DEL SUELO ton/ha/año)	(PERDIDA PERMISIBLE DEL SUELO ton/ha/año)	(PERDIDA TEORICA DE SUELO BAJO CUBIERTA (VEG. NO ALTERADA))	
1	144.54	0.10	0.10-0.231	0.32	1	4.75-6 (L)	1.52-1.94	11	0.20-0.34
2	144.54	7.00	0.23	0.20	1	225.93 (Ha)	47.10	11	1.42
3	144.54	0.10	0.30	0.07	1	5.72 (L)	0.40	4	0.034
4	144.54	9.00	0.24-0.261	0.12	1	1316.52-342.9 (Ha)	37.90-61.14	9	1.9-2.05
5	144.54	9.00	0.43	0.20	1	567.1 (Ha)	113.42	4	2.40
6	144.54	0.11	0.43	0.22	1	6.93 (L)	2.22	4	0.14
7	144.54	6.00	0.43	0.20	1	370 (Ha)	75.61	4	7.56
8	144.54	2.30	0.42	0.22	1	153.06 (A)	50.19	4	3.07
9	144.54	7.00	0.42-0.471	0.20	1	1430.03-402.11 (Ha)	66.16-96.42	2	0.62-9.64
10	144.54	2.30	0.47	0.20	1	172.10 (A)	34.44	2	3.44
11	144.54	7.30	0.34	0.22	1	343.71 (Ha)	116.30	4	7.27
12	144.54	0.30	0.34	0.20	1	16.44 (A)	3.20	4	0.33
13	144.54	3.00	0.34	0.20	1	149.47 (A)	29.09	4	2.99
14	144.54	0.25	0.34	0.22	1	12.45 (A)	3.90	4	0.25
15	144.54	7.30	0.36	0.20	1	375.65 (Ha)	75.13	4	7.91
16	144.54	0.00	0.36	0.20	1	422 (Ha)	84.40	4	0.44
17	144.54	0.37	0.36	0.20	1	19.52 (A)	3.90	4	0.40
18	144.54	0.00	0.47	0.20	1 (H)	550.99 (Ha)	110.19	4	10.35
19	144.54	0.00	0.47	0.20	1	550.99 (Ha)	110.19	4	10.35
20	144.54	0.30	0.30	0.22	1	21.98 (A)	7.00	7	0.44
21	144.54	6.30	0.43	0.12	1	409.57 (Ha)	69.15	4	0.19
22	144.54	5.00	0.17	0.22	1	124.56 (A)	39.03	11	2.50
23	144.54	5.00		0.22	1	302.47 (Ha)	0	11	
24	144.54	6.00	0.40	0.22	1	321.69 (Ha)	112.54	4	7.63
25	144.54	7.00	0.40	0.20	1	410.31 (Ha)	82.0	4	0.20
26	144.54	6.00	0.40	0.20	1	331.69 (Ha)	70.23	4	7.63
27	144.54	11.0	0.47	0.22	1	757.61 (Ha)	242.43	11	15.15
28	144.54	0.15	0.17	0.20	0.3-0.1	2.74 (L)	0.74	DE DESCRIBIR	0.074
29	144.54	0.00	0.47	0.20	1	550.99 (Ha)	110.2	11	11.0
30	144.54	0.20	0.34	0.20	1	13.95 (A)	2.0	11	0.20
31	144.54	0.32	0.34	0.22	1	15.94 (A)	5.10	11	0.22
32	144.54	0.30	0.34	0.22	1	17.44 (A)	3.30	11	0.20
33	144.54	0.10	0.22	0.20	1	5.00 (L)	1.16	11	0.12
34	144.54	0.25	0.25	0.07	1	12.02 (A)	0.90	11	0.25
35	144.54	0.10	0.02	0.07	1	4.09 (L)	0.32	11	0.09

## SIGNIFICATO:

L = ligera ( 10 ton/ha/año)

M = moderada 10 - 50

A = alta 50 - 200

Ha = muy alta ( 200 ton/ha/año)

## 8.- VALIDEZ DE LA HIPOTESIS.

El valor de la hipótesis planteada en este estudio fue com probado con el empleo de los métodos de contrastación empírica y contrastación teórica. El primer método se apoya en la concordancia de los hechos observados en campo, y en los datos cuantitativos originados en este estudio. El segundo método se fundamenta en los constructos teóricos-científicos, ya establecidos en la literatura especializada sobre degradación de los suelos por hidroerosión.

Con base en estos dos métodos, fue posible determinar la ve racidad del contenido de la hipótesis propuesta, es decir, se en contró que su contrastabilidad con la realidad observable y con los principios teóricos establecidos es mínima, por lo que de esta hipótesis se pueden derivar conclusiones verdaderas o casi irrefutables.

## 9.- CONCLUSIONES GENERADAS.

A) En relación a los objetivos del estudio:

Esta tesis aporta datos cuantitativos y cualitativos sobre los factores ambientales que influyen en la amplitud e intensidad de la degradación por hidroerosión, a un nivel de diagnóstico semidetallado, válida para una zona forestal de regiones templadas.

- La selección del área de estudio de la metodología y de la escala de trabajo empleada, resultaron satisfactorias. No obstante, este trabajo no está diseñado para estimar cuantitativamente la pérdida de suelo por cárcavas y por hidroerosión subsuperficial.

- Las modificaciones metodológicas propuestas y empleadas en este estudio, también se consideran adecuados; en virtud de que permitieron cumplir de modo confiable y eficiente con el objetivo general y con los objetivos específicos propuestos.
- El empleo de la metodología FAO-PNUMA (1980), modificada en este estudio (1989) en escala semidetallada, permitió realizar además de una evaluación paramétrica y cuantitativa de los factores ambientales que influyen en la degradación del ecosistema forestal, establecer correlaciones directas y múltiples entre estos factores.
- El área de estudio de igual modo que las características inherentes a los factores C, T, K, V, e incluso P, resultan desafortunadamente representativos de casi todos los ecosistemas forestales con climas templados que existen en el territorio mexicano y en muchos otros países del continente americano. Con base en la revisión bibliográfica efectuada, se concluye que la degradación de estos ecosistemas siempre es una consecuencia histórica que se inicia con los primeros asentamientos humanos.

**B) Para los factores ambientales:**

Con respecto a la evaluación de los factores ambientales, propuestos por FAO-PNUMA (1980) que propician la erosión en los ecosistemas forestales de zonas templadas, es posible concluir que:

- 1) Los valores paramétricos de C y K casi siempre serán moderados, en tanto que los valores de T y principalmente de V y P, siempre serán altos y en consecuencia, propicios para generar hidroerosión severa. El valor de V depende, en la gran mayoría de las veces, de la intensidad de la degradación antropogénica.

En consecuencia, el primer síntoma de degradación antropogénica en estos ecosistemas, es la pérdida del porcentaje de cobertura vegetal.

2) No obstante que la mayoría de los estudios sobre degradación no incluyen al factor litología, se considera imprescindible su evaluación, la que es un factor determinante para valorizar adecuadamente, la pérdida permisible del suelo por hidroerosión, así como para establecer aproximadamente, el grado de erodabilidad potencial de un suelo.

- El valor obtenido para el factor C es congruente para estos ecosistemas. Sin embargo, se considera relativo, ya que es posible incrementar su precisión a través de evaluar otras variables que aún no se contempla en su estimación. Tales variables serían principalmente: a) número de días con lluvia tempestuosa, b) intensidad mínima de la lluvia y c) duración de la lluvia con intensidad máxima.

- Los valores obtenidos para el factor T son aunque muy variables, válidos para representar adecuadamente un patrón topográfico característico de Eje Neovolcánico. La variabilidad en los valores LS es consecuencia de la complejidad característica del paisaje mexicano, en especial, del que caracteriza a las áreas forestales.

- Los valores obtenidos para el factor K son en general aceptables, si se les compara con los valores de K propuestos por FAO-PNUMA (1980) y son aceptables si se les compara con los propuestos por Wischmeier (1958). Esto se debe a que la escala de trabajo utilizada por FAO-PNUMA (1980) es a nivel de gran visión, en



tanto que la utilizada por Wischmeier es a nivel semidetallada, similar a la empleada en este estudio.

- Los valores obtenidos para el factor V son significativos, ya que determinan cuantitativamente el efecto de la vegetación sobre la hidroerosión, así como el efecto que el hombre tiene sobre la cobertura vegetal (erosión antrópica). Se puede concluir que a medida que el valor paramétrico estimado para la vegetación aumenta, mayor ha sido la acción antropogénica, menor la intercepción de la gota de lluvia sobre el suelo; menor la evaporación y adsorción de agua, menor la actividad biológica, menor contenido de materia orgánica, menor la permeabilidad, menor la estabilidad de la estructura, menor agregación, menor contenido de arcilla. En consecuencia, mayor erodabilidad, mayor riesgo de erosión, y mayor pérdida actual de suelo.

- El valor alto del factor P en las áreas forestales de regiones templadas casi siempre será alto. Esto se debe únicamente a que no existe cultura de conservación forestal, especialmente en los países latinoamericanos.

c) Para los suelos estudiados:

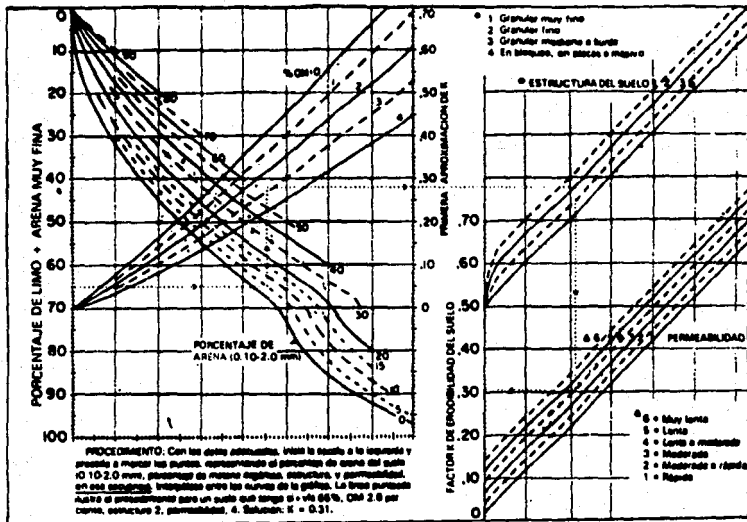
Los suelos descritos en este estudio son sin duda, el elemento más típico, desde el punto de vista taxonómico, de manejo y degradación para representar un ecosistema forestal de zonas templadas con régimen USTICO. Esta asociación de suelos, su uso y degradación son factores constantes, no sólo para México, sino para la mayoría de los países Latinoamericanos.

## Recomendaciones

Tratando de cumplir con varios objetivos colaterales de este trabajo, se enumeran a continuación las consideraciones prácticas más importantes que pueden ser útiles para formular sistemas de manejo y conservación del suelo, agua y vegetación: 1) En el área de estudio la mayoría de los Leptosoles, Regosoles y Cambisoles presentan más de 30% de limo en el solum y, en general, están ubicados en relieves ondulados e incluso montuosos, con pendientes hasta de 45%. Esta combinación de ambas características hace que estas Unidades edáficas muestren un riesgo potencial alto de erosividad. De una manera sucinta las recomendaciones para el manejo adecuado; a groso modo serían: aplicación de cobertura o "mulch", como medida de protección contra la precipitación especialmente, contra el impacto de la gota de lluvia, la cual como se cita en el trabajo, se concentra en el Verano. 2) El contenido alto de limo y de arenas muy finas en estas unidades pueden dar lugar, de continuar la degradación de estos suelos, a la formación de costras superficiales perjudiciales, especialmente si las lluvias ocurren antes de la germinación de los cultivos. 3) A pesar de que el nivel de fertilidad natural de la mayoría de los suelos estudiados, con excepción de los Feozem y Antrosoles fluctúan de medio a bajo, se requiere de un manejo especial de la fertilización nitrogenada, especialmente al comienzo de la estación lluviosa, debido a que puede haber una pérdida elevada de este elemento por lixiviación. En este sentido, se observa en el cuadro que la mayoría de estos suelos tienden a la desbasificación. Para evitar estas pérdidas, tal vez convendría aplicar el

nitrógeno en forma fraccionada. 4) También se consideran necesarias las aplicaciones frecuentes de calcio, especialmente en los suelos donde su pH tiende a ser ácido. 5) Posiblemente se debe pensar también en cultivos resistentes, con gran densidad de raíces que aumenten la agregación y, por tanto, mejoren su estructura. En los Leptosoles y Regosoles serían recomendables los cultivos resistentes a las escorrentías. 6) Finalmente, en el caso de los Cambisoles, se necesitarán medidas de conservación del suelo, especialmente aplicables a los cultivos anuales; haciéndose notar que aún sería más recomendable el establecimiento de programas de reforestación o, en su defecto, de cultivos permanentes o semipermanentes. La intención de estas interpretaciones generales es de promover algunas ideas para que este trabajo no quede solo en el ámbito académico, sino que pueda servir de pauta para el mejoramiento, conservación y uso adecuado del recurso suelo, en este tipo de ecosistemas.

Nomografía para determinar el factor de erodibilidad del suelo, K, para los continentales de los Estados Unidos.



- Antrópico:** horizonte superficial cuya característica básica es que en su génesis siempre interviene el hombre.
- Ablación:** es el desgaste de las rocas por las partículas arrastradas en suspensión.
- Abrasión:** la intemperización física de la superficie de una roca por aguas corrientes, glaciares o viento cargado de partículas finas.
- Agregado:** racimo o grupo de partículas del suelo que forman un ped.
- Agradación:** proceso natural de construcción del paisaje.
- Agresividad climática:** es el valor de la energía cinética de la lluvia, como agente erosivo del suelo. Este valor se estima a través del índice de Fournier.
- Agua pedológicamente activa:** agua en el solum que produce alteración de los minerales primarios.
- Aluvionamiento:** sedimento depositado por corrientes de agua, con partículas de tamaño variable.
- Andosolización:** proceso edafogénico característico de materiales volcánicos recientes que se alteran bajo un régimen udico. La formación de alofanos es diagnóstica.
- Antropogénico:** de origen humano.
- A molico:** horizonte superficial que se caracteriza por presentar las siguientes propiedades: 1) estructura bien desarrollada, 2) cromas menores a 3.5 cuando húmedos y menores de 5.5 cuando secos, 3) base de saturación mayor de 50%, 4) contenido de materia orgánica mayor de 1% y 5) espesor del horizonte mayor de 25 cm.

**Arada:** labor de arar.

**Argilización:** síntesis y formación de arcillas.

**Argiloturbación:** fenómeno relativo a la expansión y contracción de las arcillas.

**Aridización:** fenómeno climatológico caracterizado principalmente por un déficit de humedad ambiental y por falta notable de disponibilidad de agua.

**Arroyamiento:** formación de microcarcavas.

**Autoinversión:** propiedad característica de Vertisoles, que se distingue por la caída de partículas del horizonte A, a través de grietas.

**B argílico:** horizonte subsuperficial que se caracteriza por una acumulación de arcillas iluviales (de arriba hacia abajo).

**B cambico:** horizonte subsuperficial de textura media, con estructura de suelo y no de roca contenidos significativos de minerales intemperizables y evidencias de alteración física y/o química.

**Biota:** flora y fauna de una región.

**Biotopo:** sinónimo de faceta (término ecológica).

**Cobertura vegetal:** porcentaje de densidad de follaje con que una planta protege al suelo contra el impacto de la gota de lluvia.

**Coluvionamiento:** acumulación de materiales desplazados por gravedad.

**Constructo:** conceptos científicos con los que se elaboran las teorías.

**Contrastabilidad:** es la propiedad metodológica que permite determinar el valor de una hipótesis, es decir, si es verdadera

o falsa. Cuando esta contrastabilidad es mínima la hipótesis planteada es verdadera.

**Contrastación empírica:** es el método de someter a la hipótesis planteada a una confrontación con los hechos, a fin de determinar su verdad o falsedad.

**Contrastación teórica:** es la fundamentación de la hipótesis con base en diferentes evidencias empíricas, teóricas y científicas ya establecidas.

**Corrosión:** similar a ablación.

**Cutanes:** películas sobre el ped que se adhieren, pueden ser de arcilla u otros minerales.

**Denudación:** el esculpido de la superficie terrestre por intemperización y erosión; el emparejamiento de montañas y cerros a formar llanuras planas o ligeramente onduladas.

**Deleznable:** fácilmente disgregable (roca, terrón, etc.)

**Dislocamiento:** movimiento de partículas minerales y/o orgánicas del ped por efecto de un agente físico principalmente agua o por el viento.

**Ecosistema:** grupo de organismos que interaccionan entre sí con su medio.

**Edafoclima:** régimen de temperatura y humedad del suelo.

**Edafología:** ciencia teórica del suelo (Abelson, 1964). Estudio de las relaciones entre el suelo y los organismos, incluyendo el uso de la tierra por el hombre.

**Edafoturbación:** cualquier proceso que altera o impide la horizontalización del suelo.

- Erosión acelerada:** aquella en que la tasa de erosión ha sido incrementada, en general debido a manejo inapropiado de la tierra por el hombre.
- Erosión diferencial:** erosión que depende de la resistencia del material sobre la que actúa.
- Erosión eólica:** erosión producida por el viento.
- Erosión geológica:** equivalente a erosión natural.
- Erodabilidad:** característica inherente al suelo que refleja la resistencia del mismo a ser erosionado. Es equivalente al factor K.
- Erosión natural:** se refiere al desgaste de la superficie terrestre, bajo la acción de los agentes erosivos siendo los principales el viento y el agua y en las regiones montañosas la nieve y el hielo.
- Erosividad:** La erosión que sufre la tierra sin estar alterada por la actividad humana es la energía cinética con que un factor ambiental produce erosión sobre el suelo. El grado de erosividad dependerá de la energía cinética del factor que erosiona y, de la erodabilidad del suelo.
- Elemento característico:** unidad taxonómica propuesta por FAO (1983) y que resalta la principal característica diagnóstica, morfológica de una Unidad y subunidad de suelo.
- Epipedon:** horizonte superficial, horizonte A.
- Esqueleto del solum:** se refiere a partículas minerales mayores de 2 mm presentes en el solum.
- Evapotranspiración:** la pérdida de agua del suelo debida a la evaporación y a la transpiración de las plantas.



- Facetas:** se refiere a todo cambio topográfico homogéneo en un segmento. Equivalente a biotopo.
- Flujo superficial:** escurrimiento.
- Gilgai:** un microrelieve distintivo de colinas y depresiones que se desarrolla en suelos arcillosos que tienen una cantidad considerable de expansión y contracción en respuesta a la mojadura o secamiento.
- Hidroerosión:** erosión del suelo por efecto del agua. Comprende las fases de dislocamiento y transportación de partículas.
- Horizontalización:** formación de horizontes.
- Horizonte argílico:** horizonte que diagnostica por su contenido de arcillas iluviales.
- Horizonte diagnóstico:** los horizontes del suelo que poseen un grupo de características que pueden ser definidas cuantitativamente y que pueden ser utilizadas para identificar unidades de suelos.
- Imágenes digitalizadas:** Imágenes de satélite ordenadas en pixels a través de computadora.
- Intemperismo:** todos los cambios físicos y químicos producidos por los agentes atmosféricos en las rocas, minerales y materiales del suelo en o próximos a la superficie de la tierra.
- Índice de Fournier:** índice de agresividad climática por efecto de la lluvia.
- Intemperismo:** Reacción de los materiales que alguna vez estuvieron en equilibrio dentro de la corteza de la Tierra, a las nuevas condiciones en o cerca del contacto con el agua, aire o materia viviente.

**Lixiviación:** la remoción de materiales del suelo, tanto en solución como en suspensión.

**Material piroclástico:** material de origen volcánico finamente dividido.

**Metamorfismo:** cambios por alteración en rocas volcánicas y sedimentarias.

**Método de teledetección:** método indirecto para la evaluación y diagnóstico de un recurso, comprende fotografías aéreas e imágenes obtenidas por satélite.

**Microimpacto perturbación:** término propuesto en esta tesis para denominar el efecto destructivo del impacto de la gota de lluvia sobre la superficie del suelo carente de vegetación.

**Paramétrico:** valor arbitrario que se emplea como constante. Ejem. tiempo.

**Ped:** un agregado natural del suelo que ocurre naturalmente, como un gránulo o prisma.

**Proceso endógeno:** actividad volcánica y tectónica.

**Proceso exógeno:** se refiere a la erosión natural y acelerada del paisaje.

**Proisotropicos:** no visible con la luz polarizada cruzada.

**Propiedades verticas:** término asociado en relación con los suelos arcillosos en los que al menos en algún periodo del año se presentan una o más de las siguientes características: grietas, fisuras, facetas de presión y expansión.

**Régimen de humedad edáfico:** porcentaje de días durante el año en que un suelo permanece húmedo.

**Régimen udico:** cantidad de humedad en un suelo que no presenta desecación por más de 90 días consecutivos.

**Régimen ustico:** cantidad de humedad estable en el suelo por menos de 180 días consecutivos.

**Rigolas:** cárcava pequeña.

**Riesgo a la degradación:** valor paramétrico obtenido a través de considerar únicamente los factores topografía, clima y suelos.

**Solum:** parte del suelo que está arriba del material relativamente inalterado.

**Tefra:** ceniza volcánica.

**Tepetate:** para este caso se denominó así a los materiales tanto geológicos como edafológicos alterados, que presentan compactación y sementación.

**Terraza:** camellón que sigue al contorno del terreno. Puede ser un fenómeno natural o ser construida especialmente para interceptar los escurrimientos evitando la erosión o conservando la humedad. A veces se construyen para aportar suficiente tierra para el enraizamiento de las plantas.

**Terrones:** masa de suelo producida por disturbio.

**Unidad pedológica:** columna de suelo seleccionada que contiene en cada horizonte para efectuar una característica adecuada de campo y laboratorio.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Abelson, P. H. (1964), Trends in scientific research Science, 143 pp.
- 2.- Arnoldus, H. M. J. (1977), Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. FAO. Conservation guide, Núm. 1, 99-124 pp.
- 3.- Arnoldus, H. M. J. (1977), Metodology used do determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in morocco. FAO. Soil/Bulletin, Núm. 5. 34-51 pp.
- 4.- Ayers, Q. C. (1936), Soil erosion and its control. Mc Graw Hill New York, 365 pp.
- 5.- Bagnold, R. A. (1941), The Physics of Blown sand Desert Dunas. Methuen, Londres, 265 pp.
- 6.- Bassols, B. A. (1982), Recursos Naturales de México. 14 ed. Ed. Nuestro Tiempo, 361 pp.
- 7.- Bennet, H. H. (1965), Elementos de Conservación del Suelo. Ed. S. C. S. USDA: Ed. Técnico Núm. 33, Washington, D. C.
- 8.- Bennet, H. H. (1939), Soil Conservation. Ed. Mc Graw Hill, New York y Londres, 993 pp.
- 9.- Bifano, B. R. (1946), Antecedentes de la promulgación de la ley de conservación de suelo y agua. Terra: Órgano oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A. C. Sept-Oct. 1983, 5 pp.
- 10.- Bidwell, O. W., y F. D. Hole (1965), Man as a factor of soil formation. Soil Scp. 99:65-72 pp.
- 11.- Blanco Macías, C. (1966). La conservación del suelo y agua en México. Boletín Técnico Núm. 56. Ed. I.M.R.N.R., 13-17 pp.

- 12.- Bocco, G. (1988), Evaluación de la Hidroerosión por causas antropogénicas, Tesis de Maestría, ITC. Holanda.
- 13.- Boul, S.N., et al. (1983), Génesis y Clasificación de Suelos. Ed. Trillas, México, 417 pp.
- 14.- Carson, M. A. y Kirkby, M. J. (1972), Hill slope form and process. Cambridge University, Press, 475 pp.
- 15.- Carta de Clima, (1970). Clave 14-QV. Escala, 1:500,000. Ed. DETENAL, Srfa. de la Presidencia, México, D.F.
- 16.- Carta de erosión de suelo (1973). Clave 14-QV, escala 1:50,000. Ed. Srfa. de Agricultura y Recursos Hidráulicos. SARH. México, D.F.
- 17.- Atlas Nacional del Medio Físico (1981), escala 1:1,000,000. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto, México, D.F.
- 18.- Carta Fisiográfica (1982), clave 14-QV, México, escala 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad., Geograf. e Informat. INEGI. México, D.F.
- 19.- Carta de Uso Potencial de Suelo (1982), clave 14-QV, México. Escala 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad., Geograf. e Informat. INEGI. México, D.F.
- 20.- Carta Hidrológica (1983), clave E-14-1, Morelia. escala: 1:250,000 y 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad. Geograf. e Informat. INEGI. México, D.F.
- 21.- Carta de Temperaturas Medias Anuales (1983), clave E-14-1 México. Escala 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad. Geograf. e Informat. INEGI. México, D.F.

- 22.- Carta de Precipitación Total Anual (1981), clave E-14-1.  
México. Escala 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad. Geograf.  
 e Informat. INEGI: México, D.F.
- 23.- Carta de Humedad en el Suelo (1982). clave E-14-1. México.  
Escala 1:1,000,000. Inst. Nac. Estad. Geograf. e Informat.  
 INEGI. México, D.F.
- 24.- Carta Hipsográfica (1982). clave E-14-1, México, escala  
 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad. Geograf. e Informat.  
 INEGI. México, D.F.
- 25.- Carta de Evapotranspiración y Déficit de Agua (1982). clave  
 E-14-1, escala 1:1,000,000. Ed. Inst. Nac. Estad. Geograf.  
 e Informat. INEGI. México, D.F.
- 26.- Carta de Geología de México, clave 14-QV, escala 1:2,000,000.  
 Ed. Instituto de Geología, UNAM (1976).
- 27.- Cervelle, B. (1986). Aspects Spectrometriques de la Teledetec-  
 tion Electromagnetique in Methodos Spectroscopiques Apliques  
 aux Mineraux. Ed. Societe Francaise de Mineralgie et Cristal-  
 lographie. Paris, France, 201 pp.
- 28.- Cutler, E. J. B. (1988), Soil of the Otago Region. Department  
 of Scientific and Industrial Research. New Zeland, 51 pp.
- 29.- Datos Básicos sobre La Población de México (1980-2000). Clave  
 41445, ed. por CONAPO/INEGI (1982).
- 30.- Donahue, L. R. et al., (1981). Introducción a los Suelos y al  
 Crecimiento de las Plantas. Ed. Pretine/Hall International.  
 Columbia, 180 pp.
- 31.- Donker, N. H. (1982), Microcomputer Application in Earth  
 Sciencies Data Processing. ITC (1982-1983), 348-355 pp.

- 32.- Duchaufour, P. (1980). Atlas ecológico de los suelos. París O.R.S.T.O.M. Toray Masson pp. 476.
- 33.- Duchaufour, P. (1985). Atlas ecológico de los suelos. París, O.R.S.T.O.M. Toray Masson pp. 476.
- 34.- Elwell, H. A. (1976). Soil loss stimation system for southern Africa. Department of Conservation and Extension, Research, Bulletin, núm. 22, Salesbury. Rodesia.
- 35.- Ellison, W. D. (1944), Some effects of raindrops and surface flow soil erosion and infiltration. Trans. Am. Geophys. Union 26, 414-429 pp.
- 36.- EROS-DATA-CENTER (1983). Soil Science Society of America. Publicación Especial núm. 7, 165-172 pp.
- 37.- Fallou, F.I (1882) Pedologie order allgemeine und besondere Bodenkunde. Dres den Alemania.
- 38.- F.A.O. (1978). La Erosión del Suelo por el Agua. Roma, Italia, FAO/UNESCO. 207 pp.
- 39.- F.A.O. (1954). Journal of Soil and Mater Conservation. Estudio de la Erosión del Suelo en America-Latina. Jul/Sept/Nov. Edición Técnica. FAO/UNESCO, 300 pp.
- 40.- F.A.O. (1954), Clasificación FAO. de áreas erosionadas. Boletín Técnico, Núm. 7. FAO, Roma, 98 pp.
- 41.- F.A.O.-PNUMA (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. OEA. Roma, Italia, 260 pp.
- 42.- Flores, R. D. (1987), Diagénesis, Pedogénesis y Morfogénesis de capas cementadas del Cuaternario. I. Provincia Eje Neovolcánico del Estado de Morelos. Instituto de Geología, UNAM. México, D.F. 89 pp.

- 43.- Foth, J. W. (1980), Soil Genesis; Madison University of Wisconsin Advanced course, 450 pp.
- 44.- Foster, G.R. and Wischmeier, W. H. (1974). Evaluating irregular slope for soil loss predicting. Ed. Trans. A.S.A.E. Vol. 17, núm. 2, 305-309 pp.
- 45.- Fournier, F. (1960). Climat et Erosion. Ed. Presses Universitaires de France, Paris, 201 pp.
- 46.- Fournier, F. (1975). Conservación de Suelos. Boletín Técnico, núm. 46. La Erosión del Suelo. Ed. ORSTOM. Madrid 37-79 pp.
- 47.- Fournier, F. (1960). Map of erosion danger in Africa south of the Sahara. Explanatory note. C.T.C.A. European economic community.
- 48.- Fournier, F. (1960). Climat et erosion: relation entre l'erosion du sol par l'eau et les precipitations atmospherique. Presses Universitaires du France. Paris, 201 pp.
- 49.- Gama-Castro, J. E. (1985). Taxonomía de Suelos. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Biología, UNAM.
- 50.- García, E. (1988). Modificación al Sistema de Clasificación de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 4. ed. Instituto de Geografía, 218 pp.
- 51.- García, E. (1984). Atlas de la República Mexicana. 6 ed. Ed. Porrúa, 174 pp.
- 52.- García, L. R. (1983). Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México. Terra: Órgano oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Art. Núm. 1. sept-oct.
- 53.- Georshkob, N.N. y E.N. Ivanova (1970). Classification of soil of the URSS. Pochvovedenige, núm. 2. Moscú 3-12 pp.



- 54.- Glinka, K. D. (1927). The great soil groups of the World. Edwards Brother, Ann. Arbor, Michigan, USA.
- 55.- Gaucher, G. (1975), El Suelo y sus características agronómicas, Ed. Omega, S.A. Casanova. Barcelona, Spain, 647 pp.
- 56.- Hernández, C. G. (1985). Divulgación Geográfica. Instituto de Geografía, UNAM. Boletín Núm. 2, 18-31 pp.
- 57.- Hudson, N. W. 1961). An Introduction to the Mechanics of Soil Erosion under conditions of Subtropical rainfall. Rhodesia science Association Proceedings. 49, 14-25 . New York, 320 pp.
- 58.- Hudson, N. W. (1971), Soil Conservation. Bats fard. Ed. Longin, Londres, 325 pp.
- 59.- Hudson, N.W. (1982). Conservación de Suelos. Ed. Reverté. España, 183-201 pp.
- 60.- Jenny, H. (1961). Derivation of state factor equation of soil and ecosystemy. S.S. Soc. A.M.P. Proc. 25: 385-388.
- 61.- Jenny, H. (1959). Factor of Soil Formation. Mc Graw Hill, N.Y. 95 pp.
- 62.- Kener, I. (1967). A Pedological Investigation. Bull. Kyushu Agric. Exp. sta. 4:81-84.
- 63.- Komar, D. P. (1985) Erosion. CRC. Handbook of coastal processes and erosion. Press, Inc. Boca Baton Florida.
- 64.- Kirkby, M. J., R.P.C.M. (1983), Erosión de Suelos. Ed. Limusa. México, 374 pp.
- 65.- Kirkby, M. J. (1984). Erosión de Suelos. Ed., Limusa, 375 pp.
- 66.- Laws, J. O. (1940), Recent studies in raindrops and erosion. Agric. Engng. Press, Inc. New York.

- 67.- Leeper, G. W. (1955). Suelos de Australia, Ed. CSIRO, Melbourne, Australia, 60 pp.
- 68.- Marbut, C. F. (1922), Soil Classification. Am. Assoc. S.S. Workers 2nd. Annual. Rep. Bull. 3:24-32.
- 69.- Morgan, R. (1979), Soil Erosion. Agric. Engng. Ed. Longman. New York, 425 pp.
- 70.- Mosgrave, G.W. (1947). The Qualitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. Jour. Soil and water Conserv. 2: 133-138.
- 71.- "México Información sobre aspectos geográficos sociales y económicos" (1980) (tres volúmenes)-clave: 22012, 41371 y 14383, Ed. por INEGI. Inst. Nal. Estad, Geogra. e Informát. INEGI. México, D.F.
- 72.- Morgan, R.P.C. (1983), Soil Erosion. Ed. John Wiley and Sons. Ltd. ISBN-O-471, USA. 375 pp.
- 73.- Nikiforoff, C.C. (1949), Weathering and Soil Formation. Soil Sci. 67 pp.
- 74.- Nikiforoff, C.C. (1979), Weathering and Soil Formation. Soil Sci. 67: 219-300.
- 75.- Olson, I.C. y Wischmeier, W.H. (1963). Soil Erodability Evaluation for Soils on the Runoff and Erosion Stations. Proc. Soil, Sci. Am. 27:590-592.
- 76.- Onstand, C. A., Larson, C.L. Hermsmeier, L. F. y Young, R.A. (1967). A Method of Computing soil movement throughout a field. Tro. Am. Soc. agric. Engrs. 10: 742-745.
- 77.- ORSTOM (1967) Classification des soils, C.P.C.S. Grignon, Francia, 167 pp.

- 78.- Palacios, M. S. (1985). Biomejoradores. Proyecto de investigación. Instituto de Geología. Departamento de Edafología, UNAM. México.
- 79.- Papadakis, H. (1980). El Suelo. Ed. Albatros. Buenos Aires, Argentina, 385 pp.
- 80.- Palmer, G. R. (1979). Introducción a la Ciencia del Suelo. Manual de Laboratorio. Ed. Limusa, México.
- 81.- Pérez, M. H. (1975). Proyecto de reestructuración de la Ecología Natural y de la Ecología Urbana del Valle de México, la preservación y el control de sus recursos naturales, renovables y no renovables, S.A.R.H. México.
- 82.- Quiñones, G. H. (1987). El sistema fisiográfico de la Dirección General de Geografía, Revista de Geografía, INEGI, México, D.F. 13-20 pp.
- 83.- Ramos, H.S.G. (1979). Estudios Edafológicos de una zona cafetalera del Soconusco, Estado de Chiapas, Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM.
- 84.- Redley, J., y Simmens, C. (1967). Wind Erosion in East Yorkshire. Nature, Land, 216: 20-22.
- 85.- Rey Contreras, J.A. (1979). Estimación de la Erodabilidad de los Tepetates en la cuenca del Río Tezcoco, en base al factor K. Tesis profesional de M. en C. Colegio de Posgraduados Chapingo, México.
- 86.- Richhofen, F. F. von (1886). Fuhrer fur Forschungsreisende. Berlin.
- 87.- Riquier, J. (1977). Phylosophy of the world assesment of soil degradation and items for discossion. FAO. Soil, Bol-letín, 34 pp.

- 88.- Rojas, R. T., y Sunders, W. T. (1985), Historia de la Agricultura en la época prehispánica. S. XVI. col. biblioteca del INAH. México.
- 89.- Rzendowski, J. (1985). Vegetación de México. Ed. Limusa, México. 302 pp.
- 90.- Sayago, J. M. (1985), Aspectos Metodológicos del Inventario de la Erosión Hídrica mediante técnicas de percepción remota en la región subtropical del NW Argentino. Tesis de Maestría en Ciencias, ITC. Erecheda.
- 91.- SC. S. USDA (1988) Soil Taxonomy, Krrerger Publ. Co. Malabak, Florida, Reprint. 754 pp.
- 92.- Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán (1985) Instituto Nal. Estad. Geograf. e Infor. INEGI. México, D.F.
- 93.- Smith, D.O. y Whitt, D.M. (1938). Evaluating soil losses from field areas. Agric. Enging. 29: 394-396 pp.
- 94.- Smith, D. D., y Wischmeier, W. H. (1957), Factors affecting sheet and rill erosion. Trans. Am. Geophys. Union, 38: 886-889 pp.
- 95.- Sneesby, N. J. (1968), Shelter against soil erosion. Agric. 75:550-551. Pres. U.S.A.
- 96.- Soil Survery Staff (1975), Soil Manual, USDA Handbook 18 y Soil Manual USDA Handbook 38 y Soil Taxonomy Handbook 436: Washington, D.C. W.S. Dept. Agriculture, Soil Conserv. Service.
- 97.- Soil Survery Staff (1972), Soil survery manual. U.S. Dept. Agric. Handbook. núm. 18.

- 98.- Thompson, H.L., F.R.T. (1980). Los Suelos y su Fertilidad. 4ed. Ed. Reverte. España, 567 pp.
- 99.- Thornes, J.B. y Brunnsden, D. (1977), Geomorphology and Time. Methuen, Londres, 208 pp.
- 100.- Thorp, J. (1936), Higher categories of soil classification: Order, Suborder and Great soil groups. Soil Sci. 67: 117-26.
- 101.- Valdez, M. A. (1970). Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetates de la cuenca de México. Tesis de M. en C. Colegio de Posgraduados de la ENA Chapinango, México.
- 102.- Velasco, M.H.A. (1983). Problemario. Uso y Manejo del Suelo. Ed. Limusa, 187 pp.
- 103.- Van der Hammen, T., Pérez Preciado, A., Pinto, P. (1983). La Cordillera Central de Colombia, Transecto Parque Los Venados. (Introducción y Datos Iniciales). Stud. on Trop. Andean Ecosyst. Cramer Vaduz 1345 pp.
- 104.- Van Zuidam, R.A., F.I. Van Zuidam (1979). ITC. Textbook of photointerpretation. Vol. VII. International. Institute for aerial survey and earth. Science. (ITC).
- 105.- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophys. Union, 39:285-291.
- 106'- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses agricultere. Handbook. n.º. 537. Department of agriculture, Washington, D.C.
- 107.- Wischmeier, W.H. y Smith, D.C. (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains.

Agric. Research. Serv. U.S. Dept. of agr. in coop with  
purdue agr. Handbook, núm. 282, Washington, D.C.

- 108.- Wischmeier, W.H. et al., (1971). Soil Erodability, nomograph for farm and construction sites. journal of soil and water conservation. Vol. 26, 189-193 pp.
- 109.- Wischmeier, W.H. (1974). Erosion and sedimentation. Prac. 29th Annual meeting soil conservation service society of America, August 11-14. Syracuse, New York.
- 110.- Zingg, A.W. (1940). Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agric. Engng. 21: 59-64.