

196
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACION DE LA HIDROEROSION EN EL FLANCO
MERIDIONAL DE LA SIERRA CHICHINAUTZIN,
ESTADO DE MORELOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

PRESENTA:

ANITA SILVA PATRISTIA

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

JULIO 1991.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

C O N T E N I D O .

RESUMEN

INTRODUCCION

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA

1. MARCO HISTORICO

1.1 MARCO TEORICO

- A. Factor climático e hidrológico
- B. Factor morfológico
- C. Factor edafológico y geológico
- D. Factor vegetación
- E. Factor tecnogénico
- F. Factor socioeconómico

1.2 INDICE DE FORMACION DE SUELOS: BALANCE ELEMENTAL DE BARTH

1.3 DINAMICA DE LA HIDROEROSION EN MEXICO

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

2. OBJETIVOS

2.1 General

2.2 Específicos

2.3 Colaterales

3. HIPOTESIS

CAPITULO III: VISION SINOPTICA DEL AREA DE ESTUDIO

4. CARACTERIZACION

4.1 Localización

4.2 Fisiografía

A. Geología

- B. Relieve
- C. Clima
- D. Vegetación
- E. Suelos

4.3 Aspectos socioeconómicos

CAPITULO IV: METODOS, TECNICAS Y MATERIALES

5. DISEÑO METODOLOGICO

- A. Empleo de técnicas de teledetección y cartografía computarizada
- B. Levantamiento de campo
- C. Análisis de laboratorio
- D. Evaluación por métodos paramétricos
- E. Cálculo de los factores
 - (a) Agradabilidad climática
 - (b) Erodabilidad
 - (c) Longitud y gradiente de pendiente
 - (d) Vegetación, cultivo y explotación
 - (e) Prácticas de conservación
 - (f) Socioeconómico
 - (g) Litológico

5.1 APLICACION DEL DISEÑO METODOLOGICO

- A. Análisis de imágenes, fotointerpretación y cartografía
- B. Trabajo de campo
 - (a) Levantamiento fisiográfico
 - (b) Medición y clasificación del declive
 - (c) Levantamiento edafológico
 - (d) Transectos para estudio de vegetación
- C. Análisis de laboratorio
 - (a) Densidad en masa seca

- (b) Análisis del tamaño de partículas
- (c) Bases extraíbles
- (d) Saturación de bases
- (e) pH
- (f) Color
- (g) Materia orgánica
- (h) Capacidad de intercambio catiónico total
- (i) Permeabilidad

D. Métodos paramétricos

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSION.

6. UNIDADES AMBIENTALES

7. VALORIZACION DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FENOMENO DE HIDROEROSION

- A. Agresividad climática (P')
- B. Longitud y gradiente de pendiente (L S)
- C. Erodabilidad del suelo (K)
 - (a) Diagnósis de los suelos estudiados
 - (b) Caracterización de los perfiles tipo
- D. Vegetación, Manejo y Explotación (J)
 - (a) Cobertura vegetal
- E. Conservación del suelo (P)
- F. Litología (Li): Pérdida de Suelo Permisible (P.S.P.)

8. INTERPRETACION

9. DESARROLLO DE LA EROSION MODIFICADA

10. PREVISION Y VALORIZACION DEL RIESGO DE EROSION, EROSION TEORICA Y EROSION ACTUAL

11. RECOMENDACIONES GENERALES

CONCLUSIONES

R E S U M E N

En esta tesis se describe el desarrollo y modificaciones de un modelo paramétrico conocido como Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos, aplicada a las condiciones ambientales del Flanco Meridional de la Sierra Chichinautzin en el Estado de Morelos. Su objetivo fundamental es el de evaluar, de modo ordenado, sistemático y multitemporal, los factores que originan la degradación por hidroerosión en los suelos en ecosistemas de zonas templadas, legislando los conocimientos obtenidos a través de un modelo paramétrico.

La metodología empleada comprende:

- Interpretación de imágenes Landsat y fotografías aéreas.
- Análisis de laboratorio en 40 muestras de los horizontes mas representativos.
- Cálculo de los factores Agresividad Climática (R'), Longitud y Gradiente de Pendiente (L-S), Erodabilidad (K), Vegetación, Manejo y Explotación (C) y Prácticas de Conservación (P).

Los resultados obtenidos en esta tesis, dieron valores de pérdidas de suelos por hidroerosión teórica, actual y riesgo potencial, en un ecosistema forestal prático-agrícola. Permitieron conocer además, que los Andosoles, Vertisoles y Regosoles, son los suelos mas erosionables en la zona y por lo tanto se degradan o pierden con mas rapidez cuando se han despojado de la cubierta vegetal o por mal manejo agrícola.

El área de estudio se dividió en tres sistemas terrestres con base a los factores ambientales, clima, relieve, suelo, geología y vegetación, principalmente.

De ellos el Sistema Terrestre Chichinautzin (ST1), presenta los valores mas altos de erosión. Esto se debe a su posición geográfica, caracterizada por las pendientes mas pronunciadas, precipitaciones mas erosivas y suelos mas susceptibles. En tanto que el ST3 Tenixco, muestra los valores mas bajos.

Bajo condiciones de bosque o selva no alterados, incluso con manejo agrícola adecuado, los suelos de la zona generalmente no rebasan la tasa permisible de pérdida. Los daños observados en algunos de ellos por efecto de la hidroerosión, son el resultado de una inestabilidad ecológica y termodinámica casi constante, que propicia pérdidas de energía y degradación del sistema suelo. Esta ruptura del equilibrio ha sido inducida por el hombre, al destruir o modificar la interfase suelo-vegetación y al emplear indiscriminadamente estos suelos, sin considerar su aptitud natural.

Se incluye en este trabajo, la diagnosis, morfología, propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados, así como algunas hipótesis sobre su deterioro, mismas que se fundamentan principalmente en los trabajos de investigación realizados por el Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias y el Departamento de Edafología del Instituto de Geología, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México.

I N T R O D U C C I O N

EL PROBLEMA.

"El señor Dios creó al hombre del polvo de la tierra y el hombre comenzó a ser una entidad viviente". Con estas sencillas palabras escritas en la Biblia, Foth (1980) intentaba demostrar la importancia que el suelo ha tenido desde las antiguas civilizaciones. Sin embargo, la erosión es también tan antigua como la propia tierra, pero su estudio detallado y la forma de prevenirla o controlarla es muy reciente. "Sólo en este siglo se ha estudiado y escrito seriamente sobre la erosión y la conservación del suelo como ciencia cuantitativa" . (Hudson, 1982).

Como resultado, gran parte de nuestros conocimientos sobre este fenómeno son muy recientes, además la investigación y métodos de conservación más avanzados, se han desarrollado principalmente para Estados Unidos.

Hasta hace pocos años se pensaba que la conservación del suelo estaba relacionada con las obras de defensa: presas escalonadas, terrazas, gaviones; y que estas técnicas no requerían de ninguna modificación tanto si se aplicaban en Asia o en América. Esto es un error, ya que las regiones en vías de desarrollo como Africa, Asia y Latinoamérica, necesitan soluciones basadas en sus propios suelos, usos y cultivos, y no las de las industrias agrícolas altamente capitalizadas y mecanizadas de Estados Unidos y Europa.

Actualmente se reconoce que la erosión acelerada es un problema de alcance mundial y posiblemente el más grave de los que

existe en México, donde un 75% de la superficie del país, ha sido afectada en diferentes grados (Gama, Palacios, 1990), propiciando la contaminación y degradación acelerada de otros recursos naturales. (Crawford, 1978).

La erosión es además un fenómeno complejo que no se rige únicamente por el principio de la causalidad, ya que su origen y dinámica son resultado de la acción conjunta de una gama de variables, algunas intercurrentes. Para su comprensión y análisis es necesario simplificarlo e idealizarlo a través de un modelo teórico.

La carencia de datos cuantitativos y detallados sobre los factores físicos y tecnogénicos que originan la erosión acelerada de los suelos del Territorio Nacional, ha sido el principal impedimento para generar una metodología confiable para la predicción, valorización y control de este fenómeno.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA.

1. MARCO HISTORICO.

Los estudios empíricos y cualitativos del suelo y su conservación, se remontan a tiempos de las antiguas civilizaciones. Tal es el caso de China donde hace 4,000 años se utilizó por primera vez un sistema de clasificación del suelo, basado en el color, textura y estructura, con fin de darle un uso agrícola mas adecuado (Thorp, 1936). Las culturas mayas, egipcia e inca, dejaron muestras sorprendentes de ingeniería agrícola y conservación de suelos: Las imágenes digitalizadas multiespectrales obtenidas por el satélite Landsat 2, muestran que en la península de Yucatán los mayas establecieron un sistema de canales de riego, cuya red comprendía mas de 5,000 km. En Perú se construyeron las primeras terrazas de banco para protección de suelos y en las Islas Filipinas también se establecieron practicas de conservación de suelos hace aproximadamente 2,000 años (Torres, 1984).

En el México prehispánico, Metzahualcáyotl dictó leyes para la conservación de suelos y bosques, estableciendo además los primeros viveros de América. Hace mas de tres siglos, los monjes carmelitas en el Estado de México, introdujeron algunos conceptos sobre conservación de suelos, realizando un gran número de terrazas de banco para cultivar en laderas (Torres, 1984).

Los avances en las ciencias geológicas y químicas, que iniciaron hace 150 años, permitieron establecer las primeras teorías genéticas de los suelos, considerándolos en un prin-

cipio como rocas pulverizadas, sin tomar en cuenta ningún factor de carácter biológico.

Fallow (1882), hace una clasificación de suelos basada únicamente en el origen geológico y litológico de este recurso (Leeper, 1955). Richtoffen (1886), estudia los suelos desde el punto de vista geológico y sugiere algunos conceptos propios de la Edafología, tales como "laterita" y "suelos orgánicos". (Nikiforoff, 1959). No es sino a principios del siglo XIX cuando Thaer sugiere que las plantas asimilan la materia orgánica en descomposición que se deposita sobre el suelo, y que su pérdida ocasionaba trastornos a la vegetación (Jenny, 1935). Al mismo tiempo se propone el término Edafología, como ciencia teórica del suelo (Abelson, 1964).

En Rusia el geólogo V.V. Dokuchaiev (1900), postula varios conceptos básicos sobre suelos. El lo consideró como un cuerpo natural cuyas características eran el resultado del clima, vegetación y tiempo, generando así el primer concepto ecológico en relación con el suelo (Kener, 1967). Lomosev y Glinka, complementan los estudios de Dokuchaiev e introducen otros factores del ambiente para explicar la génesis de los suelos. Con base en estos factores, es posible explicar su degradación tanto natural como acelerada.

Los resultados de las investigaciones de Dokuchaiev, llegaron a Norteamérica con la traducción al inglés del libro "The great soil groups of the world and their development", por C.F. Marbut (1927). Este trabajo es el principio teórico que refleja la acción combinada del conjunto de factores ecoodinámicos para la formación y degradación del suelo.

En el se sustentan la mayoría de las clasificaciones de suelos que existen. (Gama, 1985).

Los primeros estudios relativos a erosión, fueron de tipo cualitativo y los realizó Wolly a fines del siglo XIX. En tanto que Alexsiev (1939), postula que los mismos factores que originan la génesis de suelos, en una situación de desequilibrio propician su degradación. Los primeros estudios de tipo cuantitativo, los realizó en 1915 el Servicio Forestal de los Estados Unidos.

Miller (1917), es de los primeros que estudian la erosión en parcelas experimentales. Ayres (1936), llevó a cabo trabajos sobre el control de la hidroerosión. Smith en 1938, trató de evaluar la pérdida de los suelos por su uso agrícola. Laws y Zingz (1940), estudian el efecto de la lluvia sobre el suelo. Andrés (1950), consideró fundamental para el fenómeno de erosión, el efecto de la pendiente y la lluvia. Cablik en 1952, propone medidas de conservación del suelo, basándose en los estudios de Andrés. Dzubák (1955), establece que la vegetación es también determinante para erosión. Al mismo tiempo Wischmeier y Smith, estimaban el índice de erosión por lluvia a través de una ecuación, denominada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Polyakov (1955), en la Unión Soviética realizó estudios geo hidrológicos en una cuenca hidrológica, considerándola como unidad, pero sin relacionarlos con el fenómeno de erosión. Fournier (1960), establece la relación entre la erosión del suelo y la precipitación, a través de un modelo matemático

para el desierto del Sahara en 1962. Hudson (1961), propone los mecanismos de la hidroerosión. Olson y Wischmeier (1963), evalúan la pérdida de suelo por escorrentías. Onstand (1967), introduce los estudios de erosión a las técnicas de cómputo. En ese mismo año Redley analiza la erosión del suelo por el viento y Sneesby (1968), aplica los parámetros establecidos por Eagnold desde 1941, al estudio del control de la erosión.

Por su parte Valykanov (1970), propone que la hidroerosión sufrida en una cuenca, tiene sus bases en la dinámica de la propia cuenca. En 1971, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, propone un método para estimar la pérdida de suelo por escorrentía; además organiza todos los datos sobre investigaciones de erosión, efectuados hasta esa fecha y en 1975, publica un modelo denominado Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, con el 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 Wischmeier y Smith, formulados desde 1955.

Chezy en 1975, con base a sus experimentos de laboratorio, propone una ecuación para medir la hidroerosión laminar como un proceso físico, sin considerar todos los efectos ambientales que intervienen en ella. Elwell (1977), formula una ecuación muy parecida a la Universal, pero específica para los suelos de Africa del Sur.

Finalmente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que depende de la Organización de las Naciones Uni

das para la Agricultura y la Alimentación (FAO-PNUMA), en 1980 propone 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 África 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.

1.1 MARCO TEORICO.

La hidroerosión es un fenómeno generado por la acción dispersiva y por el poder de transporte del agua que cae en forma de lluvia y escapa del suelo en forma de escurrimiento. Si no hubiera escurrimiento, no habría hidroerosión (Baver, 1972). La dispersión y transporte del suelo están determinados por el choque de las gotas de agua de lluvia que caen, por la cantidad y velocidad del escurrimiento y por la resistencia del suelo. El mecanismo de los procesos de hidroerosión, se inicia y es controlado por la acción e interacción de un número considerable de factores:

- A. Factor climático e hidrológico (agresividad climática).
- B. Factor morfológico (relieve, topografía y pendiente).
- C. Factor edafológico y geológico.
- D. Factor vegetación (cobertura vegetal, tipo de suelo, y período vegetativo).
- E. Factor tecnogénico (uso del suelo, cultivos y manejo).
- F. Factor socioeconómico.

A. Factor climático e hidrológico.

Las condiciones climáticas e hidrológicas de una área, están caracterizadas por su posición geográfica, altitud, temperatura atmosférica, precipitación, evaporación, humedad del aire, dirección y fuerza del viento. Para el control de la erosión es necesario investigar de modo especial, la frecuencia, distribución e intensidad de la precipitación; así como las características físicas, mecánicas y granulométricas de la superficie de escurrimiento. (Holly, 1980).

Alexeiev en 1941, propuso la siguiente ecuación para evaluar el efecto erosivo de la lluvia:

$$i_{\max} = \frac{A \cdot B \cdot \log N}{(1 - T)^{2/3}} \quad \text{donde:}$$

i_{\max} = Intensidad máxima de la lluvia (mm/min)⁻¹

A, B = Parámetros geográficos relacionados con las condiciones climáticas del área.

T = Duración de la lluvia.

N = Probable número de años en que la intensidad (i) y duración (T) de la lluvia son erosivos (> 25 mm/h⁻¹).

Esta ecuación ha servido como modelo para elaborar otras más precisas. Por ejemplo, el factor EI₃₀ (energía cinética de las lluvias con mas de 30' de duración), de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, se formuló con esta base.

B. Factor morfológico.

La velocidad de la hidrosedimentación en una pendiente, está determinada por la textura y rugosidad de la superficie, además por su gradiente y longitud. La velocidad de disgregación y transporte del suelo, se incrementa en condiciones de continuo escurrimiento.

Por otra parte, la intensidad de los procesos de erosión decrece a medida que la pendiente disminuye y las partículas de suelo transportadas por escurrimiento empiezan a sedimentar. En general las áreas mas afectadas por la hidroerosión son aquellas que muestran un relieve escarpado, que propicia la concentración y aceleración del escurrimiento.

Wischmeier y D.D. Smith (1965), con base en sus estudios expresan el efecto del gradiente de pendiente en la siguiente ecuación:

$$S_p = f\left\{\frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613}\right\} \quad \text{donde:}$$

S_p = Factor gradiente de pendientes.

s = Gradiente en porcentaje.

Y establecen la siguiente para la longitud:

$$S_p = f\left\{\frac{L}{22.13}\right\}^a \quad \text{donde:}$$

L = Longitud de la pendiente en metros.

a = Exponente que depende del gradiente.

Polyakov (1965), con base en estas ecuaciones concluye que la intensidad de la erosión es proporcional al cuadrado del gradiente de pendiente. Estas ecuaciones es posible que se hayan originado con base en la fórmula propuesta por Musgrave en 1947:

$$S_p = K_p K_v I^{1.35} L^{0.35} Z_{30}^{1.75} \quad \text{donde:}$$

S_p = Intensidad de los procesos de erosión.

K_p = Coeficiente que depende de las propiedades del suelo.

K_v = Coeficiente que depende de las propiedades de la cubierta vegetal.

I = Gradiente de pendiente.

L = Longitud de la pendiente.

Z_{30} = Lluvia con 30' de duración y con una intensidad máxima.

c. Factor edafológico y geológico.

Las condiciones geológicas de una área y las propiedades del suelo afectan su erodabilidad y consecuentemente la intensidad de los procesos de erosión. El efecto indirecto de la roca madre se manifiesta en las propiedades edafogénicas del material parental, el cual condiciona las principales propiedades de los suelos, como estructura, textura, mineralogía y compuestos químicos; que en presencia de organismos regulan los procesos de formación del perfil.

La resistencia del suelo a la hidroerosión es resultado de estas propiedades heredadas de la roca. Es decir, la infiltración o el escurrimiento dependen de la textura del suelo, estructura, humedad, estratificación, contenido de humus y saturación del complejo de sorción.

Investigaciones sobre el efecto de la textura del suelo en los procesos de erosión han demostrado que los suelos arenosos son poco susceptibles a ella. Esto es debido a que generalmente son muy permeables y a que el tamaño de partículas (0.06 a 2 mm.), dificulta su transporte por el agua o por el viento.

El efecto de la presencia de partículas de varios tamaños en el suelo, con relación a su resistencia a la erosión por agua

ha sido considerada por varios autores como "El grado de vulnerabilidad del suelo a la erosión".

Cherkasov (1950), expresa la erodabilidad del suelo por el siguiente índice:

$$E_p = \frac{d' h'}{a} \quad \text{donde:}$$

d' = Proporción de partículas de suelo con un tamaño de 0.05 mm.

h' = Expresión numérica de la proporción de agua adsorbida por el suelo, por 1 g. de partículas coloidales contenidas en él.

a = Contenido de agregados del suelo, resistentes a la acción del agua en una unidad de suelos.

J.G. Bouyoucos en 1935, expresó la erodabilidad del suelo por la proporción de partículas de arena (0.06- 2 mm) y de limo (0.002-0.06 mm), con relación al contenido de arcillas (<0.002 mm).

En 1973 los expertos del Servicio de Conservación de Suelos (USA), bajo la dirección de Hudson, determinaron la erodabilidad del suelo a través de la siguiente expresión:

$$ER = DR \cdot CE \quad \text{donde:}$$

ER = Porcentaje de erosión

DR = Porcentaje de dispersión

CE = Humedad equivalente.

La erodabilidad del suelo se incrementa en ER y los límites entre los suelos susceptibles y los resistentes a la hidro-erosión son aproximadamente $ER=10$.

Otros autores consideran que el uso de la estructura es un criterio básico para explicar la erodabilidad del suelo. Vilenskiy (1950), recomienda la investigación de los agregados del suelo no alterado. Gussak (1973) mide la cantidad y velocidad del agua, suficientes para destruir diferentes tipos de agregados; mientras que Alderman estudia el tamaño de un cráter formado por un chorro de agua en suelos con diferentes estructuras.

En realidad la textura y la estructura de un suelo son importantes indicadores de la susceptibilidad a la erosión. Las investigaciones han demostrado que bajo las mismas condiciones, un Chernozem con estructura granular es mas resistente que un Andosol, el cual generalmente no muestra un desarrollo estructural considerable y tiene poca cohesión en sus partículas.

D. Factor Vegetación.

La cubierta vegetal protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia y de los efectos del viento, además incrementa la infiltración, reduce el escurrimiento y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los efectos favorables de la vegetación incluyen la estabilidad mecánica mediante el sistema radicular.

Los estudios efectuados por Válek en 1953, demostraron la importancia de una buena cobertura vegetal forestal. Bennet (1963), Holy y Vaska (1970), encontraron que el pasto también protege de modo adecuado al suelo, reduciendo el escurrimien-

to de forma considerable.

En la tabla 1, se muestran algunos valores en porcentaje, de cobertura vegetal por m^2 de superficie de suelo.

Baver (1970), considera que una buena cubierta vegetal, así como un césped denso, compensan los efectos del clima, topografía y erosibilidad en un suelo. Además reconoce cuatro beneficios que atribuye a la vegetación: (1) Intercepción de la lluvia, (2) disminución de la velocidad de escurrimiento, (3) efecto de granulaci3n en el suelo, mayor porosidad y mayor actividad biol3gica y (4) mayor transpiraci3n de agua que deseca el suelo. En 1938 Baver demostr3 que de 12 a 55% de la precipitaci3n total era interceptada por la cubierta vegetal.

Tabla 1. Valores de cobertura vegetal para algunos cultivos.

Remolacha	1.6	centeno	15.6
maíz	11.7	tr3bol blanco	19.6
cebada	14.4	tr3bol de pradera	26.4
		alfalfa	85.6

Fuente: Stocking, 1988.

E. Factor Tecnog3nico.

El concepto tecnog3nico se refiere principalmente al uso y manejo del suelo, y a la distribuci3n y elecci3n de los cultivos. Las condiciones t3cnicas son t3picamente un factor antropog3nico que puede tener efectos positivos o negativos sobre la intensidad de la erosi3n. (Holly, 1960).

Hudson (1980), considera que este factor es de los más complejos de evaluar por su estrecha relación con las condiciones del hombre. Los criterios que actualmente se proponen para estimar este factor, se diseñaron para países desarrollados:

1. Con una industria agrícola altamente mecanizada.
2. Donde la comunidad esté bien educada e informada.
3. Con servicios de primera clase de modo intensivo y extensivo.
4. Donde la presión poblacional sobre el uso del suelo es ligera.
5. Donde los créditos agropecuarios son fácilmente obtenidos, por lo tanto las medidas de conservación son factibles.
6. Donde la población tiene una cultura conservacionista.

F. Factor socioeconómico.

La erosión acelerada es un problema técnico, pero principalmente social y económico, ya que el hombre es quien origina al hacer un uso inadecuado del suelo para producir alimentos. Por tanto, se cree que un individuo actuará de forma más o menos erosiva, dependiendo de su nivel socioeconómico; aunque al respecto todavía no hay valores parámetros aceptados y reconocidos.

En general no se tiene ningún diseño para evaluar ni pérdidas de suelo por erosión, ni el factor socioeconómico, que sea específica para los países latinoamericanos, a pesar de la urgencia que esto representa.

Actualmente no se ha adoptado la conservación de los suelos, como una medida general en el mundo desarrollado, por lo tanto no es sorprendente que no se practique en el Tercer Mundo, donde la erosión es causa de gran preocupación.

1.2 INDICE DE FORMACION DE SUELOS: BALANCE ELEMENTAL DE BARTH.

Los índices de formación de suelo deberían ser determinables o predecibles antes de que puedan ser propuestos como criterio para enmarcar los límites de tolerancia a las pérdidas de suelos. Smith y Stamey (1965) en una revisión minuciosa de literatura no encontraron ningún cálculo confiables de la formación de suelo a partir de materiales consolidados. Los cálculos mas confiables de índices de formación de suelos que existen en la actualidad, se basan en estudios de cuencas pequeñas, los cuales han sido muy numerosos en los últimos 20 años. Los datos de estos estudios han sido revisados y computarizados dando origen a una ecuación denominada Balance Elemental de Barth (1970), donde los análisis de roca y suelos estuvieron disponibles para dar una aproximación de equilibrio de masa. La ecuación aproximada es:

$$W = D + S \quad \text{donde:}$$

W = Masa de roca o sedimento consolidado e intemperizado.

D = Masa de sólidos removidos por la erosión (escorrentía)

S = Masa de residuo o suelo formado a partir del material intemperizado.

No obstante en la mayoría de los casos W y S son variables desconocidas. Aún hay muy pocos cálculos de índice de formación de suelos para desarrollar un modelo que tenga por objeto predecir índices precisos a partir de materiales parentales específicos en geoformas y climas también específicos.

1.3 DINAMICA DE LA HIDROEROSION EN MEXICO.

Diversos estudios antropológicos coinciden en afirmar que la aparición del hombre en la cuenca del Valle de México, fué hace mas 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 para construcción de casas y caminos. Desde esa época el crecimiento de las zonas urbanas provocó la invasión de las tierras agrícolas adyacentes y la deforestación de los bosques aledaños, entonces las áreas devastadas se empezaron a erosionar.

Las épocas prehispánica y colonial no se caracterizaron precisamente por la conservación del suelo, ya que el objetivo era la explotación de los recursos de las tierras descubiertas; no tuvieron noción de lo que representaría a largo plazo el mal uso del suelo o quizá eso no importaba entonces, ya que el territorio nacional era de mas de 4 millones de km² 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 quemas sucesivas de vegetación, la conversión de terrenos forestales en agrícolas, la desecación de manantiales y cuerpos de agua y 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 agravó debido a la destrucción de los recursos naturales renovables y al persistente incremento de la población.

La historia nos muestra con evidencias irrefutables que aún en el México actual, la situación no ha cambiado con respecto al uso de la tierra y su relación con el problema de la degradación acelerada de recursos; sino por el contrario, de 1960 a la fecha una cantidad muy considerable de acuíferos y suelos, se pierden por uso inadecuado.

Fue hasta 1942 con la creación del Departamento de Conservación del Suelo, que se empezó a estudiar el problema en forma integrada, por los primeros técnicos Ings. Blanco Macías, Marte R. Gómez y Lorenzo Patiño. Los trabajos sobre conservación del Suelo y agua, comenzaron institucionalmente, hasta 1946 (Lagos, 1984).

Las primeras estimaciones consideraban que mas de 30 millones de hectáreas del Territorio Nacional estaban afectadas por un problema de erosión muy acelerada. En 1954, FAO consideró, a través de su estudio cartográfico, que mas del 60% de la superficie del país presentaba diferentes grados de erosión.

Para 1956 se inician los estudios del suelo en forma sistemática, principalmente sobre génesis de este recurso, siendo el M.en C. Nicolás Aguilera Herrera, pionero en estudiar suelos volcánicos en nuestro país (Gama, 1985). Estos trabajos resultan básicos para comprender y evaluar la dinámica de hidroerosión en todos los suelos forestales de México.

Estudios mas 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. Los métodos de control de la erosión que se utilizan en nuestro país son la delimitación de los contornos, cultivo en franjas de contorno, terracedo, y con menor frecuencia la labranza de conservación, la rotación de cultivos y la retención o incorporación de 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 suelos, no es en su nivel mas simple, un problema técnico o de ingeniería, sino economico y social; por lo que no se aplica ampliamente en nuestro país, no obstante que el problema de pérdida de suelos es muy grave.

Algunas instituciones universitarias como el Instituto de Geología, Geografía y Ecología; así como la Facultad de Ciencias, llevan a cabo ensayos e investigaciones formales sobre degradación física, química y biológica de los suelos, que aportan logros progresivos en torno a las alternativas posibles de solución de este problema. El uso de biomejoradores es una de las alternativas mas importantes que pueden contribuir en un futuro inmediato en recupera-

ción de suelos. (Palacios, et al, 1985).

Como ejemplo de biomejoradores se ha estudiado la dextrana, que es un azúcar obtenido del pulque y el aguamiel, y mejora la agregación de las partículas finas del suelo (Ramírez Gama, 1967). También se ha estudiado una mezcla de dextrana, materia orgánica y el hongo Aspergillus niger, que igualmente favorece la agregación del suelo (Ibarra-García, 1970).

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION.

2. OBJETIVOS.

2.1 General.

El objetivo principal de esta tesis, consiste en pronosticar y determinar cuantitativamente y en escala semidetallada, la pérdida promedio anual del suelo, en esta caso para Andosoles, Cambisoles, Luvisoles, Phaeozem, Vertisoles y Regosoles; ocasionada por la erosión hídrica pluvial en las zonas forestales y agrícolas del flanco meridional de la Sierra Chichinautzin, Estado de Morelos.

2.2 Específicos.

A. Clasificar y valorizar los factores ambientales y antropogénicos que mas influyen en la intensidad y velocidad de la erosión en los suelos antes mencionados, evaluando a través de fórmulas paraxétricas y de ecuaciones matemáticas la acción independiente de cada factor y sus relaciones mutuas.

B. Seleccionar un método de evaluación de degradación del suelo para adaptarlo y/o modificarlo, con el propósito de hacerlo accesible para calcular la hidroerosión en el área de estudio.

C. Diseñar un modelo de investigación estructurada por métodos y técnicas seleccionadas, para generar datos a nivel semi detallado. Se consideró necesario que los métodos sean precisos y económicos, en tiempo y costos.

2.3 Colaterales.

A. Crear conciencia entre la población sobre el continuo y

severo deterioro de los ecosistemas.

B. Promover investigaciones sobre la degradación y conservación del suelo.

3. HIPOTESIS.

La ruptura del equilibrio metaestable en los suelos de origen volcánico, por acción de procesos endógenos y principalmente exógenos, ha creado condiciones de inestabilidad y degradación específicas para cada zona climática y unidad edáfica. Los factores ambientales que generan estos procesos denudatorios, son los mismos que bajo condiciones de equilibrio ecológico, propician la edafogénesis y condicionan la tipogénesis de los suelos. Por lo tanto, el grado de incertidumbre que se obtiene al valorizar los daños causados por la degradación de un ecosistema, disminuirá a medida que se obtenga información mas precisa sobre la dinámica de los factores clima, roca, relieve, suelo, vegetación y manejo.

CAPITULO III: VISION SINOPTICA DEL AREA DE ESTUDIO.

4. CARACTERIZACION.

4.1 Localización.

El área de estudio comprende una superficie de 250 km² y se localiza sobre el flanco meridional del Eje Neovolcánico, en la porción noroccidental del Estado de Morelos, ubicada entre los paralelos 18°54' y 19°00' de latitud norte y los meridianos 99°03' y 99°15' de longitud este de Greenwich. (fig. 1).

4.2 Fisiografía.

A. Geología.

En este sitio existen solamente afloramientos del grupo Chichinautzin, representados litológicamente por rocas ígneas extrusivas de composición andesítica y basáltica, con material volcanoclástico asociado y algo de aluvión, que sobreyacen con discordancia erosional sobre la formación Cuernavaca.

Los límites cronológicos extremos del grupo Chichinautzin, no se conocen aún (Fries, 1965); aunque según Arellano (1953), una parte de este grupo estratigráfico se extravesó a tiempos históricos.

B. Relieve.

Fisiográficamente, el área está constituida por tres sistemas de topoformas localizados entre los 1,350 y los 2,300 m.s.n.m. con relieves que varían de plano a normal en las geoformas mas estables y antiguas; y de normal a excesivo en las jóvenes. La longitud, forma y pendiente del declive,

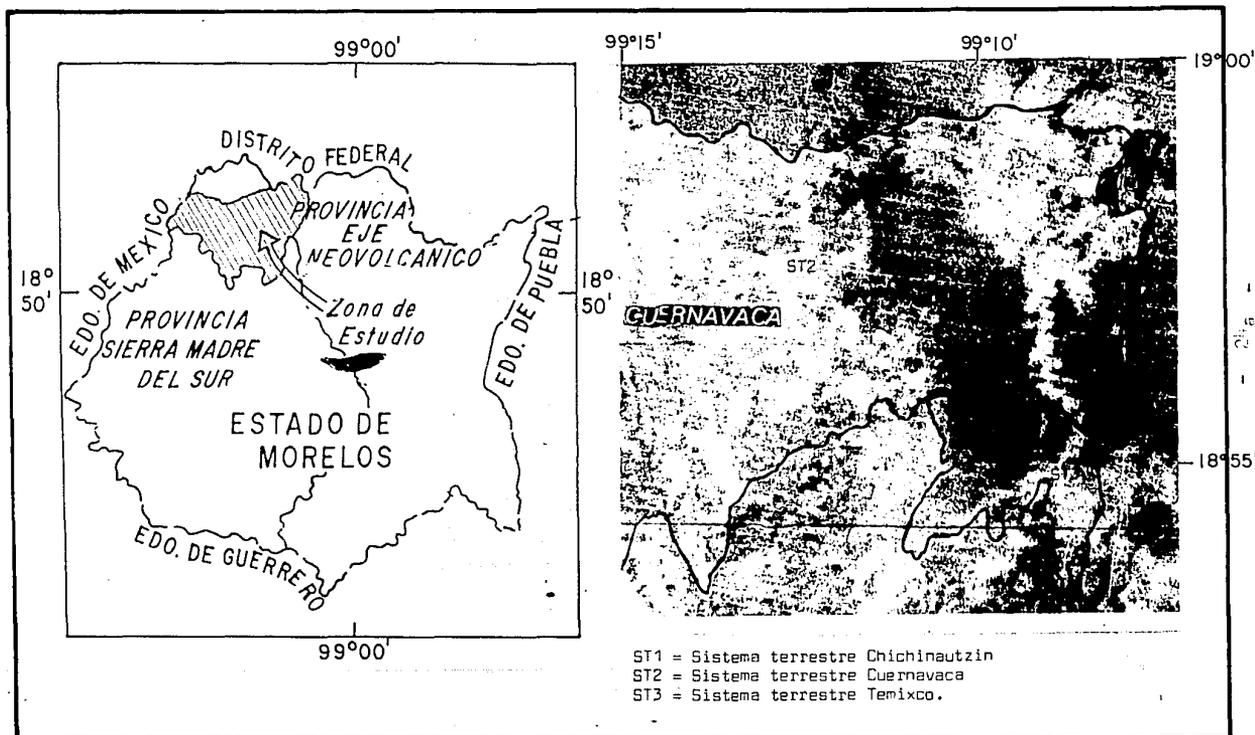


Figura 1.- Mapa de localización de la zona de estudio e imagen LANDSAT de la misma.

varían en cada topografía y las pendientes oscilan de(1 hasta 30%.

De acuerdo con Fries (1965), los rasgos geomorfológicos que caracterizan esta zona, dependen en gran parte de las unidades litoestratigráficas que afloran.

C. Clima.

En función de la orografía y de la altitud se distribuyen en el área cuatro tipos de clima que varían del cálido subhúmedo al templado frío. Este último se localiza en altitudes mayores de 2,300 m.s.n.m. Según García (1988), entre los 1,400 y 2,200 m de altitud se presentan dos franjas de climas transicionales entre los cálidos y templados, denominados semicálidos.

La temperatura media anual de la zona de estudio, varía de 12°C en las estribaciones elevadas de la sierra del Chichineutzin, hasta 30°C en las porciones mas bajas de las laderas. La cantidad de lluvia también varía en función directa de la altitud, registrando precipitaciones medias de 900 hasta 1,500 mm.

En esta área son frecuentes los vientos alisios del hemisferio norte.

D. Vegetación.

No obstante lo variado de los ecotopos altitudinales, climáticos y edáficos presentes, la vegetación no es muy diversa. Predominan las bosques de encino, que se encuentran entre 1,300 y hasta los 2,300 m.s.n.m. De acuerdo con García:

dominantes en el estrato arbóreo Quercus sp. (encino) y Arbutus xalapensis (madroño), y en el estrato arbustivo Dodonaea viscosa (ocotillo). También están presentes los bosques de pino y pino-encino, aunque en menor abundancia.

El pestizal inducido es abundante en esta zona, a una altitud promedio de 1,750 m.s.n.m. con los géneros Muhlenbergia, Aristida y Setaria. También hay pequeñas extensiones de Selva baja caducifolia.

E. Suelos.

De acuerdo con la carta estatal de suelos, escala 1:250 000, DGETN (1961), existen siete unidades de suelos predominantes denominadas según FAO (1933): Andisol, Cambisol, Fluventos, Regosol, Luvisol y Vertisol. Existen también áreas con Litosol, denominadas "texcal".

Estas unidades se encuentran formando asociaciones de suelos en las cuales predominan las clases texturales finas y medias. Totalmente estas unidades edáficas presentan con frecuencia fases físicas que son limitantes en cuanto a la profundidad efectiva del suelo. Las más comunes en esta área son la fase lítica, lítica profunda y dánica.

4.3 Aspectos edafoclimáticos.

En virtud de que el área de estudio está identificada como parte de la Gran Sierra Volcánica del Tlaxcala, los suelos que presenta muestran claramente una aptitud forestal y se consideran muy restringidos para el uso agrícola. Las pendientes, erosión del suelo y retención de fósforo son las

principales limitantes que restan posibilidades agrícolas en esta zona. No obstante, existen algunas áreas que muestran aptitud agrícola (Phaeozem, Vertisoles), donde los principales cultivos son: Maíz, frijol y calabacita, que se siembran en parcelas pequeñas, no mayores de 2 hectáreas, por lo que las cosechas son para autoconsumo (comunicación directa con los ejidatarios). En parcelas de mayor extensión, se cultiva tomate y jitomate, y en ocasiones se dedican a la floricultura.

Durante los últimos 15 años, se han incrementado en el Estado las actividades agrícolas-ganaderas, así como la industrialización y urbanización. Este crecimiento ha afectado una superficie boscosa de más de 6,000 ha. lo que representa aproximadamente el 15% del total del recurso forestal de la entidad (comunicación directa con el Comité Estatal de Ecología).

Los daños relativos a la masa y volumen forestal, así como al número de especies afectadas o destruidas, se desconoce debido a que no existe un inventario forestal actualizado. Sin embargo su necesidad se justifica plenamente si se considera que el 70% de la superficie del estado muestra una aptitud forestal.

Por otra parte, las áreas con uso agrícola de riego, muestran deficiencias en un 70% de su infraestructura, especialmente en las zonas de influencia de los ingenios La Abeja y Emiliano Zapata. La optimización de este sistema productivo, requiere una inversión aproximada de 15,000 millones de pesos.

La contaminación, especialmente por aguas residuales, es otro aspecto problemático para la entidad, ya que al menos 74 industrias contaminantes están asentadas en CIVAC (Parque Industrial de Cuernavaca, Mor). La cantidad de desechos químicos y biológicos que generan, rebasa en mucho la capacidad de las plantas pretratadoras creadas por ECCACIV (Comunicación personal con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Estado).

CAPITULO IV: METODOS, TECNICAS Y MATERIALES.

5. DISEÑO METODOLOGICO.

Esta tesis fué programada para su realización en cinco etapas de trabajo:

A. Empleo de Técnicas de Teledetección y Cartografía Computarizada.

Las diferentes categorías informativas sobre los elementos del paisaje que influyen en la hidroerosión, fueron determinadas a través del examen analógico y digital de las imágenes Landsat 3 en bandas MSS 4-5-6-7 y falso color, completando con la interpretación de fotografías aéreas escala 1:50 000, con base en el método establecido por Bergara (1980).

Este material también se utilizó para obtener una visión sinóptica de la zona, a nivel general de todos sus componentes, que permitiera establecer los puntos de estudio, verificación, muestreo y medición.

B. Levantamiento de Campo.

Durante esta etapa se realizó lo siguiente:

(a) Rectificación de la información generada durante el análisis e interpretación espectral (verdad de campo), empleando para ello los principios establecidos por la Asociación Argentina de Fotointerpretación (A.A.F.I., 1975).

(b) Selección de los sitios de observación, medición y muestreo previamente establecidos en la etapa A, (12 sitios).

(c) Definición y muestreo de los perfiles de suelos representativos del área (según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Servicio de Conservación de Suelos, USDA-SCS, 1985).

(d) Determinación de la cobertura vegetal (Stocking, 1988).

(e) Medición y estimación directa de la longitud y gradiente de pendientes (USDA-SCS, 1965).

(f) Observación directa de la mecánica de los procesos de hidroerosión y sus efectos en el área por medio de criterios visuales (FAO-PNUMA, 1980).

C. Análisis de Laboratorio.

Las determinaciones físicas y químicas de los suelos, se hicieron con base en la metodología USDA-SCS (1966) y se realizaron únicamente las que consideraran necesarias para evaluar pérdidas de suelo por hidroerosión.

- (a) Densidad en masa seca. (4A1h) Técnica de la parafina.
- (b) Análisis del tamaño de partículas menores de 2 mm. (3A) técnica de la pipeta.
- (c) Bases e traibles. (5E1) por extracción con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.
- (d) Saturación de bases (5C2)
- (e) p^{H} (8C1a)
- (f) Color (M.S. Ch., 1975)
- (g) Materia orgánica (Walkley - Black, 1974).
- (h) Capacidad de intercambio catiónico total (5A2a)
- (i) Permeabilidad (Boersma, 1965 y Boedt, 1965).

D. Evaluación por métodos paramétricos.

Se optó por utilizar en principio el método provisional propuesto por FAO-PNUMA (1980). Este método emplea para calcular y predecir la pérdida anual de suelo la siguiente fór-

mula paramétrica:

$$D = f(C_1, S, T, V, L, M). \quad (1)$$

donde:

D = Degradación del suelo.

C_1 = Factor de agresividad climática

S = Factor suelo.

T = Factor topográfico.

V = Factor vegetación.

L = Factor uso del suelo

M = Factor explotación.

Como se mencionó anteriormente, se propone modificar esta ecuación, con el fin de obtener una evaluación de la erosión a nivel más detallado y que sea específica para el área de estudio. El modelo paramétrico modificado, empleado en este trabajo, se representa con la siguiente fórmula:

$$D_H = f(R', K, L, S, C, F, S_0 - Li) \quad (2)$$

donde:

D = Pérdida de suelo por unidad de superficie

R' = Índice de agresividad climática

K = Factor erodabilidad del suelo

L = Factor longitud de la pendiente

S = Factor gradiente de pendiente

C = Factor vegetación, cultivo y explotación.

F = Factor prácticas de conservación.

S_0 = Factor socioeconómico.

Li = Factor litológico. (para obtener la pérdida permisible de suelo P.S.P.)

En síntesis, el factor S(1) fué sustituido por K(2); T(1) por LS(2); V, L y M(1) por C(2); incluyéndose en la fórmula modificada el factor P, S_o y L₁.

Los factores K, L, S, C, P y L₁, fueron determinados directamente con el trabajo de campo y son similares en sus conceptos a los utilizados en la USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo). El factor R' es equivalente al C₁ que utiliza FAO-PNUMA (1980).

E. Cálculo de los factores. Para calcularlos se utilizaron las siguientes fórmulas:

(a) Agresividad climática.- Se utiliza el índice establecido por Fournier (1960):

$$C = \frac{\sum p^i}{P}$$

Indice propuesto por FAO-PNUMA: $C_1 = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^i}{P}$ donde:

C₁ = R' = Agresividad climática, como se propone en este trabajo.

pⁱ = Promedio de lluvia mensual.

P = Promedio de lluvia anual.

(b) Erodabilidad del suelo. Se empleó la ecuación y el nomograma propuestos por Wischmeier et al (1971):

$$100K = 2.1K^{1.14} (10^{-4}) (12 - MO) 3.25 (S-2)$$

donde:

M = (% de limo arena muy fina)(100- % arcilla)

S = Estructura del Ped (forma, tamaño y desarrollo)

MO = % materia orgánica

(c) Longitud y gradiente de la pendiente.

Para definir estos factores se emplean las ecuaciones propuestas por Wischmeier y colaboradores (1971), surgidas de los trabajos que realizaron en parcelas experimentales estandarizadas de 22.13 m de longitud y 9% de pendiente. Las constantes que proponen en estas ecuaciones son con el objeto de normalizar los datos de cualquier trabajo con sus resultados experimentales. El valor paramétrico del factor L se define como:

$$L = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m$$

donde:

X = Longitud de la pendiente en metros.

22.13 = Longitud de una parcela standard

m = Exponente que depende del gradiente.

El valor paramétrico de S es igual a:

$$S = \frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613}$$

donde:

S = Factor gradiente de pendiente

s = Gradiente en porcentaje.

Los valores de LS se estiman a través de la siguiente ecuación:

$$LS = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.45s + 0.0065s^2)$$

Utilizando los siguientes rangos de valores para el exponente m:

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%.

(d) Factor vegetación, cultivo y explotación. (C)

Los valores paramétricos de cobertura vegetal natural y manejo de cultivos, fueron estimados utilizando las metodologías propuestas por Wischmeier (1976), los Manuales de Agricultura (USDA, 1985) y S.A.P.H., Colegio de Posgraduados (1980) y los cuadros de FAO-FRUMA (1980).

(e) Factor prácticas de conservación. (P)

La valoración paramétrica de este factor se realizó con base en el cuadro propuesto por Arnoldus (1977) y el Colegio de Posgraduados (1981) y de acuerdo a los datos recabados en la zona de estudio.

(f) Factor socioeconómico. (So)

Aunque existen suficientes elementos para valorizar este factor, como podrían ser: (1) Superficie que posea el individuo o familia que explota el suelo, (2) Nivel de ingresos, (3) Intención del cultivo, entre otras; a la fecha no se hace de modo general y aceptado por las dificultades que representa valorizar al hombre como agente erosivo. En este trabajo únicamente se propone incluir este factor en el modelo, por considerar de suma importancia el nivel sociocultural del hombre en relación con las pérdidas de suelo por erosión, especialmente en zonas densamente pobladas y pobres, como las países latinoamericanos, entre ellos México.

(g) Factor Litológico. (Li)

Para su evaluación como factor que interviene en el proceso de hidroerosión, se consideró lo siguiente: (1) tipo de rocas basal y (2) profundidad de la roca basal. A partir de estos datos obtenidos en el campo, en los puntos de muestreo, se estimaron las pérdidas de suelo permisibles, en base a la información generada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USDA-SCS, 1977).

5.1 Aplicación del diseño metodológico.

A. Análisis de imágenes, fotointerpretación y cartografía.

(a) Estudio analógico de imágenes multiespectrales e infrarrojo falso color, obtenidas por el satélite Landsat y amplificadas a 1:125 000.

(b) Proceso fotointerpretativo metódico, según propone A.S.P. (1980), en el cual fueron utilizadas aerofotografías de lente único, blanco y negro en escala 1:50 000. Los factores relieve, altitud, litología, vegetación, uso del suelo y drenaje externo, fueron utilizados como patrones de selección según los criterios establecidos por Bergama (1980).

(c) Análisis de cartografía temáticas, durante el cual fueron consultadas y usadas las siguientes cartas:

- Carta de climas escala 1:500 000 (García, 1980).

Para información sobre tipos climáticos, distribución de isoyetas e isotermas, con el fin de delimitar las zonas de aridez climática presentes en el área de estudio (factor R').

- Carta de tectología escala 1: 500 000 (Fries, 1965).

Para conocer las características geomorfológicas, estratigráficas y litológicas de las formaciones y grupos presentes, con el propósito de evaluar de manera muy general la fragilidad del sustrato geológico en relación a la dinámica de los procesos de meteorización y degradación presentes localmente.

- Carta topográfica escala 1:50 000 (1980).

Utilizada como plano base para determinar los sistemas de topoformas que constituyen el área de estudio y su altimetría, para medir sobre ella la longitud y gradiente de algunas pen-

dientes de difícil acceso.

- Carta edafológica escala 1:50 000 (1980).

Fué usada como un antecedente cartográfico importante para la realización del levantamiento y clasificación de las unidades de suelos citados anteriormente.

- Carta de uso del suelo escala 1:50 000 (1980).

Sirvió como guía en la planeación de los transectos para estudio de vegetación y medidas de conservación del suelo.

B. Trabajo de Campo.

Esta etapa consistió en lo siguiente:

(a) Levantamiento fisiográfico. La metodología propuesta por Cuatrecasas (1977) y el sistema ITC de Clasificación del Terreno (van Zuidam, 1979 in Bocco, 1988); fueron utilizadas en forma combinada para los siguientes fines:

- Establecer algunas relaciones dinámicas entre formas del relieve local y otros factores ambientales que influyen notablemente en el proceso de hidroerosión.

- Con base a lo anterior dividir el terreno en unidades homogéneas (UT), susceptibles de ser representadas cartográficamente, a escala semidetallada y regional.

- Describir y comparar las UT determinadas a partir de criterios objetivos y cuantitativos.

(b) Medición y clasificación del declive. Con base en la metodología empleada por Soil Survey Staff (1985), fueron determinados en campo los ángulos de declive de varias pendientes representativas de cada UT, con el propósito de clasificarlas y valorizarlas como factores de hidroerosión.

(c) Levantamiento edafológico para definir la posición taxonómica y erodabilidad de los suelos, empleando los métodos de FAO (1977), la clasificación FAO-UNESCO (1988), Soil Survey Staff (1975) y Wischmeier et al (1971).

(d) Transectos para estudio de vegetación y uso del suelo, con dos fines:

- Estimar porcentajes de cobertura vegetal, su degradación y causas que la originan. Esto se realizó con apoyo en los métodos propuestos por UNESCO (1973) y Van Der Hammen (1984).

- Detectar y valorizar las medidas de control de la erosión utilizadas en el área de estudio, según FAO (1977), FAO-PNUMA (1980) y Wischmeier (1974).

Los sitios de observación y mediciones topográficas, de levantamiento de suelos y de transectos de vegetación, fueron programados y seleccionados mediante el empleo de técnicas de teledetección y cartografía.

C. Análisis de Laboratorio.

Las muestras de suelo colectadas fueron analizadas siguiendo los Métodos de Laboratorio de USDA-SCS (1986).

(a) Densidad en masa seca, por medio de terrones recubiertos de parafina, previamente secados en la estufa. Se pesan y se mide su desplazamiento en agua. Los cálculos son por medio de la siguiente fórmula:

$$D(\text{g/cc}) = \frac{\text{peso en seco} - \text{peso} > 2 \text{ mm. en terrones}}{(\text{peso en seco} - \text{peso en agua}) - \frac{\text{peso} > 2 \text{ mm.}}{2.65}}$$

(b) Análisis del tamaño de partículas. Se utilizó el método de pipeta para partículas menores de 2 mm. (3A1 para muestras secadas al aire), que consiste en: (1) eliminación de la materia orgánica, (2) eliminación de la materia mineral disuelta, (3) de agentes aglutinantes, (4) dispersión de la muestra, (5) separación de las arenas de la arcilla y el limo, (6) pipeteado, (7) tазizado y pesado de las fracciones de arena y (8) cálculos.

(c) Bases extraíbles. Fueron analizados los productos de lixiviación de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, para calcio, magnesio, sodio y potasio (métodos 6A2, 6Q2, 6P2 y 6Q2).

(d) Saturación de bases. Dividiendo la suma de bases extraíbles por la capacidad de intercambio catiónico, determinada por el método 5A2a.

(e) p^{H} . La determinación se hizo en una solución agua suelo 1:1, agitando bien antes de sumergir los electrodos en la suspensión.

(f) Color. En seco y húmedo a través de la lectura óptica de las tablas Munsell.

(g) Materia orgánica. Por oxidación ácida en medio húmedo, según el método de Walkley y Black, 1924.

(h) Capacidad de intercambio catiónico total.- Según el método centrifugo (5A2a), utilizando como reactivo CH_3COONa 1 N, p^{H} 5.3 y etanol al 95%. Se calculó según la siguiente fórmula:

$$\text{CEC (meq/100 g)} = \frac{\text{Meq/l Na de la MUESTRA} \times \text{dilución} \times 10}{\text{gr. de muestra}}$$

(1) Permeabilidad. Mediante el método del cilindro concéntrico según Escorza (1965) y Bodt (1965).

D. Métodos Paramétricos.

Como se mencionó anteriormente, para evaluar la pérdida del suelo en toneladas por hectáreas/año, se utilizó el modelo paramétrico propuesto por FAO-UNU/IA (1980) modificado. Esta modificación consistió en incluir en la fórmula general los Factores Prácticos de Conservación, Socioeconómico y Litológico, ya que resulta indispensable para obtener una evaluación más real de la pérdida del suelo por efecto de la hidro-erosión.

La modificación se hizo con base en los trabajos realizados por Johnson y Cross (1971), Foster y Wischmeier (1973), Arnoldus (1977) y Wischmeier y Smith (1978).

(a) Factor de Agresividad Climática. (R')

Para calcular R', se emplearon los registros de pluviometría de las estaciones meteorológicas de Huixtla, Cuernavaca, Xautepac y Tamixco, estado de Puebla; algunas con 30 años de antigüedad. La fórmula empleada es:

$$R' = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i}{P}$$

donde:

p = Precipitación media mensual.

P = Precipitación media anual.

Se establecieron las siguientes clases para los valores de agresividad climática (R'):

0 - 50	ligera
50 - 500	moderada
500 - 1000	alta
1000	muy alta.

La influencia zonal relativa de cada pluviómetro, fué establecida según el sistema de polígonos de Thiessen (1988).

(b) Factores Longitud y Gradiente de pendiente (L S).

Para medir la longitud de la pendiente, se observa el punto de origen del flujo, hasta el punto de deposición o donde la escorrentía sea canalizada. El gradiente de la pendiente se expresa como porcentaje.

La valorización de L S, se estima a través de las fórmulas anteriormente mencionadas o con el nomograma propuesto por Wischmeier y Smith (1971).

Para calcular el valor de LS en pendientes irregulares, se dividieron en segmentos uniformes en su gradiente, erodabilidad, uso y conservación; con base en lo propuesto por Foster y Wischmeier (1974).

(c) Factor Erodabilidad (K).

Como se mencionó, este factor fué determinado cuantitativamente con base en el nomograma desarrollado por Wischmeier et al (1971) y modificado para su uso en el sistema métrico, utilizando las siguientes propiedades adápticas:

M = (% de limo + arena muy fina) (100 - % arcilla)

MS = % de arena

MO = % de materia orgánica

S = estructura del ped (forma, tamaño y desarrollo)

P = clase de permeabilidad (cm/h).

(d) Factor Vegetación, cultivo y explotación (C).

El valor de cobertura vegetal y manejo de cultivos fué estimado utilizando las metodologías propuestas por Wischmeier (1976) y los Manuales de Agricultura (USDA, 1985) y S.A.R.H. Colegio de Posgraduados (1980). Este factor fué valorizado considerando lo siguiente: (1) Areas con cultivo de maíz, (2) Niveles de productividad moderados, (3) Prácticas de cultivo específicas para la zona y (4) tiempos promedio representativos para el crecimiento de maíz en el área. En tanto que para terrenos con vegetación natural, el valor de C fué calculado con base en el monitoreo a través de fotografías aéreas y observaciones de campo, del tipo y altura del dosel vegetal, porcentaje de cubierta y presencia de pasto u hojarasca.

El efecto de la vegetación natural que protege al suelo, fué estimado cuantitativamente según su porcentaje de cobertura, cuyo valor parámetro se tomó de la siguiente tabla propuesta por FAO-UNEP (1980):

Tabla 2. Valores paramétricos para vegetación natural.

Vegetación.	% de Cobertura					
	0 - 1	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100
	Valor Paramétrico					
Pastizales	0.45	0.32	0.20	0.12	0.07	0.02
Bosque con sotobosque.	0.45	0.32	0.16	0.18	0.01	0.006
Bosque sin sotobosque.	0.45	0.32	0.20	0.10	0.06	0.01

La valoración de las tierras de cultivo de raíz y su manejo, fué estimada en valores próximos a 0.6, intermedio a 0.8 característico de áreas de sabana 0.4 propio de las de bosque tropical.

(e) Factor Prácticas de Conservación. (P)

Su valor se estimó bajo las siguientes consideraciones: (1) Cuando el terreno cultivado se localizó en pendientes mayores de 16% y (2) Cuando no existía ninguna práctica de conservación, este factor se consideró como P=1. Para zonas de cultivos de temporal, con práctica de surcado al contorno el valor se estimó en 0.89.

Estos valores son de acuerdo a lo propuesto por Arnoldus (1977) y el C.P. (1981), y con base a la información de campo.

(f) Factor Litológico. (Li)

Con base en el marco teórico anteriormente establecido, resulta probable que para la evaluación de este factor que interviene en el proceso de hidroerosión, deberían considerarse los siguientes aspectos:

1. Naturaleza física y química de la roca.

2. Lluvia de lavado.- Índice de Papadakis (1980).
3. Índice de intemperismo potencial.
4. Minerales edafogénicos (secundarios)
5. Minerales accesorios.
6. Profundidad de la roca basal.

En esta tesis solo fué posible evaluar los incisos 1 y 6, debido principalmente a la falta de información. Esto permitió obtener la Pérdida de Suelo Permisible, con base en la información generada por el Servicio de Conservación de Suelos, USDA (1977), y aplicada a las condiciones del área de estudio.

Por último, el cálculo del potencial erosivo o riesgo de erosión (E) fue obtenido de la siguiente ecuación:

$$E = R' K L S$$

donde:

- K = Erodabilidad del suelo
- R' = Agresividad climática.
- L = Longitud de la pendiente
- S = Gradiente de pendiente.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSION.

6. UNIDADES AMBIENTALES.

De acuerdo a nueve aspectos o características del paisaje, este pudo dividirse en sistemas terrestres o unidades ambientales homogéneas. Los aspectos considerados fueron: Estratigrafía, morfogénesis, morfometría, morfografía, morfodinámica, hidrología, clima, suelos, vegetación y uso del suelo.

La caracterización y evaluación de la estratigrafía, morfogénesis, hidrología y clima, se fundamentaron en Ordoñez (1936), Fries (1965), Lugo (1970), López (1981) y García (1981).

Los aspectos restantes fueron determinados a través de este estudio.

Los resultados indican la presencia de tres sistemas terrestres denominados:

ST1 Chichinautzin, ST2 Cuernavaca y ST3 Texcoco.

En el ST1 fueron establecidos 6 sitios representativos de este ecotopo zona 1, 9 sitios en ST2 y 4 en ST3. (figura 2).

Las características diagnósticas de cada sistema terrestre, se presentan en la tabla 3.

7. VALORIZACION DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FENOMENO DE HIERROBACION.

A. Agresividad climática.

Con base en los registros pluviométricos de las estaciones E1 Huixtillac, E2 Cuernavaca, E3 Texcoco, E4 Yautepec y E5 Tepoztlán (figura 3), se procedió a calcular para cada una de ellas el valor de R' y su clasificación (tabla 4).

La estación pluviométrica de Tepoztlán E5, se decidió no con...

TABLA 3 - SISTEMAS TERRESTRES

PROVINCIA			
SISTEMA TERRESTRE	CHICHINAUTZIN - ST1	CUERNAVACA - ST2	TEMISCO - ST3
	Grupo Chichinautzin - Constituye la zona meridional de la Baja Temoctemecana de Volcanes Pico-Piroclásticos.	Grupo Chichinautzin - Formación CUERNAVACA Constituye el componente de la Sierra Chichinautzin.	Grupo Chichinautzin - Aluvión del reciente Constituye un plano de acumulación, ligeramente inclinado y disperso.
	Relieve volcánico en Efectivo	Relieve disperso - Eridgano	Relieve eridgano
UNIDAD TERRESTRE	Coladas de lava, lavas de lava y piroclásticos. Superficies complejas de lava y piroclásticos.	Cara dispersada	Planicies aluviales, presenos valles, terreros suaves, coladas de lava, arroyos y barrancos.
COMPONENTE TERRESTRE RECIENTE	Este sistema está constituido por pendientes simples y complejas de longitud variable. Predominan las siguientes clases: D4-100-Area: 2500 ha. D- 500 - Area: 10 ha.	Pendiente simple Clase bo= 18 - 200 Area: 700 ha.	Pendientes simples y casi blancas, con una longitud promedio mayor de 100 m. Clase a=200 - Area: 1100.00 ha.
PROCESO MORFOLÓGICO	Actividad volcánica	Grupo denudación y Acumulativa	Grupo Acumulativa
	Superficie de construcción, carece de red micrográfica bien desarrollada. La topografía es suave y poco erosionada	Superficie construida, al afectar por hidrodenudación laminar, en fajas y cárcavas. Los depósitos piroclásticos no volcánicos presentes, se incluyen en la Formación Cuernavaca.	Áreas constituidas principalmente por la acumulación de depósitos aluviales constituidos por arenas y limos.
VEGETACIÓN USO DEL SUELO	Suelos eridgano, Suelos de tipo Bosque mediano de montaña. Área total: 18500 ha. Selva Baja caducifolia. Área total: 579.66 ha. Agricultura de temporal-pastoral. Área: 520.00 ha.	Agricultura de Temporal, Pastoral. Área total = 3311.40 ha. Pastoral (Industria) Agricultura. Área total = 1001.25 ha. Selva Baja caducifolia. Área total = 1412.10 ha. Zonas Urbanas-Ortal. Área total = 4937.77 ha.	Selva Baja caducifolia. Área total = 793.15 ha. Agricultura de Temporal. Área total=367.65 ha.
TIPO DE SUELO	En general predominan suelos jóvenes con desarrollo frías, de textura gruesa o media.	Constituidos por suelos bien desarrollados, en su generalidad presentan horizontes arafijos. Los suelos que se son desarrollados sobre coladas de lava, en general muestran poco desarrollo estandarizado, las texturas medias y finas son dominantes.	Predominan los suelos con horizontes arafijos y horizontes arafijos. La textura gruesa es la más común.
CLASIFICACION	El material volcánico es predominante, aunque también existen lavas basálticas y micolíticas. El aluvión es escaso en esta unidad.	Las lavas basálticas, las cenizas volcánicas, tobas blancas y el aluvión se encuentran en esta unidad muy asociados.	Predominan los materiales aluviales recientes, así como las coladas de lava y de modo secundario, las cenizas volcánicas.
CLASIFICACION	CU (Ha) (w) 1g - Estación: Huamantla Promedio anual: 12.1°C Promedio anual: 1511.6 cm Regimen: Cálido	ACU (w) (w) - Estación: Cuernavaca Promedio anual: 20.7°C Promedio anual: 1496.5 cm Regimen: Cálido	AVU (w) (w) (w) - Estación: Toluca Promedio anual: 27.3°C Promedio anual: 2111.0 cm Regimen: Subtropical

Tabla No.4. Caracteres Diagnóstico de las Zonas de Agresividad Climática. en el Área de Estudio, Flanco Meridional de la Sierra Chichinautzin, Edo. de Morelos.

Zona de Agrea. Climát.	Sist. terres.	Altitud m.s.n.m.	Tipo climático	Temp. media anual	Prec. total anual	Intens. promedio anual	Distribución y % de prec. anual.	Factor R'	Clase de Erosiv.	Estación Meteorológica
ZI	ST1	1800 a 2500	Cb(w2)(w)ig (*)	12 a 18°C	1200 mm.	7.963	mayo-octubre 91.67	256.50	Moderada	E1-Huitzilac
ZII	ST2	1450 a 1800	A(C)w2(w)ig (**)	18°C 21°C	1000 mm 1200 mm	7.052	mayo-octubre 94.71	202.70	Moderada	E2-Cuernavaca
ZIII	ST3	1450	(A)ca(w1)(w) (i')gw" (***)	21°C	1000 mm	5.113	mayo-octubre 94.13	155.52	Moderada	E3-Temixco
			Awo(w)(i')gw" (****)	18°C	1400 mm	5.227	94.25			E4-Yautepec
				18°C	1400 mm	7.959	94.64	164.90	Moderada	E5-Tepoztlán

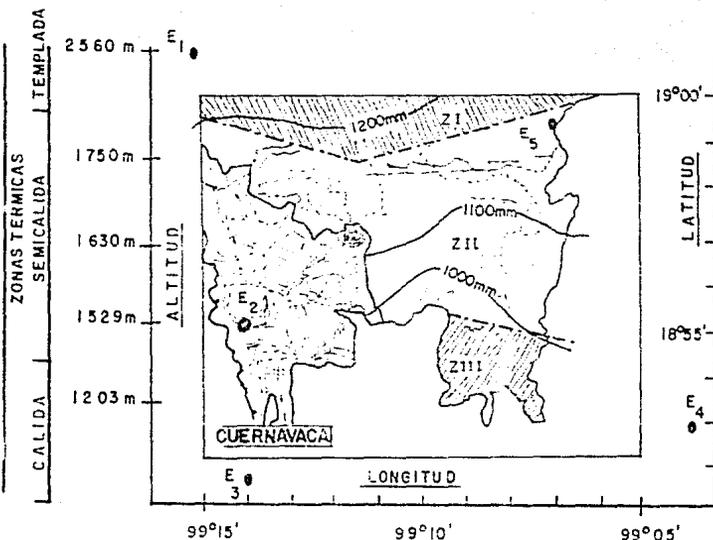
(*) Clima templado con verano fresco.

(**) Semicálido.

(***) Cálido.

(****) Cálido subhúmedo.

FIG. 2.- ZONAS DE AGRESIVIDAD CLIMATICA



SIMBOLOGIA

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| Estación Meteorológica | E _i |
| Zona de agresividad climática | Z ⁱ |
| Isoyetas | 1000mm |
| Factor C = 256.50 | |
| Factor C = 202.70 | |
| Factor C = 155.52 (Promedio) | |

REGIMENES DE HUMEDAD EDIFICA:

- ST1 = Udico
- ST2 = Ustico
- ST3 = Ustico - Xérico

DEFICIT DE HUMEDAD EDIFICA:

- ST1 = 100 - 200 mm. anuales
- ST2 = 200 - 400 mm. anuales
- ST3 = > 400 mm. anuales

derarse en el presente trabajo, ya que corresponde a una condición climática muy especial, atípica para el área de estudio.

Con base a los resultados obtenidos, se pudieron delimitar tres zonas de agresividad climática, debido a que los valores estimados para las estaciones E3 y E4, son estadísticamente iguales, por lo que desde el punto de vista cartográfico, constituyen sólo una zona denominada Temixco (figura 2). Las principales características diagnóstico de cada zona cartografiada, están resumidas en la tabla 4.

Es evidente que el valor de R' para cada una de las zonas, varía en proporción directa con la cantidad, distribución e intensidad de la lluvia. Estas tres características de la lluvia, están claramente determinadas por la geografía, altitud y dirección de los vientos, que según Vidal (1980), se cargan de humedad en el Golfo de México.

B. Longitud y Gradiente de Pendiente.

En el área de estudio existen cuatro clases de pendientes, a veces asociadas, denominadas según el Manual 18 (USDA-SCS, 1985): Clase a, plano a casi plano de 0 a 3%; clase ab, ligeramente ondulada de 4 a 11%; clase b, ondulada a carril de 12 a 25% y clase bc, montosa de 26 a 35%.

La clase a, es la más predominante en el ST3 y de modo secundario en ST2, aquí ocupa un 45% de la superficie total y se caracteriza localmente por presentar pendientes simples

de 3% como promedio.

La clase ab, ocupa el 55% de la superficie de ST₂, donde está restringida su distribución (fig. 3). Esta clase muestra pendientes que oscilan de casi a nivel a moderadas, y otras mas complejas que van de ligeramente onduladas a quebradas. Las pendientes promedio son de 8 a 10%.

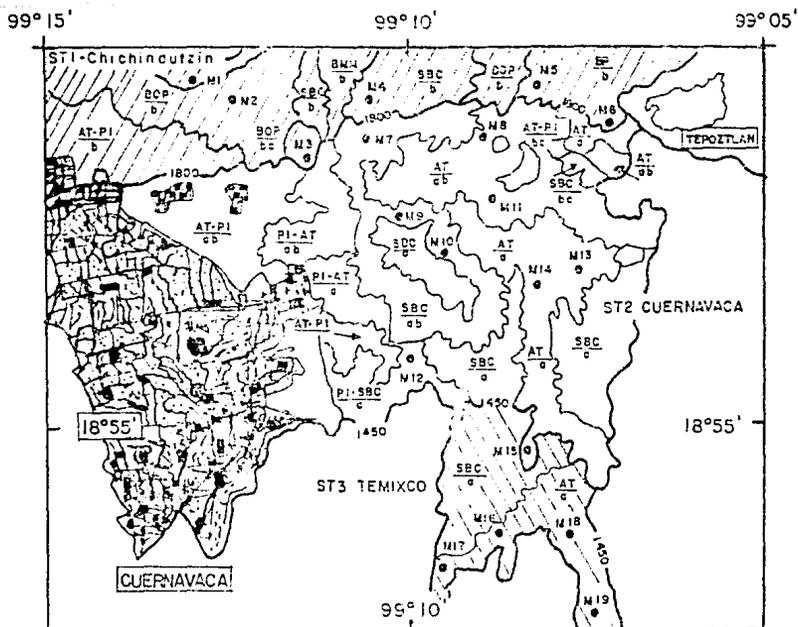
La clase b, se presenta únicamente en ST₁ en el 30% de su superficie (fig. 3), exhibe pendientes simples que varían de moderadas a fuertes, también complejas quebradas y en ocasiones montañosas. Las pendientes promedio son de 15 y 20% respectivamente.

La clase bc, está representada solo en el 5% del área total del ST₁ y en pequeñas áreas del ST₂ (fig. 3), se caracteriza por sus pendientes onduladas y escarpadas, y otras mas complejas que van de moderadas a muy escarpadas. En promedio son de 28 y 35% respectivamente.

Los parámetros morfométricos, clase y valoración de cada una de las pendientes determinadas en campo, se presentan en la tabla 5. Como se observa, ST₁ muestra los valores paramétricos mas altos y en consecuencia los de mayor riesgo a la erosión, en tanto que el ST₂ tiene valores muy bajos, significativos de un índice potencial bajo de erosión.

Al analizar e integrar el factor relieve con la vegetación del área de estudio, se evidenciaron 24 unidades cartográficas; 7 para el ST₁ (Chichinautzin), 15 para el ST₂ (Cuernavaca) y 2 para el ST₃ (Temixco).

FIG. 3.- TOPOGRAFIA Y USO DEL SUELO



SIMBOLOGIA

SISTEMAS TERRESTRES

- ST1 - Chichinutzin
- ST2 - Cuernavaca
- ST3 - Temixco

USO DEL SUELO

- BOP - Bosque de encino-pino
- BP - Bosque de pino
- BMM - Bosque mesófilo de montaña
- SBC - Selva baja caducifolia
- AT-PI = Agricultura de temporal-pastizal inducido
- AT - Agricultura de temporal
- PI-AT - Pastizal inducido-agricultura de temporal
- PI-SBC - Pastizal inducido-selva baja caducifolia

-  = Tierras urbanas
-  = Tierras de cárcavas
-  = Suelos antrópicos

- 2000 - = Curvas de nivel
- M - Estacion de medición del declive

Tabla 5. Valorización de la longitud y gradiente de pendientes en el Flanco Meridional de la Sierra Chichinautzin, Estado de Morelos.

Sistema Terrestre	Sitio de Medición	Altitud m.s.n.m.	Inclinación en %	Longitud en m.	Orientación	Valor Paramétrico	Clase
Chichinautzin ST1 3080.84 ha.	M1	2100	25	20	S15 ^o E	5.00	b
	M2	2000	17	52	S20 ^o E	4.50	b
	M3	1950	33	25	S35 ^o E	8.00	bc
	M4	1900	20	40	S25 ^o E	5.00	b
	M5	1850	20	30	S02 ^o E	4.00	b
	M6	1800	22	35	S10 ^o E	4.50	b
Cuernavaca ST2 11262.61 ha.	M7	1750	16	48	S23 ^o E	3.50	ab
	M8	1700	14	65	S05 ^o E	3.50	ab
	M9	1650	12	52	S12 ^o E	2.30	ab
	M10	1600	10	60	S07 ^o E	2.00	ab
	M11	1600	5	79	S09 ^o E	1.60	ab
	M12	1500	5	60	S11 ^o E	0.80	a
	M13	1500	4	60	S03 ^o E	0.80	a
	M14	1480	3	70	S07 ^o E	0.40	a
	M15	1450	2	80	S02 ^o E	0.30	a
Temixco ST3 1166.60 ha.	M16	1430	3	95	S03 ^o E	0.38	a
	M17	1410	3	100	S04 ^o E	0.40	a
	M18	1400	2	105	S02 ^o E	0.30	a
	M19	1400	2	110	S02 ^o E	0.30	a

C. Factor Erodabilidad del Suelo.

La susceptibilidad del suelo a la erosión y la agresividad climática son probablemente los dos factores físicos más importantes que afectan la magnitud de la erosión del suelo, por lo que su cuantificación resultó básica para entender los procesos de hidrocrosión que se presentan en el área.

En la tabla 6, se muestran los valores de K para cada sitio estudiado, en unidades del Sistema Internacional (t/ha/h/MJ/mm). Como puede observarse, fueron determinados 16 grados de erodabilidad. Los valores oscilan de 0.20 a 0.62, lo que resulta indicativo de la disminución de la erosividad de la lluvia de un 38 a 80%. Estos valores pudieron agruparse de modo característico para cada Unidad de suelos. Es decir, los Phaeozem mostraron valores bajos de K que fluctuaron de 0.20 a 0.23, los Luvisoles de 0.43 a 0.47. En tanto que los Vertisoles, Cambisoles, Andosoles y Regosoles presentaron los valores más altos, comprendidos de 0.50 a 0.62.

Con base en el análisis de correlación, las variables más importantes que determinaron los valores de K en estas Unidades son, en orden de importancia: (1) Forma, tamaño y desarrollo de la estructura ($R=0.9386$); (2) Contenido de materia orgánica ($R=-0.8004$); (3) Porcentaje de limos y arenas muy finas ($R=0.7980$); (4) Velocidad de la permeabilidad ($R=-0.6959$) y (5) Porcentaje de arcillas ($R=-0.5350$). Los porcentajes de arenas, así como la relación mecánica que muestra cada Unidad, dieron valores de correlación poco significativos con respecto al valor de K.

Tabla 6. Valorización del factor ercoabilidad (K), en los suelos de Área de estudio Pleno Meridional de la Sierra Chichinautzin, Estado de Morelos.

Sistema terrestre	Sitio de muestreo	Clave de Unidad	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.							Clases de Suelos.
			% de limo - arenas muy finas.	Arena %	Permeabilidad (cm/h)	Estructura	Materia Orgánica %	Valor de K		
Chichinautzin ST1	M1	To	50 + 20 = 70	20	Lenta-Moderada-4	Bloques-4	3.0	0.60	Andosol órico	
	M2	Sda	45 + 22 = 67	21	Lenta-moderada-4	Bloques-4	3.1	0.56	Cambisol cástrico	
	M3	Tn	45 + 26 = 71	22	Lenta-moderada-4	Bloques-4	3.5	0.57	Andosol húmico	
	M4	To	52 + 18 = 70	22	Lenta-moderada-4	Bloques-4	2.9	0.60	Andosol órico	
	M5	Lor	25 + 25 = 50	16	Moderada-3	Bloques-4	2.4	0.47	Luvisol órico	
	M6	Lor	28 + 23 = 51	20	Moderada-3	Bloques-4	2.5	0.45	Luvisol órico	
Cuernavaca ST2	M7	Hlc	20 + 15 = 35	30	Moderada-3	granular-3	4.0	0.20	Phaeozem léptico	
	M8	Sc	28 + 25 = 53	20	Moderada-3	Bloques-4	2.5	0.40	Cambisol órico	
	M9	Hh	22 + 14 = 36	31	Moderada-3	Granular-3	4.1	0.20	Phaeozem pélico	
	M10	Ler	29 + 22 = 51	22	Moderada-3	Bloques 4	2.5	0.45	Luvisol róico	
	M11	Vep	30 + 15 = 45	16	Lenta-5	Masiva-4	2.0	0.50	Vertisol pélico	
	M12	Hhv	22 + 13 = 35	30	Moderada-3	Granular-3	3.9	0.23	Phaeozem vértico	
	M13	Hlc	25 + 14 = 39	31	Moderada-3	Granular-3	4.0	0.21	Phaeozem léptico	
	M14	Hhv	26 + 13 = 39	28	Moderada-3	Granular-3	3.9	0.22	Phaeozem vértico	
	M15	Re	55 + 25 = 75	16	Lenta-moderada-4	Sin estruc.	2.3	0.52	Regosol órico.	
Temixco ST3	M16	Vep	32 + 14 = 46	17	Lenta-5	Masiva 4	2.2	0.50	Vertisol pélico	
	M17	Vec	30 + 17 = 47	15	Lenta-5	Masiva-4	2.1	0.52	Vertisol órico	
	M18	Vep	29 + 16 = 45	16	Lenta-5	Masiva-4	1.9	0.54	Vertisol pélico	
	M19	Vec	29 + 17 = 46	19	Lenta-5	Masiva-4	2.1	0.53	Vertisol órico	

Las clases de estructura y Permeabilidad son de acuerdo al Manual 16, USDA (1965).

Lenta = 0.13 - 0.51 cm/h

Lenta-moderada = 0.51 - 2.03 cm/h

Moderada = 2.03 - 6.35 cm/h

Los resultados obtenidos para este factor, no obstante que son congruentes con los valores promedio que propone ARS (Servicio de Investigación Agrícola, USDA, 1990), para las clases texturales y suelos estudiados, en este trabajo se consideran como valores relativos, ya que constantemente son alterados por efecto de las prácticas agrícolas y de la energía cinética de la lluvia.

(a) Diagnósis de los suelos estudiados.

Con base en la metodología utilizada fueron determinadas 13 unidades cartográficas de suelos, representativas del área de estudio (figura 4). Cada unidad cartográfica está constituida por una a tres unidades de suelos. Existen al menos siete unidades taxonómicas de suelos, las cuales según FAO-UNESCO (1988), están representadas por Andosoles (T), Regosoles (R), Cambisoles (B), Vertisoles (V), Luvisoles (L), Phaeozem (H) y Litosoles (I). Estas Unidades se distribuyen espacialmente de la siguiente forma:

1. Sistema terrestre Chichinautzin.- Los suelos predominantes están representados por Andosoles, que se encuentran desde los 1,700 m.s.n.m. a más de 2,000 m. Estos suelos están compuestos localmente por las Subunidades óxica y hámica, siendo la primera que se presenta con mayor frecuencia. Existen además otras dos unidades que son Cambisoles y Luvisoles. En la tabla 7, se muestran las principales características diagnósticas de los perfiles tipo para este sistema terrestre.

2. Sistema terrestre Cuernavaca.- Básicamente se constituye de seis unidades de suelos, que por su frecuencia y

Tabla 7. Características físicas, químicas de los perfiles descritos en el Área de Estudio. Flanco Meridional de la Sierra Chichinautzin Estado de Morelos.

Perfil	Profun. (cm)	Horizon te.	Color seco	Color húmedo	Clase textural	Densid. Aparen.	Mater. orgán.	pH	C.I.C.T. meq/100 g	BASES INTERCAMBIABLES meq/100 g				-100
										Ca++	Mg++	Na+	K+	
M1	0 - 20	A ₁	10YR6/3	10YR4/3	M1a	0.83	3.00%	6.3	37.90	12.3	4.0	3.9	2.3	97.29%
M1	20 - 50	(b)	7.5YR3/3	7.5YR3/2	C	0.90	2.50%	6.0	35.50	11.7	3.6	2.9	2.3	97.79%
M1	90 - 150	C	10YR6/5	10YR5/4	Ma	1.11	1.20%	5.7	19.20	7.2	2.1	2.7	1.9	72.40%
M6	0 - 32	A ₁	7.5YR6/5	7.5YR6/5	Mr	1.25	2.60%	7.0	28.60	10.5	3.2	3.0	2.5	87.13%
M6	32 - 100	E _{2t}	5YR6/4	5YR3/3	Mr	1.25	0.89%	6.7	32.00	15.8	5.0	3.2	2.9	84.05%
M6	100 - 170	C	5YR6/5	*	Grava A	1.36	0.22%	6.9	*	*	*	*	*	*
M12	0 - 35	A ₁	10YR2/2	10YR1/1	C	1.15	3.90%	7.5	33.00	18.7	5.20	3.2	2.9	90.90%
M12	35 - 50	E ₂	10YR5/4	10YR4/2	Mr	1.20	1.15%	7.7	30.00	20.1	4.00	3.1	2.8	100.00%
M12	90 - 150	C	10YR6/6	10YR5/5	M1r	1.27	0.42%	7.8	18.70	10.0	3.00	1.6	1.3	65.03%
M18	0 - 30	A	10YR3/1	10YR1/1	Mr	1.18	1.90%	7.7	42.50	22.60	4.69	4.3	3.7	83.50%
M18	30 - 55	A	10YR3/3	10YR3/2	Mr	1.25	1.70%	7.6	39.70	23.80	5.25	4.0	3.5	92.05%
M18	55 - 110	A	10YR3/3	10YR3/3	Mr	1.32	1.30%	7.6	36.70	25.60	5.30	2.5	1.9	91.73%
M18	110 - 170	A	10YR7/7	10YR6/7	Mr	1.32	1.10%	7.5	37.00	26.50	5.60	2.5	2.0	98.92%

* no determinado.

M1a = Migajón limoarenoso.

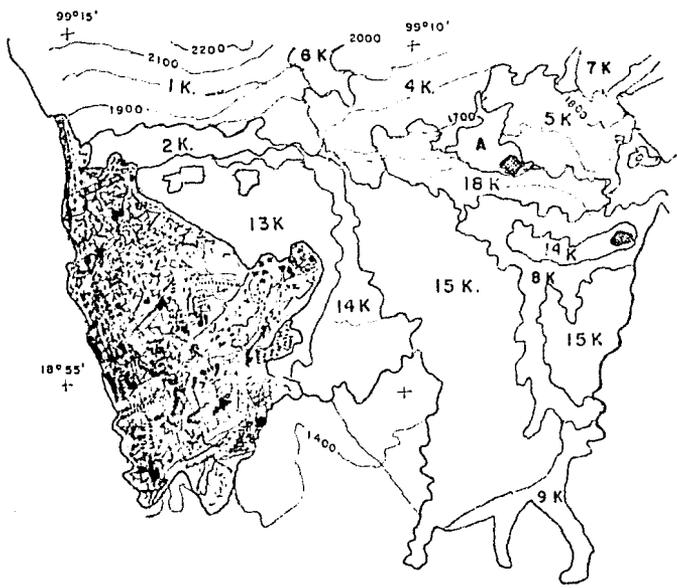
C = Franco

Ma = Migajón arenoso

Mr = Migajón arcilloso

M1r = Migajón arcillolimoso.

S/T = Saturación de bases.



- 1 K = To + Hh + Bda
- 2 K = Hhv
- 4 K = Th + Hh + I
- 5 K = Hlc + Lc
- 6 K = I + Bc + Th
- 7 K = Th + Bc
- 8 K = Vep + Hhv
- 9 K = Vep
- 13 K = Hlc + Lc
- 14 K = Hlc + Hhv
- 15 K = I + Re
- 18 K = Lc + Hlc
- A = Antrosales

FIG. 4.- UNIDADES CARTOGRAFICAS DE SUELOS

distribución, destacan los Luvisoles y los Phaeozem. En menor proporción están presentes Cambisoles, Vertisoles, Regosoles y Litosoles; todos ellos derivados de la alteración de rocas basálticas y de tobas básicas. En la tabla 7, se muestran las características fisicoquímicas del perfil tipo para esta topoforma.

3. Sistema terrestre Tenixco.- Este sistema está constituido predominantemente por Vertisoles, Litosoles y algunas Rendzinas. En esta zona, los suelos tienen un uso agrícola muy intenso.

(b) Caracterización de los perfiles tipo.

Perfil M ₁ :	Andosol Cérico.
Situación:	Zona forestal (QP)
Topografía:	Montuosa.
Roca madre:	Cenizas volcánicas
Clima:	Templado húmedo.
Altitud:	2,100 m.s.n.m.
Morfología:	
Al (0 - 20 cm)	Horizonte óxico, de color 10YR 6/3 en seco y 10YR 4/3 en húmedo, textura limo-arenosa; estructura en bloques medios, friables, de desarrollo redondeado, reacción fuerte a la fenolftaleína. Contacto gradual e irregular, raíces abundantes.
(B) (20-90 cm)	Horizonte cámbico de color 7.5YR 3/3 en seco y 7.5YR 3/2 en húmedo, textura franca, estructura angular media y friable, concreciones pequeñas de CaCO ₃ , reacción fuerte a la fenolftaleína, raíces abundantes, contacto claro e irregular.
C (90-150 cm)	Capa de piroclásticos alterados de color 10YR 6/3 en seco, sin estructura, friable, gruesa, de textura arenosa, sin reacción y con raíces abundantes.

Perfil M6: Luvisol crómico.
Situación: Zona forestal (QP)
Topografía: Ondulada.
Roca madre: Basaltos.
Clima: Templado húmedo.
Altitud: 1,600 m.s.n.m.

Morfología:

- A₁ (0 - 32 cm) Horizonte ócrico de color 7.5YR 4/5 en húmedo, textura fina, estructura en bloques angulares y bloques subangulares finos y medios, bien desarrollados, adhesivos y plásticos, raíces finas abundantes. Contacto gradual.
- B_{2t} (32-100 cm) Horizonte argílico de color 5YR 3/3 en húmedo, arcilloso, estructura angular, adhesivo y plástico, con películas arcillosas, incremento en el contenido de arcilla con la profundidad. Raíces leñosas abundantes, contacto gradual.
- C (100-170 cm) Saprolita muy alterada, de color rojo, textura gravosa, sin estructura, raíces leñosas abundantes.

Perfil M₁₂: Paeozem háplico vértico.
Situación: Selva baja caducifolia
Topografía: Plana
Roca madre: Aluvión antiguo
Clima: Subhúmedo.
Altitud: 1,500 m.s.n.m.

Morfología:

- A₁ (0-35 cm) Horizonte mólico, de color negro 10YR 1/1 en húmedo y 10YR 2/2 en seco. Textura media, estructura granular, suave y friable, ligeramente adhesivo, poroso, con reacción al HCl, muy rico en restos orgánicos. Contacto gradual e irregular.
- B₂ (35-90 cm) Horizonte cástico de color oscuro 10YR 4/2 en húmedo y 10YR 5/4 en seco, textura fina, esmectítico, estructura subangular, firme y duro, adhesivo y plástico, concreciones de CaCO₃ abundantes, raíces abundantes con grietas y fisuras. Contacto claro e irregular.
- C (90-150 cm) Material aluvial antiguo, de color gris, rico en CaCO₃, gravoso, casi suelto, adhesivo y plástico, con moteado fino, concreciones gruesas y polvo de CaCO₃. Raíces abundantes.

Perfil M₁₈: Vertisol pélico.
Situación: Zona agrícola de temporal.
Topografía: Plana
Roca madre: Basalto.
Clima: Cálido subhúmedo.
Altitud: 1,400 m.s.n.m.

Morfología:

- A_p (0 - 30 cm) Horizonte antrópico de color negro 10YR 1/1 en húmedo y 10YR 3/1 en seco, de textura arcillosa, masivo, duro, muy firme, adhesivo y muy plástico, con reacción al HCl. Contacto gradual.
- A₁₂ (30 - 55 cm) Horizonte de color negro 10YR 3/2 en húmedo y 10YR 3/3 en seco, arcilloso, masivo, duro, adhesivo y muy plástico, muestra grietas gruesas y películas de fricción, reacción fuerte al HCl. Contacto gradual.
- A₁₃ (55- 110 cm) Similar al anterior pero con mayor densidad de agrietamiento y mayor reacción al HCl. Contacto gradual.
- AC (110 - 170 cm) Horizonte de color gris (10YR 6/7 en húmedo y 10YR 7/7 en seco), arcilloso, calcáreo, gravoso, sin estructura, con moteado ocre, ligeramente adhesivo y plástico. Mal drenado.

D. Factor Vegetación, Manejo y Explotación.

El sistema Chichinantlán ST₁, se caracteriza por una aptitud natural de uso forestal. Comprende una superficie de 3,050.64 ha. de las cuales aproximadamente un 64% son de bosque templado, 19% de selva baja caducifolia, 14.5% dedicadas a agricultura de temporal y 2.5% con uso urbano. En la figura 3, se muestra la distribución espacial de la vegetación, en tanto que en la tabla 8, se indican sus porcentajes de cobertura, así como su valoración paramétrica.

El sistema Cuernavaca ST₂, ocupa una superficie de 11,262.62 ha. de las cuales un 70% se dedicaban hasta 1960 a la agricultura de temporal y riego; con base en las fotografías aéreas se estimó una reducción de 85 de esta superficie, debido al incremento urbano, construcción e industrialización. Por lo tanto el área urbana representa cerca del 30% de la superficie total y sólo el 85 conserva vegetación natural.

El sistema Temixco ST₃ está representado en una superficie de 1,166.60 ha. de las cuales un 63% está cubierto por selva baja caducifolia sobre litosoles, y un 7% muestra uso agrícola de temporal (fig. 3).

(a) Cobertura Vegetal.

El uso de fotografías aéreas y de imágenes Landsat TM en las bandas MSS 4, 5, 6 y 7; además de mostrar claramente la distribución y tipos de vegetación, pudo diferenciar cinco clases de cobertura para las áreas de bosques templados y pacionales y tres clases para las zonas de selva baja caducifolia. En la tabla 8, se muestran sus valores paramétricos.

Tabla 8. Valores de Vegetación, Manejo y Explotación de la zona de estudio, estado de Morelos.

Sistema terrestre	Sitio	Altitud m.s.n.m.	Uso del suelo.	Cobertura %	Clase de cobertura	Valor Paramétrico.	
Chichinautzin.	M1	2100	BQP	95	I	0.006	
	M2	2000	BQP	75	II	0.010	
	M3	1950	BQP	60	III	0.180	
	M4	1900	SEC	80	I	0.006	
	ST ₁	M5	1850	EP	40	IV	0.160
		M6	1800	EP	40	V	0.200
Cuernavaca	M7	1750	SEC	70	II	0.015	
	M8	1700	AT	50		0.470	
	ST ₂	M9	1650	SEC	95	I	0.006
		M10	1600	SEC	20	I	0.006
	M11	1600	AT	60		0.420	
	M12	1500	PI-SEC	40	III	0.180	
	M13	1500	AT	50		0.470	
	M14	1480	AT	50		0.470	
	M15	1450	AT	65		0.420	
	Tehuacan	M16	1430	AT	40		0.511
M17		1410	AT	50		0.470	
ST ₃		M18	1400	AT	50		0.470
		M19	1400	AT	50		0.470

BQP = Bosque de encino pino.
 EP = Bosque de pino
 SEC = Selva baja caducifolia.
 PI = Pastizal inducido.
 AT = Agricultura de temporal.

Los sitios con cobertura mayor al 80% presentaron poca o nula erosión, en contraste; los que tuvieron coberturas menores a 40% localizados en laderas denudatorias o en superficies complejas de lava y piroclásticos, siempre evidenciaron la presencia de erosión laminar muy activa, en la cual la mayoría de los suelos han sido decapitados.

La banda MSS-5 dió un contraste marcado entre las zonas cultivadas y sin cultivar, definiendo nítidamente los límites de las áreas cubiertas por selva y bosques templados. Así mismo el uso de imágenes en falso color, obtenidas para las épocas de lluvia o de sequía, aportaron información relevante para diferenciar la vegetación permanente de la temporal; así como las áreas de agricultura de temporal de las de riego.

E. Factor Conservación del Suelo. (P)

Las investigaciones iniciadas desde 1956 en los campos experimentales de La Crosse (Wisconsin), Bethany (Missuri), Urbana (Illinois) y principalmente en Lafayette (Indiana), para evaluar el efecto de las prácticas de conservación: fueron diseñadas para aplicarse a las condiciones de una agricultura avanzada que cuente con las medidas adecuadas de protección contra erosión. Obviamente los resultados de estas investigaciones, no son viables para su extrapolación a otras zonas donde no se ha alcanzado un nivel de tecnología agrícola tan avanzado, como es el caso de la zona de estudio (Tabla 9). En esta parte del estado de Morelos la única práctica de conservación que se emplea actualmente, es el surcado al contorno y que consiste en trazar surcos de 8 cm perpendicular a la pendiente

natural del terreno, siguiendo de modo empírico las curvas de nivel. Esta práctica se utiliza indiscriminadamente para cualquier pendiente y tipo textural de suelo. Según observaciones de campo, proporciona una protección alta contra lluvias aisladas de baja intensidad (25 mm/h = 254650 kgm/ha-mm), sin embargo es ineficiente contra las lluvias torrenciales que llegan a destruir la mayoría de los surcos. Por otra parte, se ha observado que esta práctica muestra su mayor eficiencia en áreas con pendientes de 2 a 3%; en pendientes más pronunciadas, los surcos tienen muy poca capacidad para retener el agua y el suelo, en consecuencia la formación de pequeñas ríogolas o canales es frecuente.

En este estudio, se utilizaron los valores paramétricos para el factor P, propuestos por el Colegio de Posgraduados de Chapingo (tabla 9), debido a que se consideró lo más representativo para las condiciones del área. Estos valores fueron de 0.39 para las áreas agrícolas que tienen surcado al contorno y de 1.0 para los sitios con pendientes fuertes y vegetación natural, pero donde no existen medidas de conservación.

Tabla 9. Valores del Factor Prácticas de Conservación.

Lafayette, Indiana 1956		Arnoldus (1977) y C.P. (1981)	
Pendiente %	Cultivo a nivel	Tipo de Obra	Valor de P
1.1 - 2.0	0.60	Surcado al contorno	0.39
3.1 - 7.0	0.39	Terraza de base ancha	0.27
7.1 - 12.0	0.60	Terraza de base ancha (OP)	0.66
12.1 - 18.0	0.39	Terraza de base ancha BAH	0.70
12.1 - 24.0	0.39	Terraza de contrapendiente	0.18
		Terraza de canal ancho	0.40
		Terraza de banco	0.14

F. Litología: Pérdida Permisible de Suelo.

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 (Mogina, 1959). Los suelos heredan muchas características físicas, químicas y mineralógicas de la roca madre, lo cual determina muchas de sus propiedades edáficas, como la textura, estructura y drenaje interno. Estas características son básicas para definir el potencial de erodabilidad de cualquier suelo. De hecho, resulta indispensable conocer los aspectos litológicos de una región para poder evaluar potencialmente el riesgo de erosión de los suelos y sus pérdidas permisibles.

De acuerdo a los datos obtenidos por los métodos de teledetección y a las observaciones realizadas en campo, el área de estudio está constituida geológicamente por rocas volcánicas y piroclásticas, además de calizas en una pequeña proporción. Localmente la actividad volcánica está representada por coladas de lava, brechas y deposiciones intermitentes de tefra; las cuales no sólo provocaron el sepultamiento de algunos suelos derivados de los materiales basálticos y metamórficos próximos a los centros de erisión, sino que además generaron una pedogénesis regresiva en muchos otros, en los cuales se observan procesos de haploidización, rejuvenecimiento, rareación y retraso en la formación de horizontes superiores. Estos procesos edáficos han sido considerados como típicos de las zonas geográficas con una intensa actividad tectónica y volcánica y les denominan procesos de edafoturbación. Cualquiera tipo de edafoturbación provoca siempre un mayor riesgo de de-

gradación del suelo (Johnson y Watson, 1987).

Las etapas y procesos de intemperismo y alteración biogeoquímica en las rocas volcánicas, se denota por la presencia de un mineral o grupo de minerales tipo. El alofano, los sesquióxidos y amorfos "prohalocisíticos", así como la haloisita, son los productos de alteración de las tefras. La montmorillonita proviene de los basaltos y la hornblenda, olivino, piroxenos, anortita y analcita, provienen de rocas básicas y megacrifosadas. Estos minerales son comunes en todas las zonas volcánicas del país que presentan condiciones de clima templado.

La naturaleza fisicoquímica del material parental o roca madre, como son sus porcentajes de minerales estables al intemperismo, su área específica por unidad de peso, composición textural, estructura, densidad, porosidad y conductividad hidráulica; determinan la capacidad y velocidad de formación del suelo, por lo tanto las pérdidas permisibles de este recurso por erosión acelerada. A medida que el material parental (roca, aluvión, coluvión), sea más resistente al intemperismo físico, químico y biológico, los suelos formados por tales materiales en climas templados son de menor espesor, débil desarrollo y mayor susceptibilidad a la erosión natural o acelerada. Cuando la velocidad e intensidad de la erosión es mayor que la velocidad e intensidad de la alteración edáfica, el suelo se degrada severamente, evoluciona lentamente y puede desaparecer (Barth in Kirkby y Morgan, 1984).

No obstante, es conveniente señalar que las características de los materiales parentales (roca, aluvión, coluvión) heredan a

Tabla 10. Determinación de Pérdidas Permisibles de Suelo en el Área de Estudio, Flanco Meridional de la Sierra Chichinautzin, Estado de Morelos.

Con base en la información aportada por el Servicio de Conservación de Suelos, USDA, 1977.

Sitio	Perfil: Área de Influencia	Profundidad (cm)	Roca Baseal	P. S. P. (")				
				11	9	7	4	2
M1	Tc - ST1	150	Tefra	X				
M2	Ed - ST1	90	Andesita		X			
M3	Th - ST1	150	Tefra	X				
M4	To - ST1	70	Tefra			X		
M5	Lc - ST1	200	Basalto	X				
M6	Lc - ST1	170	Basalto	X				
M7	Hlc - ST2	150	Basalto	X				
M8	Ec - ST2	90	Andesita		X			
M9	Hh - ST2	100	Basalto			X		
M10	Lc - ST2	150	Basalto	X				
M11	Vep - ST2	150	Aluvi6n	X				
M12	Hhu - ST2	150	Basalto	X				
M13	Hlc - ST2	150	Toba	X				
M14	Hlv - ST2	150	Basalto	X				
M15	Re - ST2	50	Coluvi6n					X
M16	Vep - ST3	150	Basalto	X				
M17	Voc - ST3	185	Aluvi6n	X				
M18	Vep - ST3	150	Basalto	X				
M19	Vec - ST3	150	Basalto	X				

(") Pérdida de Suelo Permisible.

los suelos, determinan, en gran parte su desarrollo y erodabilidad. Sin embargo estas características pueden ser influidas e incluso modificadas fuertemente por otros factores como son: (1) clima, (2) posición topográfica, (3) estructura y ageración del suelo, (4) contenido de materia orgánica, (5) composición textural, (6) permeabilidad y (7) cobertura vegetal.

Como se observa en la tabla 10, los valores estimados de Pérdida Permisible de Suelo, indican claramente que para los suelos de la zona, sólo es aceptable perder menos de 11 ton/ha/año, para mantener el equilibrio intemperismo-formación del suelo-erosión.

8. INTERPRETACION.

Con base a la metodología empleada en esta tesis, fué posible interpretar algunos aspectos sobre la génesis y dinámica de la erosión acelerada causada por el hombre y la erosión natural de la zona:

La magnitud de los eventos exógenos y principalmente endógenos (volcanismo), que se manifestaron en esta región durante el holoceno-pleistoceno (Frias, 1963), propiciaron cambios en el relieve, clima y biota; así como al inicio de un nuevo ciclo de erosión natural. Durante estos procesos, la cubierta vegetal que protegía al suelo, fue destruida principalmente por la constante deposición de cenizas volcánicas, caídas de lava e incendios. La destrucción de la biota vegetal propició que una parte del suelo fuese removido rápidamente por acción del agua y del viento. La presencia de suelos resultados e de perfiles de suelos truncados y retentados, que son

característicos de un conjunto de procesos edafogénicos muy diferentes a los que predominan hoy en día, y que originan diferentes unidades de suelo, son evidencias claras de este período de erosión natural catastrófica (Lugo, 1984).

Actualmente, la erosión natural continúa manifestándose en la zona, a través de procesos exógenos graduales y lentos, que remodelan constantemente las formas terrestres del paisaje, el cual tiende a estabilizarse. Teóricamente, la reconstrucción, formación y de modo especial la permanencia y evolución de los diferentes sustratos edáficos presentes actualmente en el área, será factible por un tiempo indefinido (Lugo, 1984). Desafortunadamente existe un contraste a este ciclo de erosión natural, que es la erosión acelerada actual y potencial causada por el hombre. En esta zona la erosión acelerada se manifiesta principalmente, a través del proceso de hidroerosión (Gama, 1990) y de modo secundario por soliración.

Ambos procesos resultan como una consecuencia directa de la perturbación del entorno, usualmente producidos por causas antropogénicas de carácter tecnógeno, como son principalmente la destrucción sistemática de la vegetación natural con fines agrícolas o de asentamientos humanos, el uso inadecuado del suelo y del agua. Mas recientemente, por la suburbanización e industrialización contaminantes de todo el ecosistema de la región.

Esas alteraciones del medio por causas inducidas, han provocado además un incremento significativo y constante, en los niveles de degradación física, química y biológica de los suelos estudiados.

Resulta notable que en esta zona existan áreas dedicadas al cultivo desde épocas precolombinas, en las cuales la erosión hídrica está estabilizada, mediante un sistema de taludes que actúan como terrazas. Localmente se han denominado "Pancuantes", y se formaron a través del tiempo por efecto de la deposición y acumulación de materiales erosionados por agua y viento.

9. DESARROLLO DE LA ECUACION MODIFICADA.

El modelo propuesto y modificado en este trabajo, permitió evaluar para cada uno de los 19 sitios estudiados, la relación que existe entre todos los factores que intervienen en el fenómeno de hidroerosión. Se logró estimar lo siguiente: Riesgo de erosión para cada sitio ($R'KLS$), pérdida de suelo permisible (P.S.P.), valores de erosión teórica y actual, valores de uso y manejo actual del suelo (C), valores de erodabilidad (K), de agresividad climática (R'), relieve ($L S$) y prácticas de conservación (P). Con base en estos valores se obtuvo finalmente una indicación numérica aproximada de la erosión promedio en toneladas por hectáreas/año para cada sitio (tabla 11).

10. PREDICCIÓN Y VALORIZACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN, EROSIÓN TEÓRICA Y EROSIÓN ACTUAL.

Como puede observarse en la tabla 11, los resultados han sido ordenados por Unidades Taxonómicas de Suelo, con el propósito de resaltar sus características en común relacionadas con la erosión.

Tabla 11. Valorización del riesgo de erosión, erosión teórica y erosión actual de la zona de estudio en el Flanco Meridional de la Sierra Chichinautzin, Estado de Morelos.

C O L U M N A S .

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Sitio de estudio	Sistema terrestre	Unidad de Suelos	Valor R'	Valor K	Valor LS	Valor C	Valor P	P.S.F. ton/ha/año	Riesgo de erosión ton/ha/año	Erosión teórica ton/ha/año	Erosión actual ton/ha/año
M1	ST1	Tc	256.50	0.60	5.00	0.006	1.00	11.00	769.50	4.61	0.00
M3	ST1	Th	256.50	0.57	6.00	0.160	1.00	11.00	1169.64	210.53	199.53
M4	ST1	To	256.50	0.60	5.00	0.006	1.00	7.00	769.50	4.61	0.00
M2	ST1	Bda	256.50	0.36	4.50	0.010	1.00	9.00	646.38	6.46	0.00
M8	ST2	Bc	202.70	0.40	3.50	0.470	0.69	9.00	283.78	118.70	109.00
M5	ST1	Lcr	256.50	0.47	4.00	0.160	1.00	11.00	482.22	77.16	66.16
M6	ST1	Lcr	256.50	0.43	4.50	0.200	1.00	11.00	496.33	99.26	89.26
M10	ST2	Lcr	202.70	0.45	2.00	0.006	1.00	11.00	162.43	1.00	0.00
M7	ST2	Hlc	202.70	0.20	3.50	0.015	1.00	11.00	141.89	2.13	0.00
M9	ST2	Hh	202.70	0.20	2.30	0.009	1.00	7.00	93.24	0.66	0.00
M12	ST2	Hhv	202.70	0.23	0.60	0.160	1.00	11.00	37.30	6.71	0.00
M13	ST2	Hlc	202.70	0.21	0.50	0.470	0.69	11.00	21.28	8.90	0.00
M14	ST2	Hhv	202.70	0.22	0.40	0.470	0.69	11.00	17.63	7.45	0.00
M11	ST2	Vep	202.70	0.50	1.80	0.420	0.69	11.00	162.43	69.18	57.16
M16	ST3	Vep	155.52	0.50	0.38	0.511	0.69	11.00	29.55	13.43	2.43
M17	ST3	Vep	155.52	0.52	0.40	0.470	0.69	11.00	32.35	13.52	2.52
M18	ST3	Vep	155.52	0.54	0.30	0.470	0.69	11.00	25.20	10.53	1.00
M19	ST3	Vep	155.52	0.53	0.30	0.470	0.69	11.00	24.73	10.32	1.00
M15	ST3	Vep	155.52	0.62	0.30	0.470	0.69	2.00	37.00	14.16	12.00

En las columnas I, II y III, se indica la localización y clasificación de las seis Unidades de Suelos mas frecuentes e importantes en el área de estudio: Andosoles (T), Cambisoles (B), Luvisoles (L), Phaeozem (H), Vertisoles (V) y Regosoles (R).

Los resultados de susceptibilidad a la erosión que muestra cada conjunto de unidades en la columna V, son característicos para cada suelo, lo que valida la hipótesis planteada en esta tesis en lo que respecta a la erodabilidad específica de cada suelo como una propiedad genética. Se observa que los suelos con aptitud forestal como los Andosoles, son de los mas erosionables, con valores de K que varían de 0.57 a 0.60.

Los valores de las condiciones específicas de pendiente (factor L S), están tabulados en la columna VI. Los mas altos y potencialmente los mas riesgosos para el suelo, corresponden en primer término a los Andosoles, seguidos por los Luvisoles y los Cambisoles. Estos valores son consecuencia de la localización geográfica y topográfica de cada unidad en los Sitios Terrestres.

La columna VII, muestra los resultados de Vegetación natural y de manejo y explotación de cultivos. Como se observa los intervalos varían significativamente de 0.006 a 0.911. El primer valor es típico de un bosque o selva no alterados, en tanto que el segundo, corresponde con un área de temporal en que se siembra maíz y se quema el pastoreo. Los valores de prácticas de conservación de 1.00 indican que son nulas, en tanto que el valor de 0.00 corresponde a la práctica de surcado al contorno, que es la mas común para los suelos agrí

colas de la región. Esta práctica da una eficiencia de protección de solo 11% en pendientes menores de 5% y casi nula en pendientes mayores de 10% (Columna VIII).

La Pérdida de Suelo Permisible varía de 2 a 11 ton/ha/año, por lo que el cuidado y protección para todos los suelos estudiados debería ser óptimo. Sin embargo, como se observa en la columna XII, los suelos de los sitios M3, M8, M5, M6 y M11; rebasan considerablemente esos valores.

En la columna X fueron jerarquizados los valores al riesgo de erosión que caracteriza a cada Unidad de Suelo. Estos valores significan hipotéticamente, la pérdida anual de suelo bajo condiciones de parcelas experimentales normalizadas, es decir con una longitud de 22.13 m, pendiente de 9%, barbechadas, sin cobertura vegetal y labradas en sentido de la pendiente. Como se observa, los intervalos varían significativamente de 17.83 a 1169.64 ton/ha/año. El promedio aritmético de riesgo de erosión para Andosoles es de 902.68, 465.08 para Cambisoles, 386.99 para Luvisoles, 62.31 para los Phaeozem, 56.85 para Vertisoles y de 37.70 para Regosoles. Estos datos implican un riesgo de erosión muy alto para Andosoles y Cambisoles, alto para Luvisoles y moderado para los restantes. Este valor es muy relacionado con la ubicación de los suelos y con sus características propias. Puesto que este valor indica el potencial de un suelo a erosionarse en condiciones extremas, se considera muy importante al contemplar medidas preventivas de conservación. Este riesgo implica además, que la tala y deforestación de los bosques o selvas con suelos Andosoles, Cambisoles o Luvisoles, propiciaría la pérdida del suelo a una velocidad de 8 a 15 cm. de espesor por año.

En la columna XI se muestran los resultados de erosión teórica, para lo cual ya se consideraron todos los factores que intervienen en este fenómeno (R^1 , K, L, S, C, P —L1). Como se observa, en los sitios M1, M2, M4, M9 y M10 el riesgo de erosión (columna X), disminuye notablemente, debido a que en estos sitios existe buena cobertura vegetal de bosques o selvas inalterados. En contraste, en los sitios M6, M11, M14, M15, M16, M17, M18 y M19; donde se practica la agricultura de temporal, la diferencia entre el riesgo de erosión y la erosión teórica no es significativa. Estos datos confirman que un bosque o selva inalterados, con cobertura vegetal mayor a 80% brinda al suelo una protección de casi 100%; en tanto que un campo cultivado con maíz, sólo protege de la erosión 50%, considerando que este campo se localice en pendientes menores de 5%. En caso de que las pendientes sean mayores, el porcentaje de protección que el cultivo de maíz proporciona al suelo, disminuye considerablemente.

Finalmente, en la columna XII, se presentan los datos de erosión actual para cada sitio. Esta se estima según el Servicio de Conservación de Suelos (1977), como la diferencia entre la erosión teórica y la pérdida de suelo permisible (PSP). Los resultados indican altos valores de erosión en el sitio M3, propiciada por la tala y quema del bosque y agravada por sus características de pendiente, erodabilidad y precipitación. Para los sitios M5, M6, M8 y M11 se observan valores de erosión altos, por razones similares al anterior; y moderada a ligera en los sitios M12, M16 y M17 como resultado del mal manejo de suelos en la actividad agrícola.

11. RECOMENDACIONES GENERALES.

La eficiencia tan reducida de las prácticas de conservación que se emplean en esta región, así como la creciente superficie erosionada, crean la necesidad de implementar otro tipo de obra que reduzca la longitud de algunas pendientes principalmente en los sitios M3, M4, M6 y M8. Por ejemplo terreras, además fajos y camellones transversales que eviten la escorrentía e incrementen la infiltración. Estas obras disminuirían considerablemente los valores de LS en cada uno de los sitios mencionados, y en consecuencia la pérdida de suelo. Sin embargo la inversión requerida para estas obras es alta, por lo que en terrenos con uso agrícola, un control de la erosión mediante ordenación de cultivos, y manejo combinado de prácticas mecánicas y vegetativas es lo mas deseable. Dentro de las prácticas vegetativas pueden incluirse la incorporación de los residuos de cosecha al suelo, rotación de cultivos, alternando con una cosecha de abono verde a base de leguminosas, que además de restaurar el nitrógeno y la materia orgánica, mejoran la estructura y consecuentemente la erodabilidad de un suelo. Con frecuencia una buena ordenación de cultivos y manejo adecuado resulta, según Hudson (1982), hasta 10 veces mas efectivo para reducir la pérdida de suelo, que el realizar obras de atenuamiento.

En terrenos ondulados o escarpados que sostienen vegetación natural, la erosión disminuye sensiblemente con sólo evitar la tala, quemar y sobrepastoreo. En áreas que muestran erosión en cárcavas, se requieren estudios mas detallados y específicos que evalúen sus causas y soluciones posibles.

CONCLUSIONES

1. La revisión bibliográfica realizada, permite inferir que la hidroerosión del suelo, en México, es el problema ambiental mas grave que existe actualmente. Este fenómeno afecta en diferentes grados a un 75% de la superficie del país, propiciando además la contaminación y degradación aceleradas de otros recursos naturales.

2. La carencia de datos cuantitativos y detallados sobre los factores físicos y tecnogénicos que originan la erosión acelerada de los suelos de territorio nacional, ha sido el principal impedimento para generar una metodología confiable para la predicción, valorización y control de este fenómeno.

3. Los resultados obtenidos a través del análisis factorial del fenómeno de hidroerosión, son aproximados, pero permiten validar la hipótesis planteada en este estudio.

4. Por medio del diseño metodológico planteado y utilizado, se generó información semidetallada de carácter cuantitativo y cualitativo, con niveles de objetividad y confiabilidad aceptables para cada una de las variables o factores propuestos en la ecuación planteada.

5. Con respecto a los materiales de teledetección empleados; por sus características de resolución espacial, espectral y radiométrica, se puede obtener a priori, una visión sinóptica de la zona y sus recursos.

6. El Sistema Terrestre I Chichinautzin, fue el que mostró los valores mas altos de agresividad climática, relieve y

erodabilidad de sus suelos. El Sistema 2 Cuernavaca, presento valores intermedios entre el ST1 y el Sistema Terrestre 3 Tenixco, cuyos valores mas bajos concuerdan con su ubicacion.

7. De los suelos estudiados, los Andosoles, Cambisoles, Regosoles y Vertisoles, son los que presentaron valores mas altos de erodabilidad. Este dato depende del desarrollo y estabilidad estructural alcanzados, de su composicion mecanico-textural, de sus propiedades hidraulicas y de los caracteres bio dinamicos que muestre el suelo.

8. La zona con mayor riesgo de erosion es el ST1 y a continuacion ST2. Este resultado es de gran importancia por su utilidad para implementar medidas de proteccion al suelo de tipo preventivo, ya que representa el potencial de erosion de un suelo en condiciones extremas.

9. Los sitios mas afectados por hidroerosion son los que estan cercanos a poblados, donde la influencia del hombre es muy directa.

10. En terminos generales, la erosion en el ST1 es causada por perdida de la cobertura vegetal natural con fines agricolas, praticolas y urbanos, la cual se agravara por sus condiciones de ubicacion. En ST2 por la influencia urbana y en ST3 basicamente, por actividades agricolas e industriales, tal rajeo y explotacion de los suelos.

11. Finalmente, es preciso determinar que los valores potenciales de perdidas de suelo por hidroerosion, aumentaran si prevalecen las tasas actuales de crecimiento poblacional y la indiscriminada remocion de la cubierta vegetal.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA.

1. Abelson, P.H. 1964. Trends in scientific research: Science, 143 pp.
2. Aguilera, H.N. 1953. Mineral Identification in two Profiles of latosoles profiles from Mahuian and Malakal, New Guinea. Misc. Studies, Dept. of soils. Univ. of Wisconsin, U.S.A.
3. Aguilera, H.N. 1958. Suelos de la Península de Yucatán. Génesis, morfología, clasificación y distribución general. Mios recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. 2a. parte, tomo II, Capítulo V. INERPAR.
4. Aguilera, H.N. 1961. Algunos suelos de la Meseta Tarascan. Génesis y clasificación. ENAH. Folleto Técnico # 1. Chapinco, Méx.
5. Aguilera, H.N. 1965. Suelos de Ando, génesis, morfología y clasificación. Serie de investigación # 6. ENAH. Chapinco, Méx.
6. Aguilera, H.N. 1969. Mapa de distribución de los grandes grupos de suelos. Atlas de la República Mexicana. Porrúa, Méx.
7. Aguilera, H.N. y Hayama, M.L. 1972. Mineralogía de algunos perfiles de suelos del volcán Nevado de Tolima, Estado de México; III Panel de suelos volcánicos. Universidad de Nariño, Colombia. Organizado por FAO-UNESCO.
8. Alexeiev, G.A. Metodicheskoye ukazaniye kachdu intensivnoyru, prodolzhitelnoyru i tovarnoyru lyuyru, Trudy NII SVMO, 1941.
9. Arnoldus, H.M. 1974. Predicting soil due to sheet and erosion. FAO Conservation Guide, Vol. 1, p. 20.
10. Ayres, G.L. Soil erosion and its control, New York-London, 1936.
11. Bagnold, R.A. 1941. The Physics of blown sand desert dunes; Methuen, Londres, 265 pp.
12. Barth, H.T. 1934. Estructura elemental de ácidos: Naturf. Journal of Science, 40 p.
13. Beach, L.E., Gardner, W.H. and Gardner, W.H., Mielas de Suelos: WILEY, 214 pp.
14. Bennet, H.N. Soil Conservation, New York-London, 1910.

15. Bergama, E.I. 1960, Aerial photo-interpretation for soil erosion and conservation surveys. Part I: Soil erosion features: I.T.O., Enschede, The Netherlands, 220 p.
16. Bocco, B. 1968, Evaluación de la hidroerosión por causas antropogénicas, Tesis de Maestría, I.T.O. Holanda.
17. Boersma, W. (en prensa). Propiedades físicas del suelo: Bonn. Litter-Box, 110-117 pp.
18. Boedt, A., Leenneer, L., 1967, Pedología: Bonn, Germany. 240 p.
19. Cablik, J. and Juva, K., Soil conservation, Prague, 1963.
20. Carrasco-Gómez, J.A., 1969, Algunos estudios del uso del suelo en los desarrollos urbanos y rurales del transecto Ciudad de México-Ciudad de Guaymas. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM, México.
21. Cherkasov, A.S., Melioratsiya i sel'skookhozyaystv' enoye vo-dostizhenie, Moskva, 1950.
22. Colegio de Postgraduados, 1961, Informe de Avance de Actividades: Sección de Física de Suelos. Centro de Eda Policia, Chapinco, Méx.
23. Crawford, M., 1976, La conservación del Medio Ambiente: Barcelona, España, Nonciner y Simon, S.A. 144 p.
24. Cuenclo, S.K., 1977, Levantamiento Fisiográfico: U.A.Ch., Departamento de Suelos, 77 p.
25. Dokuchaiev, V.V., 1960, Clasificación de Suelos, Publicado por The Iowa State U., Press. Amer. 1972.
26. Easlók, M., Research problems in the framework of the Czechoslovak National Program for IHD. Hidrological data for water resources planning, Praha, 1966.
27. Elwell, H.A., 1976, Soil loss estimation system for southern Africa. Department of conservation and Extension Research Bulletin No. 32, Salisbury, Rhodesia.
28. Fallow, F.I., 1962, Pedologie order all'gemeine und besondere Bodenkunde. Dresden, Germany.
29. FAO y INUWA, 1960, Metodología Previsional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos: Roma, Italia, 190 p.
30. F.A.O., 1976, La erosión del suelo por el agua, FAO/UNESCO Roma, Italia, 207 p.
31. F.A.O., UNESCO, 1988, Soil map of the world, Rome 120 p.

32. Foster, G.R. and Wischmeier, W.R., 1974, Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction, Transactions of the ASAE, 2, 1974.
33. Fournier, F., 1961. Climate et erosion: La relation entre percision du sol par le vent et les precipitation atmospheriques: Presses Universitaires de France, Paris. 201 pp.
34. Gama-Castro, J.E., 1985. Taxonomia de Suelos, Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM, México.
35. García, E. 1988. Modificación al sistema de clasificación de Koepfen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. Edición. Instituto de Geografía, UNAM. 218 p.
36. García, E. 1984. Atlas de la República Mexicana. 6a. Edición, Porrúa. 174 p.
37. Glinka, K.D. 1927. The great soil groups of the world. Edwards Brothel, Ann. Arbor, Michigan, USA.
38. Gussak, V.B., Faktory i vnutrennyye posledstviya poverkhnostnykh snyrov krasnozernuyu usloviyakh vlastnykh subtropikovv Gruzii, Sbornik Eroziya poev AN SSSR, Moska, Leningrad, 1937.
39. Holy, M., 1980, Erosion and Environment: Pergamon Press. England, 225 p.
40. Holy, M. and Váskas, J., Relations between surface runoff and soil loss and water erosion: ICID Water Erosion Symposium, Prague, 1970.
41. Hudson, N.W., 1961. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of subtropical rainfall: Rhodesia Science Association Proceedings. v. 49, 320 p.
42. Hudson, N.W., 1982, Conservación del suelo: Barcelona, España, Editorial Reverté, S.A. 325 p.
43. Ibarra García, F., 1970. Efectos de agregación de las partículas del suelo por algunos mejoradores químicos; dextrana, materia orgánica y Aspergillus niger. Tesis profesional, Biología, Fac. de Ciencias, UNAM, México.
44. Jenny, H., 1958. Factor of soil formation. Mac Graw Hill, N.Y. 95 pp.
45. Kuzmin, P.B., Yedniye svoystva snoga, Izd. 191 55, Leningrad. 1955.
46. Karl, Frida, 1965. Carta geológica del estado de Morelos: UNAM, Instituto de Geología, Escala 1:250 000.

47. Kener, I. 1967. A pedological investigation. Bull Kyushu Agric. Esp. sta. 4:81-84.
48. Kirkby, M.J. and Morgan, R.P., 1984, Erosión de suelos: Editorial Limusa, S.A. 375 pp.
49. Leeper, G.W. 1955. Suelos de Australia, Ed. CSIRO, Melbourne, Australia, 60 pp.
50. Lugo, J., 1989, Diccionario Geomorfológico: UNAM, Instituto de Geografía, Coord. de Ciencias, 337 p.
51. Munsell Soil Color Chart, 1975, Edition Munsell Color Co. Inc. Baltimore, 2 Maryland, USA. 20 p.
52. Musgrave, G.W., 1947, The Quantitative Evaluation of Factors in water erosion, Journ of Soil and Water Conserv. 2,3.
53. Nikiforoff, C.C., 1949, Weathering and soil formation. Soil Science, 67 p.
54. Olson, I.C. and Wischmeier, W.H., 1963, Soil Erodability evaluation for soils on the Runoff and erosion stations Proc. soil, Science Am. 27:590-592.
55. Onsted, C.A. and Foster, G.P., Erosion modeling on a watershed, Transactions of the ASAE, Vol. 18.2, 1975.
56. Palacios, M.S., 1985. Biomejoradores, Proyecto de Investigación. Instituto de Geología, Depto. de Edafología UNAM, México.
57. Papadakis, H., 1980, El Suelo: Ed. Albatros. Buenos Aires, Arg. 385 p.
58. Polyakov, E.V., Gidrologicheskiy analiz i raschet, Gidrometeoizdat, Leningrad, 1964.
59. Ramírez-Gama, R.M., 1967, Mecanismos físico-químicos de la Agregación de las Partículas del Suelo por Dextrano Pulv. y Agencial. Tesis Licenciatura, Biólogo, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
60. Redley, J. y Simons, J., 1967. Wind erosion in east Yorkshire. Nature, Land, 216:20-22.
61. Rey-Contreras, J.A., 1979, Estimación de la erodabilidad de los tepalcates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis Profesional de Maestría. Colegio de Posgraduados, Chapinco, Méx.
62. Richtofen, P.F. von, 1966, Fahrer für Forschungsreisende. Berlin.
63. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (SARH). 1980, Manual de Conservación del Suelo del Suroeste de México. Chapinco, México, Colegio de Posgraduados, 21 p.

64. SCS-USDA, 1977, Midwest technical Service Center. T.S.C. Special publication No. 21, Advisory soil-ot-13.
65. SCS-USDA, 1985, Soil Survey Manual, Handbook 18: Soil Survey Staff, Washington, D.C., USA, 670 p.
66. SCS-USDA, 1986, Soil Survey Laboratory Methods and procedures for collecting soil samples: Washington, D.C. USA, 90 p.
67. Smith, D.O. y Whitt, D.M. 1938, Evaluating soil losses from field areas. Agric. Enging. 29:394-396 pp.
68. Stocking, A.M., 1988, Assessing vegetative cover and management effects: Soil and water Conservation Society, Wageningen, The Netherlands.
69. Sneesly, N.J., 1968, Shelter against soil erosion. Agric. 75:550-551, Pres. U.S.A.
70. Thorp, J., 1936, Higher categories of soil classification: Order, Suborder and great soil groups. Soil Science. 67:117-126 pp.
71. Van der Hammen, T., Pérez-Franciado, A. y Pinto, P., 1983, La Cordillera Central de Colombia, Transecto Parque Los Venados, (Introducción y datos iniciales). Stud. on Trop. Andean Ecosyst. Cramer Vaduz, 1345 p.
72. Vallejo, G.E., 1968, Algunos estudios de perfiles de suelos de ende de la parte noroeste del Popocatepetl, Estado de Morelos, Méx. Tesis Biología, UNAM.
73. Velikanov, A.M., Hidrologiya susi, Leningrad, 1964.
74. Vilesnkiy, D.G., Pochvovedyeniye, Moska, 1950.
75. Villegas, S.M., Amilera, E.M. y Flores, D.L., Método simplificado para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo, UNAM, México, Instituto de Geología. Revista, vol. 2, No. 2
76. Válek, Z., An investigation of the impact of the forest runoff in the Křichavá and Bláckovka catchments, Vod. věstník, 1957.
77. Walkley, A. and Black, I.A., 1947, A rapid method of a rapid method for determining organic carbon in soils-effect of variation in digestion conditions and on inorganic constituents: Soil Science, v.63.
78. Whitt, D.M. and Smith, D.O., 1948, Evaluating soil losses from field areas: Agric. Enging., v. 20
79. Wischmeier, W.H. and Smith, D.O., Rainfall energy and its relation to soil loss, Transaction ASAE, 39, 1959.

60. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1965, Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Agricultural Handbook No. 292, USDA, Purdue Agricultural Experiment Station.
81. Wischmeier, W.H., 1976, Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation, USLE: J. Soil and water conservation, 31 p.
82. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1985, Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, USDA Science and Education Administration. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
83. Zuidam, R.A. van, 1979, Terrain analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach I.T.C., Enschede, The Netherlands, 86 p.
84. Zingg, A.W., 1949, Degree and Length of land slope as it effects soil loss in runoff: Agric. Engng., v. 21.