



25

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

ESTIMACION DE LA DINAMICA DEL PROCESO EROSIVO
EN EL PARQUE NACIONAL "EL TEPEYAC";
DISTRITO FEDERAL.

295833

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA AGRICOLA
P R E S E N T A :
E L I S A P I M E N T E L

ASESORES: DR. DAVID FLORES ROMAN

M. EN C. EDVINO J. VEGA ROJAS

M. EN C. GILBERTO VELA CORREA.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



PRESENCIA NACIONAL
VERMATE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Estimación de la dinámica del proceso erosivo en el Parque Nacional
"El Tepeyac", Distrito Federal.

que presenta la pasante: Elisa Pimentel
con número de cuenta: 8960235-3 para obtener el título de :
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Abril de 2001.

PRESIDENTE	<u>Q. Laura Bertha Reyes Sánchez</u>	
VOCAL	<u>Ing. Alfonso Delgado Antunez</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q. Celia Valencia Islas</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Raúl Espinosa Sánchez</u>	

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de alcanzar una de las metas más importantes de mi vida.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM y en especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, por permitirme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A todos los profesores de la carrera de Ingeniería Agrícola, que me proporcionaron conocimientos invaluable para mi formación.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico que constituyó la beca, para la realización de este trabajo.

Al Laboratorio De Fertilidad de Suelos del Departamento de Edafología del Instituto de Geología, por permitirme hacer uso de sus instalaciones y proporcionarme los medios necesarios para la realización del presente trabajo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento y reconocimiento al Dr. David Flores Román, por brindarme su valiosa colaboración, apoyo, comprensión, dedicación, revisión y acertadas sugerencias en todo momento, para la realización de este trabajo. Gracias por dirigir esta tesis.

Al M. en C. Gilberto Vela Correa, por sus consejos, paciencia, dedicación, revisión y por sus acertadas sugerencias y opiniones en cada una de las etapas de este trabajo. Gracias por todo Gil.

A cada uno de los miembros del jurado:

Q. Laura Bertha Reyes Sánchez

Ing. Alfonso Delgado Antunez

M en C Edvino Josafat Vega Rojas.

Q. Celia Valencia Islas.

Ing. Raúl Espinosa Sánchez

Por la revisión de la presente tesis, ya que sus críticas y comentarios contribuyeron en complementar y mejorar este trabajo.

A la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) de la Estación Sierra de Guadalupe, por proporcionar los medios necesarios para la realización de la etapa de campo, misma que fue fundamental para este trabajo.

Agradezco el estímulo y amistad de Gil, Alma, Humberto, Jose Luis, Jessica, Aleida, Jorge G. y Carolina, ya que de una u otra manera contribuyeron en la realización de esta tesis.

Pero sobre todo agradezco a Dios, por haberme dado una segunda oportunidad de seguir aquí y haber terminado mi carrera, realizar mi tesis y poder compartir más tiempo con mi familia, amigos y mis plantas.

Dedicatorias.

A mi madre, por que en ella vi la perseverancia y la gran responsabilidad de ser madre y padre a la vez, por el gran apoyo, cariño y confianza que siempre me ha tenido.

A mi padre, por proporcionarme lo necesario para estudiar.

A mis hermanos y hermanas, por brindarme su confianza, cariño y estímulo para terminar mis estudios.

A mis sobrinos y sobrinas para su propia superación.

A mis cuñadas y cuñados por demostrarme su apoyo y cariño, en especial a Marcelino, pues vivimos una situación similar y en él he visto un gran deseo de seguir y salir adelante. Gracias a todos por formar parte de mi familia.

A Felipe (T.Q.M), por demostrarme su cariño y por todos los momentos compartidos.

A mis amigos Pedro, Miguel y Marcos, por su valiosa amistad y confianza.

A todos mis compañeros de la 14^{ava.} que me demostraron su apoyo incondicional para seguir adelante.

Les doy las gracias a todos ellos, por haber estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida y haberme alentado a seguir adelante. Espero no haberles fallado.

ÍNDICE.

Resumen.	
1 Introducción.	Pag. 1
2. Marco Teórico.	3
2.1 Degradación y erosión del suelo.	3
2.2 Causas y efectos ambientales de la erosión.	4
2.3 Factores de la erosión.	4
2.4 Clasificación de la erosión.	5
2.5 Importancia del factor humano en el proceso de la erosión.	6
2.6 Erosión hídrica.	10
2.7 Formas de erosión hídrica.	10
2.8 Factores acelerantes del proceso erosivo.	11
2.8.1 Precipitación.	11
2.8.2 Escurrimiento superficial.	14
2.8.3 Pendiente del área.	14
2.8.4 Grado de pendiente.	15
2.8.5 Longitud de pendiente.	16
2.9 Erodabilidad del suelo.	17
2.10 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).	18
2.10.1 Aplicaciones de la EUPS.	19
2.10.2 Limitaciones.	19
2.10.3 Modelo matemático.	20
2.10.4 Factores de la EUPS.	21
2.10.5 Riesgo de erosión.	29
2.10.6 Estado actual de erosión.	31
2.10.7 Velocidad actual de erosión.	31
2.10.8 Pérdida permisible de erosión.	31
2.11 Erosión en México.	32
3 Objetivos.	37
3.1 General.	37
3.2 Particulares.	37
4 Hipótesis.	38
5 Metodología.	39
5.1 Trabajo de gabinete (<i>primera etapa</i>).	39
5.2 Trabajo de campo.	43
5.3 Trabajo en laboratorio.	43
5.4 Trabajo de gabinete (<i>segunda etapa</i>).	44

6	Localización de la zona de estudio.	45
6.1	Localización geográfica.	45
6.2	Superficie y límites.	45
	Croquis de localización.	46
7	Características fisiográficas.	48
7.1	Geología.	48
7.2	Litología.	48
7.3	Relieve.	50
7.4	Clima.	50
7.5	Hidrología	53
7.6	Suelos.	53
7.7	Vegetación.	55
8	Resultados y discusión.	58
8.1	Microcuenca 1	58
8.1.1	Caracterización morfológica de los suelos.	59
8.1.1.1	Perfil 1 “La Mojonera”	59
8.1.1.2	Perfil 2 “Las Oficinas”	61
8.1.2	Caracterización física-química de los suelos.	64
8.1.3	Uso actual del suelo.	64
8.1.4	Estimación de la erosión.	65
8.2	Microcuenca 2	65
8.2.1	Cracterísticas morfológica de los suelo	66
8.2.1.1	Perfil 3 “San Juan”	66
8.2.2	Caracterización física-química de los suelos.	68
8.2.3	Uso actual del suelo.	68
8.2.4	Estimación de erosión.	68
8.3	Microcuenca 3	69
8.3.1	Caracterización morfológica de los suelos.	69
8.3.1.1	Perfil 4 “Las Antenas”	69
8.3.2	Caracterización física-química de los suelos.	72
8.3.3	Uso actual del suelo.	72
8.3.4	Estimación de erosión.	72
8.4	Microcuenca 4	73
8.4.1	Caracterización morfológica de los suelos.	73
8.4.1.1	perfil 5 “La Colonia”	73
8.4.2	Caracterización física-química de los suelos.	77
8.4.3	Uso actual del suelo.	77
8.4.4	Estimación de erosión.	77
8.5	Microcuenca 5	78
8.5.1	Caracterización morfológica de los suelos.	78
8.5.1.1	Perfil 6 “El Pozo”	78
8.5.1.2	Perfil 7 “La Escuela”	82
8.5.1.2	Perfil 8 “La Capilla”	85

8.5.2 Caracterización física-química de los suelos.	87
8.5.3 Uso actual del suelo.	87
8.5.4 Estimación de erosión.	87
8.6 Microcuenca 6	88
8.6.1 Caracterización morfológica de los suelos.	88
8.6.1.1 Perfil 9 “La Parcela”	88
8.6.2 Caracterización física-química de los suelos.	91
8.6.3 Uso actual del suelo.	91
8.6.4 Estimación de erosión.	91
8.7 Microcuenca 7	92
8.7.1 Caracterización morfológica de los suelos.	92
8.7.1.1 Perfil “Los Apancles”	92
8.7.2 Caracterización física-química de los suelos.	96
8.7.3 Uso actual del suelo.	96
8.7.4 Estimación de erosión.	96
9. Conclusiones.	101
10. Recomendaciones.	102
Literatura citada.	103
Literatura consultada.	108
Anexos:	
Tablas para calcular el factor C (Cobertura vegetal).	
Mapa de riesgo por erosión.	
Mapa de velocidad actual de erosión.	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grado de pendiente sobre las pérdidas de suelo.	16
Cuadro 2. Longitud de la pendiente sobre las pérdidas de suelo.	16
Cuadro 3. Riesgo de erosión.	29
Cuadro 4. Velocidad actual de erosión.	31
Cuadro 5. Pérdida permisible.	32
Cuadro 6. Estimación de la erosión en México.	34
Cuadro 7. Estimación de áreas erosionadas en México.	35
Cuadro 8. Factores de la EUPS	40
Cuadro 9. Erosibilidad de la lluvia	41
Cuadro 10. Principales elevaciones.	50
Cuadro 11. Clasificación del clima.	51
Cuadro 12. Uso actual del suelo.	97
Cuadro 13. Propiedades físicas.	98
Cuadro 14. Propiedades químicas.	99
Cuadro 15. Velocidad actual de erosión.	100
Cuadro 16. Riesgo de erosión.	100

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Principales formas de erosión hídrica.	7
Figura 2. Factores que afectan la erosión hídrica en el suelo.	12
Figura 3. Nomograma.	26
Figura 4. Factores de la erosión hídrica.	30
Figura 5. Ubicación de las regiones erosionadas del país.	36
Figura 6. Croquis de localización del Parque Nacional El Tepeyac	46
Figura 7 Límite de la zona de estudio	47
Figura 8. Litología.	49
Figura 9. Climograma.	52
Figura 10 Principales escurrimientos	54
Figura 11. Suelos	56

Resumen.

El presente estudio se realizó en el Parque Nacional “El Tepeyac”, que se ubica al norte de la Ciudad de México, en la delegación Gustavo A. Madero y su porción noroeste en el municipio de Tlalnepantla, Edo. de México.

Se tuvo como principales objetivos: a) determinar las principales características físicas y químicas de los suelos; b) el riesgo y la velocidad actual de erosión y c) proponer algunas recomendaciones para la conservación del recurso suelo.

Para el cumplimiento de los objetivos la metodología empleada se basó en la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), propuesta por Wischmeier y Smith (1978) y en los métodos de análisis físicos y químicos, propuestos por el Soil Survey Staff (1984). Para lo cual fue necesario dividir la zona en estudio en microcuencas, con el fin de tener un mejor manejo de la información así como una visión más particular de éstas, en donde se realizaron los muestreos de suelo, dando como resultado un total de 10 perfiles y 20 muestras de suelo, que se analizaron en el laboratorio de Fertilidad de Suelo del Instituto de Geología de la UNAM.

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que las microcuencas presentan un relieve convexo conformado en su mayoría por laderas con pendientes fuertes (15 a 40%) y escasa áreas planas, tal es el caso de las zonas donde existe agricultura, en la cual la pendiente sólo presenta valores de 5 a 6%. La vegetación predominante de estas zonas es el eucalipto, pirú, pino, encino y algunas gramíneas, ésta vegetación es resultado de reforestaciones que han conformado un bosque artificial. La vegetación natural ha sido desplazada por el cambio de uso de suelo, sin embargo es posible encontrar algunos ejemplares de mezquite y biznagas.

El principal uso actual del suelo en las diferentes microcuencas lo comprende el urbano el cual representan el 50.0% de la superficie total en estudio, le sigue el pastizal con el 19.0%, y en menor proporción la asociación de bosque (pirú-eucalipto) con pastizal el cual representa el 18.0%; la zona agrícola representa el 6.0% y en menores proporciones se encuentra la asociación

de pastizal con bosque de eucalipto y pirú, que presentan el 3.6%, finalmente el bosque de eucalipto, pirú y pino sólo representa el 3.4% de la superficie en estudio.

Las siete microcuencas presentan un riesgo de erosión moderado debido a que se encuentran en un intervalo de pérdida de suelo de 50.1 a 200 t/ha/año y una velocidad actual de erosión baja, la cual esta en un intervalo de pérdida de suelo de 15 a 50 t/ha/año, sin embargo la microcuenca 2 tiene un valor de riesgo de erosión casi del doble de las de más y una velocidad actual de erosión moderada, debido a la escasa vegetación por el cambio de uso del suelo, la cual ha sido desplazada hasta en un 81.4%, además de que no existen obras de conservación del suelo que aminoren el proceso erosivo.

Los suelos del parque son someros y pedregosos de textura franco-arcollosa y un contenido de materia orgánica alto, el pH es de ligeramente ácido a fuertemente alcalino; la C.I.C. es alta, así como el porcentaje de saturación de bases siendo los cationes dominantes Ca^{++} y K^+ . El promedio estimado de pérdida de suelo por erosión es de 42.91 t/ha/año, presentando un riesgo de erosión moderado por la poca precipitación pluvial y la acumulación de materia orgánica. La velocidad actual de erosión es baja en seis microcuencas esto por que la cobertura vegetal cubre alrededor del 50% de la superficie, mientras que en las áreas agrícolas las parcelas se encuentran bordcadas con magueyes y árboles o delimitadas por piedras formando una especie de terraza antigua conocida como "apancles".

Los asentamientos humanos y las áreas agrícolas existentes en las diferentes microcuencas han propiciado un inadecuado uso del suelo.

Las principales recomendaciones para la conservación del suelo es mantener la cobertura vegetal actual, reducir la agricultura y los asentamientos humanos.

1. Introducción.

La erosión es una de las principales causas de pérdida de suelo no solo en el país sino a nivel mundial, ésta se ve favorecida por la influencia del hombre al hacer un mal manejo de los recursos con que cuenta. Se estima que el 80% del territorio nacional está afectado por erosión (INEGI, 1994), lo que ocasiona una disminución en la productividad y un aumento en el deterioro ecológico a causa de talas inmoderadas y sobre-pastoreo, en donde además la acción de la lluvia y el viento actúan de forma directa sobre el suelo, que en combinación con el relieve y la geología favorecen la pérdida de suelo en diferentes grados.

Aunado a esto, el rápido y desordenado crecimiento de la población, ha traído como consecuencia la invasión de las zonas agrícolas y boscosas aún existentes en el Distrito Federal, provocando con ello una reducción de estas áreas, que resultan de suma importancia en la conservación del suelo, flora y fauna, además de ser indispensables para la recarga del manto acuífero y la estabilización del clima.

El Parque Nacional "El Tepeyac" constituye una de las pocas áreas verdes del Norte de la Ciudad de México, la cual no escapa al deterioro de sus recursos naturales. Tal es el caso del cambio de uso del suelo, pues teniendo suelos con aptitud forestal se han convertido en terrenos agrícolas para la siembra de maíz. Otro cambio evidente es el causado por los asentamientos humanos irregulares en los cerros Zacatenco y Vicente Guerrero, mismos que han sido invadidos en gran parte de su extensión.

En el parque existen fuertes pendientes que alcanzan valores hasta de 40% y escasas áreas planas, el suelo es somero y muy pedregoso, a tal grado que son evidentes las zonas en donde no existe vegetación y aflora el material parental. La vegetación natural ha sido prácticamente desplazada y sustituida por reforestaciones con eucalipto, casuarina, y pino entre otras, las cuales han conformado un bosque artificial. Sin embargo todas estas especies se han plantado sin un estudio previo a las condiciones ambientales del parque, lo que ha provocado que algunas zonas carezcan de vegetación y en otras ésta crezca deficientemente.

Sumado a todo esto, el parque es una zona poco estudiada de la cual no se tiene información reciente que contribuya a la conservación de los recursos naturales que aún existen en él,

siendo ésto de suma importancia para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona. Tal es el caso de los suelos; donde se trabaja con información anterior a 1984, por lo que se hace necesario realizar una estimación del proceso erosivo en las zonas que integran el parque.

Esta tesis esta formada por seis capítulos: en el primero se presenta la revisión de literatura, la cual permite tener un panorama más amplio del proceso erosivo, así como de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo; en el segundo se describe la metodología empleada para evaluar los diferentes factores de dicha ecuación en cada una de las microcuencas; en el tercero se describen las características fisiográficas de la zona en estudio (localización, superficie, geología, relieve, clima, suelos, hidrología y vegetación); en el cuarto se hace una discusión por microcuenca de los resultados obtenidos, estos referentes a la caracterización morfológica, física y química del suelo. También se estimó la cantidad de suelo que se erosiona en cada una de las microcuencas. En el quinto capítulo, se presentan las conclusiones del estudio realizado y por último en el sexto, se hace mención de algunas recomendaciones para la conservación de los suelos del parque.

2. Marco teórico.

2.1 Degradación y erosión del suelo.

La degradación de la tierra inducida por el hombre ha sido definida como: “La disminución o destrucción del potencial biológico de los recursos naturales ocasionado por el mal uso o manejo de los mismos, lo que trae como consecuencia procesos degenerativos del medio físico, económico y social de las poblaciones involucradas y su entorno” (Ortiz, 1994).

Los procesos de degradación del suelo son fenómenos que causan una disminución en la calidad de los suelos, la FAO agrupa dichos procesos en:

1. Degradación de la cobertura vegetal.
2. Erosión hídrica.
3. Erosión eólica.
4. Exceso de sales.
5. Degradación química
6. Degradación física.
7. Degradación biológica.

Por su importancia relativa, y por la magnitud de la superficie mundial que afectan, los dos primeros son considerados como los procesos primarios de la degradación. Sin embargo, para el caso particular de México, también es importante la degradación biológica, pues de acuerdo con La Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA, 1994), este proceso afecta una superficie comparable a la de la erosión (80%), lo cual es preocupante.

El término erosión, proviene del Latín *erodere* que significa roer. **La erosión es el proceso de desprendimiento, arrastre y depositación de las partículas del suelo por los procesos de intemperismo físico y químico de manera natural y acelerada por el hombre (Jiménez, 1991).**

La erosión es el proceso de deterioro de la tierra de mayor importancia por afectar la mayor superficie, constituir una pérdida permanente y porque comúnmente está acompañada por

otros efectos secundarios también nocivos, como son el azolve de presas, ríos y la presencia de inundaciones entre otros.

2.2 Causas y efectos ambientales de la erosión.

El problema de la erosión da origen a problemas ambientales como son: la disminución de la fertilidad de la tierra y en consecuencia de su productividad, la destrucción o deterioro de la vegetación; la destrucción del hábitat de la fauna silvestre y en consecuencia la disminución de la población o la extinción de algunas especies, azolves en obras de almacenamiento hidráulico o en lagunas naturales, lo que provoca la disminución en la capacidad de almacenamiento de agua del país, disminución de la infiltración del agua, inundaciones y desbordamiento de corrientes superficiales de agua debido al incremento de los volúmenes de escurrimiento, alteraciones de la calidad del agua de las corrientes superficiales, arrastre y depositación del suelo sobre áreas cultivadas.

2.3 Factores de la erosión.

La erosión es un proceso complejo en el cual intervienen diversos factores los cuales para el caso de la erosión hídrica han sido agrupados por La FAO (1980) en: a) **Climáticos** expresados sobre todo por la agresividad de la lluvia; b) **Edáficos** los cuales en conjunto se manifiestan por la susceptibilidad del suelo para ser erosionado; c) **Topográficos** constituidos básicamente por la longitud, forma y pendiente del terreno y d) **Humanos** los cuales se manifiestan fundamentalmente por sus efectos sobre la cubierta vegetal, alterando el tipo de vegetación, el desarrollo de la misma a través del año, el porcentaje de cobertura, la aspereza del terreno y las condiciones de la superficie del mismo.

El proceso erosivo puede efectuarse a través de diferentes agentes tales como el aire, agua, cambios de temperatura, procesos biológicos, uso y manejo que el hombre efectúe sobre el recurso suelo. Dichos agentes se pueden clasificar en: activos, predisponentes, pasivo y amortiguador.

a) Son agentes activos los que directamente realizan el proceso del desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo.

b) Se denominan agentes predisponentes a todos aquellos fenómenos ambientales u organismos vivos que directa o indirectamente predisponen al suelo para ser erosionado, tal es el caso de la oscilación térmica, la humedad relativa, la acción de algunos animales, el relieve del terreno y diversos aspectos inherentes a la actividad del hombre.

c) La vegetación es el agente amortiguador de la erosión, debido a su efecto disipador de la energía cinética de la lluvia, los escurrimientos superficiales y la velocidad del viento.

d) El suelo es el agente pasivo, este recibe la acción de la erosión y el cual por su mayor o menor susceptibilidad a la misma, influye también en la magnitud del proceso.

2.4 Clasificación de la erosión.

Para su estudio la erosión se puede clasificar desde diversos puntos de vista, entre ellos los siguientes:

1. Por su naturaleza puede ser:

- a). Natural o geológica.
- b) Antrópica o acelerada.

2. Por el agente activo que la produce:

- a) Hídrica.
- b) Eólica.

3. Por el modo de acción en el terreno (formas de la erosión hídrica).

- a) Por salpicamiento.
- b) En canalillos.
- c) En surcos.
- d) En cárcavas.
- e) Por caída y remontante.

4 Por la intensidad del proceso:

- a) Lígera.
- b) Moderada.
- c) Severa.
- d) Muy severa.

La erosión natural es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza, mientras que la erosión inducida es causada por las actividades del hombre en cuanto al uso y manejo inadecuado del recurso suelo. A su vez, la erosión hídrica es causada por el agua y la eólica por el viento. Por lo que respecta a las formas que la erosión hídrica deja sobre el terreno, en la Figura 1. se muestra un esquema de las mismas.

2.5. Importancia del factor humano en el proceso de la erosión.

El factor humano está representado en cierta manera por la alteración de la cobertura vegetal, el hombre ha provocado la aceleración de la erosión y por el lado contrario, las obras mecánicas han sido tradicionalmente utilizadas para el control de la misma.

De acuerdo con Stocking (1980), la influencia del hombre sobre la erosión es muy compleja, y en el presente todavía no es completamente entendida ni fácilmente cuantificable. Aún así, se han determinado algunos factores socioeconómicos que influyen en la erosión de los suelos siendo los siguientes (FAO, 1983):

- Presión demográfica.
- Tenencia de la tierra.
- Falta de información técnica.
- Dificultad para admitir innovaciones.
- Mal manejo de los recursos naturales.

Debido a la creciente magnitud con que el factor humano influye en el proceso erosivo, en los últimos años se ha dado un énfasis cada vez mayor a los aspectos inherentes al hombre, como son sus valores, necesidades prioritarias, costumbres, recursos de que dispone para promover la conservación del suelo.

La importancia de estos aspectos en el éxito o fracaso de un proyecto de conservación de suelos es expresada por Stocking (1981), citado por Becerra (1992) cuando dice: “ si los agricultores del tercer mundo no pueden, o no hacen conservación del suelo de corazón, ninguna cantidad de modelos, estudios empíricos, establecimiento de riesgos de erosión, o legislación, dará por resultado la preservación del suelo”.

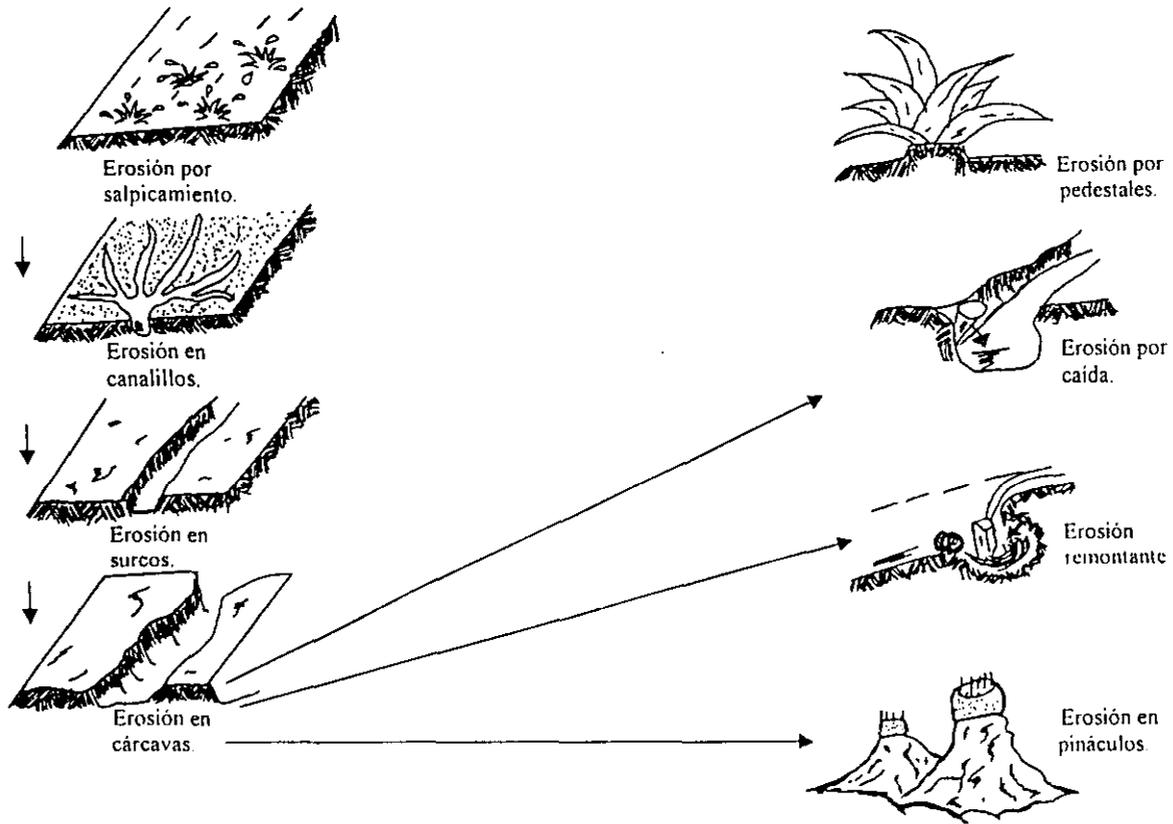


Figura 1. Principales formas de la erosión hídrica.(Becerra, 1997).

Becerra (1992) menciona que dicho autor describe el fracaso resultante al aplicar la estrategia clásica de conservación de suelos, hecha por especialistas en un caso de África, básicamente por ignorar las demandas y carencias de los agricultores locales de subsistencia. Es muy probable que este haya sido también el problema en muchos casos de México donde se han realizado obras mecánicas de conservación, pues como indican técnicos de CIMMYT (1980), los agricultores no aceptan recomendaciones que no sean adecuadas para sus circunstancias naturales o socioeconómicas.

Stocking *op cit.*, sugiere que el diseño de una estrategia de conservación de suelos necesita del conocimiento de dos elementos dispares: a) los agentes físicos de la erosión y b) los requerimientos socioeconómicos de los usuarios de la tierra. Sobre el primer aspecto se han desarrollado muchos estudios, generando modelos y diseñado técnicas para el control de la erosión; en contraste, el segundo aspecto ha sido largamente ignorado.

En parte esta ignorancia tiene su causa en el dilema que enfrentan quienes deben tomar las decisiones al tener que optar por una de las siguientes alternativas: a) invertir los recursos disponibles en obras de conservación en terrenos ya deteriorados, con elevado costo y poca esperanza de retorno de la inversión, o b) invertir esos mismos recursos en áreas de alta productividad y con mejor esperanza de retorno económico. Desde luego, en la gran mayoría de los casos se ha optado por la segunda alternativa.

Muy relacionado con lo anterior, el mismo autor señala que la racionalidad de los que toman las decisiones está gobernada en primer lugar por las fuerzas económicas y su contexto cultural gobierna el resto.

Por otro lado Halsworth (1987), en su libro "Anatomy, Physiology and Psychology of Erosion", menciona que las causas por las que el hombre mismo se constituye en un obstáculo para la conservación del suelo son las siguientes:

- a) La creencia de que la erosión siempre ha existido en el pasado, y por lo tanto es natural que esté ocurriendo en el presente.

- b) La creencia de que la llamada erosión inducida es un fenómeno asociado enteramente con los tiempos modernos.
- c) La creencia de que todo lo necesario para el control de la erosión en los países en vías de desarrollo en el trópico y subtropical, puede ser aprendido por sus habitantes de los éxitos obtenidos en las tierras del Hemisferio Norte.
- d) La creencia de que los agricultores son ineficientes y despreocupados del daño que sus prácticas pueden estar causando a sus terrenos, y de que son perezosos para aprender la nueva tecnología.
- e) La creencia que tienen algunos agricultores de que sus prácticas no dañan a la tierra, de que la erosión no es un problema serio para su parcela.

De acuerdo con este autor, estas barreras tienen efectos perniciosos sobre los intentos que se realizan en diversas partes del mundo para combatir la erosión. Políticas inadecuadas, extrapolación de prácticas o técnicas a condiciones diferentes y por lo tanto sin el éxito esperado y finalmente la no aceptación en muchos casos de las obras de conservación por parte de los usuarios, han sido algunos de los resultados de la persistencia de dichas barreras psicológicas.

Entre las consecuencias del excesivo incremento demográfico y el aumento del poder tecnológico logrado por el hombre a partir del siglo pasado, se tiene la aceleración de la erosión. Esta se ha dado principalmente por la intensificación en el uso de los recursos naturales, entre ellos del suelo. Tal aceleración ha tenido múltiples causas, entre las cuales las actividades del sector primario han jugado un importante papel. Otras causas importantes son los asentamientos humanos urbanos sin planificación ni prevención del impacto ambiental negativo, la apertura de caminos sin la debida protección y los incendios forestales.

Dada la importancia que el factor humano tiene para un efectivo control de la erosión, La FAO (1985), señala que entre los lineamientos guía de investigación sobre conservación de suelos se propone realizar:

a) Estudios de caso de la erosión y sus causas, tomando en cuenta los factores social, cultural y físico.

b) Investigación sobre los efectos de los factores sociales e institucionales como causas de erosión o de inhibir las medidas de conservación.

c) Adaptación de técnicas de conservación de suelos a las condiciones físicas, económicas y sociales de países y áreas particulares.

2.6 Erosión hídrica.

La erosión hídrica es considerada como el complejo proceso de separación y transporte de las partículas del suelo pendiente abajo por la acción del impacto de las gotas de lluvia y escorrentía (Jiménez, 1991). Ortiz (1966), opina que el agua de lluvia ejerce su acción erosiva sobre el suelo mediante el impacto de las gotas de lluvia que caen con velocidad y energía variable, según sea el diámetro y también mediante la escorrentía o agua de escurrimiento.

2.7. Formas de erosión hídrica.

La FAO define cuatro formas principales de erosión hídrica las cuales son:

1. Erosión por salpicamiento: Consiste en la dispersión de los agregados del suelo como resultado del impacto de las gotas de lluvia, sobre la superficie del terreno.

2. Erosión laminar: Remoción uniforme del suelo, en capas delgadas de los terrenos con pendiente, que resulta de la saturación del suelo y su deslizamiento superficial por la pendiente. Se trata de una erosión más bien inapreciable porque la cantidad total de tierra removida durante una lluvia es generalmente pequeña. Sin embargo, con el pasar de los años, esta cantidad de tierra removida puede ser considerable.

3. Erosión en canales: Remoción del suelo por el agua en pequeños surcos o arroyuelos cuando existe una concentración de flujo superficial. Convencionalmente se dice que ocurre erosión por canales cuando éstos se han vuelto lo suficientemente grandes y estables para poder ser observados, sin embargo pueden ser borrados con las labores agrícolas normales.

4. Erosión por cárcavas: Es una forma más avanzada de la erosión por canales, donde la profundidad alcanzada por éstos es mayor que en el caso de los canalillos y no pueden ser cruzadas por la maquinaria agrícola.

2.8. Factores acelerantes del proceso erosivo.

La erosión del suelo es una función del poder potencial del agua de lluvia y de la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, la primera se refiere a la acción dispersiva de las gotas de lluvia y la velocidad de escorrentía, la cual se ve afectada por las características físicas de la lluvia, relieve del terreno, tipo de suelo y la capacidad de infiltración de éste. Por otra parte la susceptibilidad del suelo a ser erosionado depende de sus propiedades físicas y de su manejo. Siendo importante considerar que el manejo del suelo se modifica al igual que la vegetación, produciéndose cambios al retener agua y en la configuración del terreno. Una representación gráfica de este proceso aparece en la Figura 2 (Martínez, 1981).

2.8.1 Precipitación.

Para que exista movimiento de partículas de suelo es necesario realizar un trabajo, que puede ser función de las gotas de lluvia que primero mojan el suelo y después remueven las partículas. Cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración, se presenta el escurrimiento superficial, el cual también tiene la habilidad de remover y transportar partículas de suelo.

Para determinar la habilidad de la precipitación para causar erosión, no sólo basta conocer la cantidad y duración de la tormenta, sino que es necesario estimar sus relaciones con el diámetro y la velocidad terminal de las gotas de lluvia y que éstas permitan conocer la energía cinética de la lluvia que es necesaria para remover y transportar las partículas del suelo.

Ríos (1987) señala que es posible a través de cantidad-duración de la lluvia (intensidad de la lluvia), estimar el diámetro de las gotas de ésta y su relación directa con la velocidad terminal de las mismas.

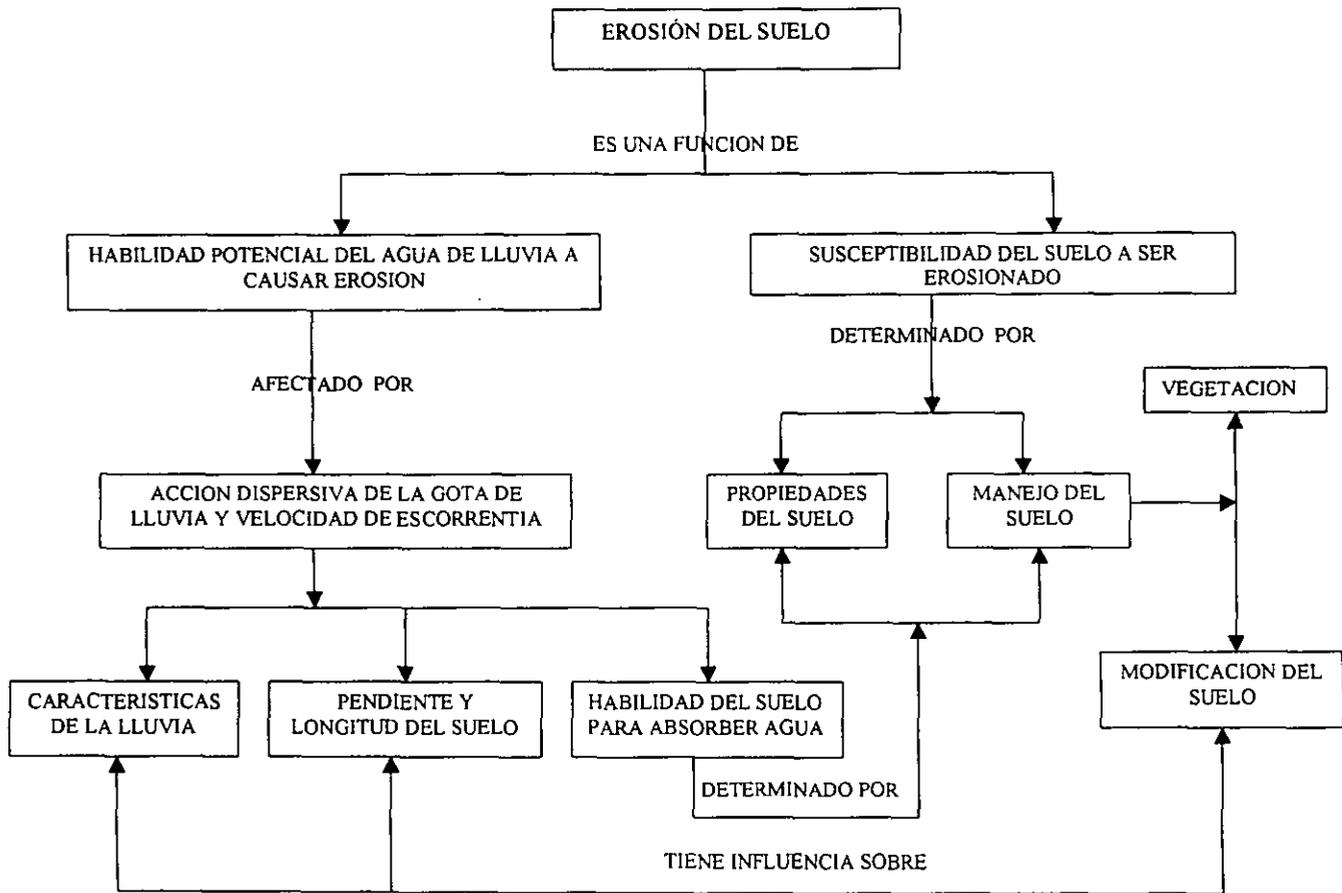


FIG. 2. Factores que afectan la erosión hídrica del suelo (Bayer 1965, Hudson 1971 y Martínez 1979).

Las gotas de lluvia al impactar con la del suelo, rompen los agregados del suelo y remueven las partículas del mismo produciendo así una ligera compactación. La capa compactada disminuye la capacidad de infiltración del agua al suelo, originando un escurrimiento superficial inmediato. La capacidad de infiltración que tiene un suelo depende de sus características físicas y químicas principalmente.

Antes de iniciarse el escurrimiento superficial y durante el mismo, se forma una pequeña lámina de agua que amortigua el impacto de las gotas de lluvia. Palmer en 1963, señala que la máxima eficiencia de esta lámina contra la dispersión se obtiene cuando alcanza una profundidad sobre la superficie del suelo equivalente al diámetro de la gota. Por otro lado, el máximo salpicado se presenta cuando la lámina de agua tiene una profundidad equivalente a un tercio del diámetro de gota y láminas de profundidad equivalente a tres veces el diámetro de gota tiene poco efecto sobre la dispersión. Así mismo, es importante señalar que las gotas de lluvia imparten turbulencias al flujo laminar, proporcionándole mayor capacidad para transportar las partículas de suelo desprendido.

Las gotas de lluvia tienen poca capacidad para transportar las partículas dispersas, mientras que el escurrimiento superficial, aunque con baja capacidad para desprender partículas de suelo, posee alta capacidad para el transporte de las mismas y éste es función de la posición del terreno y del volumen escurrido.

Las características de la lluvia relacionadas con el proceso erosivo son las siguientes: cantidad, intensidad, duración, distribución, diámetro de las gotas, velocidad terminal, energía cinética y momentos de las gotas de lluvia.

Vergette (1977), citado por Orozco (1984) reportó que para que se produzca el fenómeno de la erosión, la cantidad de agua requerida es de 20 a 30 mm en un solo evento, ya que precipitaciones menores a esa cantidad pueden ser absorbidas por el suelo y no se presenta ningún escurrimiento.

En una serie de trabajos realizados por Wischmeier (1959), encontró que existe una relación directa entre la cantidad de lluvia y la cantidad de suelo erodado, pero que estadísticamente no

es significativa; esto nos muestra que la cantidad de lluvia no es el mejor indicador del proceso erosivo.

La duración de una tormenta es el tiempo transcurrido entre la iniciación y el término de una lluvia y se expresa en minutos. La frecuencia representa el número de veces que un fenómeno determinado ocurre en un tiempo conocido y se expresa en período de retorno.

La duración y frecuencia, son dos de las características más importantes de las lluvias para el cálculo y diseño de obras de drenaje y conservación de suelos. Generalmente la duración y la frecuencia, están relacionadas con la intensidad de la lluvia por lo que la duración de una tormenta por sí sola no es un buen indicador del aspecto erosivo, pero si va acompañado de la intensidad y la periodicidad, puede desarrollar una mayor actividad erosiva en los suelos.

2.8.2 Esguerrimiento superficial.

El esguerrimiento superficial es otro de los factores acelerantes del proceso erosivo, definido como la producción de la precipitación que fluye sobre la superficie del suelo hacia las depresiones, que se origina durante la lluvia cuando la intensidad es mayor que la capacidad de infiltración del suelo. Este flujo tiene una capacidad para desprender transportar partículas de suelo, la cual es función de la velocidad del flujo que depende de la pendiente del terreno.

2.8.3. Pendiente del área.

En contraste con la erosión eólica, la erosión hídrica no es un problema grave en áreas planas. Solamente cuando el terreno tiene pendiente, es cuando la erosión hídrica puede ocasionar problemas (Suárez, 1979). La pendiente del terreno afecta los esguerrimientos superficiales imprimiéndoles velocidad según la ley de caída de los cuerpos, modificada de acuerdo a las condiciones del ambiente (Ayres, 1960). El tamaño de las partículas, así como la cantidad del material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión, está en función de la velocidad con que ésta fluye sobre la superficie. A su vez la velocidad depende del grado y longitud de la pendiente.

Ayres *op cit.*, menciona que las relaciones entre la velocidad del agua y su poder erosivo es: a) la velocidad de flujo varía con la raíz cuadrada de la distancia vertical que recorre y su energía

cinética, es decir, si la pendiente se incrementa cuatro veces, la velocidad del flujo se duplica y su capacidad se cuadruplica; b) la cantidad de material de determinado tamaño que puede arrastrar, varía con la quinta potencia de la velocidad de flujo y c) que el tamaño de las partículas que puede transportar por rodamiento, varía con la sexta potencia de la velocidad del flujo. Para las anteriores relaciones existe un límite máximo, el cual está en función de la velocidad y de la profundidad del flujo laminar.

2.8.4. Grado de pendiente.

Los análisis de estudios teóricos y de estudios en campo y laboratorio sobre los efectos del grado de pendiente en la erosión hídrica, muestran que el grado de pendiente es uno de los mayores factores de la erosión hídrica (Holy, 1980), citado por Ríos (1987). En igualdad de condiciones del medio ambiente, conforme se incrementa el grado de la pendiente, el agua fluye más rápido y en consecuencia el tiempo para la infiltración del agua al suelo es menor.

Bennett (1955), en sus observaciones de campo muestra la importancia del grado de pendiente sobre la erosión hídrica (Cuadro 1). Hudson (1977), menciona que la relación entre las pérdidas de suelo (E) y el grado de pendiente (S), es una función potencial, esto es:

$$E = S^a$$

Donde: E = pérdidas de suelo. S = grado de pendiente.
a = exponente.

Los valores del exponente "a" varían de 0.8 a 1.5 de acuerdo a la región. Zingg (1940) y Musgrave (1947), citado por Ríos (1987) dan valores al exponente de 1.49 y 1.35 respectivamente, mientras que él da un valor de 2 para las condiciones del trópico.

Wischmeier y Smith (1965), citado por Ríos (1987) basados en el análisis de datos de escurrimiento y pérdida de suelo y con el objeto de dar un valor al factor grado de pendiente, proponen la relación:

$$S = 0.06 + 0.045(s) + 0.0065s^2$$

Donde: S = factor grado de pendiente de la EUPS.
s = grado de pendiente (%).

La relación entre las pérdidas de suelo y el grado de pendiente es afectada por factores tales como la densidad de la cobertura, la rugosidad del área, tamaño de las partículas del suelo, etc.

Cuadro 1. Efecto del grado de pendiente sobre las pérdidas de suelo.

Suelo.	Período de observación (años).	Lluvia (mm)	Pendiente		Cultivo	Pérdida de suelo t/ha.
			Longitud (m)	Grado (%)		
Migajón limoso	9	965	22.1	8.0	Maíz.	158.8
				12.0		222.4
				20.0		243.7
Migajón arenoso	10	1032	22.1	8.7	Algodón.	50.1
	8	1092		16.5		136.1
Migajón	14	1025	27.4	3.7	Maíz.	44.1
	10	749	22.1	8.0		114.0

Fuente: (Bennett, 1955).

2.8.5. Longitud de la pendiente.

La distancia del punto de origen del escurrimiento superficial al punto donde cambia el grado de pendiente se le llama longitud de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1978). La gran acumulación del volumen escurrido a lo largo de la pendiente, incrementa la capacidad de desprendimiento y transporte del escurrimiento. Esto indica que las pérdidas de suelo por unidad de área, se incrementan al aumentar la longitud de la pendiente, como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 2. Efecto de la longitud de la pendiente sobre las pérdidas de suelo.

Suelo	Período de observación	Lluvia (mm).	Cultivo.	Pendiente		Pérdida de suelo. t/ha.
				Longitud (m).	Grado (%).	
Migajón limoso.	1933-1935	684	Maíz.	48.0	8.0	28.9
				96.0		40.3
				192.0		52.6
Migajón arenoso.	1931-1936	800	Algodón.	11.0	7.7	42.5
				22.1		55.6
				44.3		95.3
Migajón arenoso.	1931-1936	1038	Algodón.	11.0	8.7	45.9
				22.1		68.9
				44.3		107.7
Migajón limoso.	1933-1936	820	Maíz.	11.0	16.0	159.0
				22.1		248.0
				44.3		286.6
Migajón limoso.	1934-1935	851	Maíz.	20.4	10.0	56.8
				54.9		133.7
				82.2		164.0

Fuente: (Bennett, 1955).

2.9. Erodabilidad del suelo.

La erodabilidad del suelo se define como la susceptibilidad del suelo a ser erosionado y es una función de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Las propiedades que determinan la erodabilidad de los suelos por el agua, se agrupan en aquellas que influyen sobre la velocidad de infiltración, la permeabilidad y las que resisten las fuerzas de dispersión, salpicamiento, abrasión y transporte por escorrentía o lluvia.

La erodabilidad del suelo se estima por la medición de las pérdidas del suelo o mediante el uso de indicadores de erodabilidad, para esto se han desarrollado dos índices, el que incluye propiedades que afectan la dispersión del suelo y el que se basa en propiedades que influyen tanto en la dispersión del suelo como en la transmisión del agua en el perfil del suelo (Figueroa, 1975).

Barnett y Rogers (1966), propusieron que las variables que explicaban la pérdida del suelo por unidad de índice de erodabilidad bajo lluvia simulada, eran las fracciones de arena gruesa y la relación con el contenido de agua a capacidad de campo y la pendiente eran asociadas con la erodabilidad.

Ellison (1945), indicó que las partículas de suelo que son salpicadas más fácilmente por las gotas de lluvia, son aquellas que se encuentran entre los diámetros de 0.25 mm y 0.10 mm. A medida que disminuye el diámetro de ese intervalo hay menos cohesión de las partículas pequeñas y menos salpicado y cuando aumenta el diámetro mayor de 0.25 mm, las partículas tienen mayor masa y son más difíciles de desplazar.

Basado en lo anterior y con la experiencia obtenida, Wischmeier *et al.*, (1975) reporta que se necesitan cinco parámetros del suelo para utilizar la nomografía: porcentaje de limos (0.002-0.05 mm) más arena muy fina (0.05-0.10 mm), porcentaje de arena (0.10-2.0 mm), contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad, los cuales permiten calcular la erodabilidad (K) del suelo.

2.10 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

Para calcular la pérdida de suelo provocada por las lluvias que se presume han de caer a lo largo de un año, se diseñó la EUPS (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), la cual fue producto de la evolución en la investigación, ya que anteriormente a ésta ya se había tratado de buscar una ecuación de pérdida de suelo, datando la primera alrededor del año de 1940, existiendo ya investigación al respecto entre los años de 1940 a 1956 hasta llegar a conformar la EUPS. Wischmeier (1965), citado por la SARH (1987) menciona que dicha ecuación llega a considerarse en la actualidad una herramienta eficaz, para calcular la pérdida de suelo y ayudar a la planeación del uso del suelo y consecuentemente la conservación del mismo.

La esencia de esta ecuación es que “posibilita el poder de aislar los factores que influyen en las pérdidas de suelo para expresar sus efectos en cifras, de manera que se puede calcular la pérdida total del suelo al efectuar la multiplicación de las diferentes cifras o coeficientes relativos a cada factor” (Laird, 1980), esta relación matemática ayuda a poder considerar algunos factores iguales a la unidad, cuando no se estudian todos los factores a la vez, lo que hace que la ecuación sea fácil de manejar.

Se llamó universal porque estaba exenta de algunas generalizaciones y restricciones geográficas e inherentes a los primeros modelos. Se ha criticado de no ser universal porque los valores de los parámetros se presentaron condicionados a las dos terceras partes de los Estados Unidos, sin embargo a medida que se fueron acumulando los datos, los parámetros se están identificando para su uso en más regiones del mundo (Bubbenzer y Mitchel, 1984). Considerando que dicha ecuación fue desarrollada en los Estados Unidos a través de análisis estadísticos de mediciones de erosión en campos experimentales, se requiere precaución cuando se utiliza fuera de ese país, ya que no es totalmente aplicable a cualquier medio ambiente, por lo que a menudo la ecuación necesita ser adaptada a las condiciones locales, sobre todo en algunos factores, debido al sofisticado conjunto de datos que se requieren para su cálculo.

Para los estudios de degradación de suelo por erosión hídrica, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) de Wischmeier y Smith (1978), es la más conocida y la más

extensamente probada de las metodologías para evaluar la erosión potencial del suelo: Esta metodología se basa en modelos paramétricos y fue elegida por la FAO en 1980.

En la actualidad se evalúan modelos matemáticos para predecir la erosión y/o planificación de su control, más sofisticados que la EUPS tal es el caso de “Water Erosion Prediction Project” (WEPP) (Lane, *et al.*, 1989), sin embargo su uso requiere de información que por su nivel de detalle generalmente no está disponible en los países en vías de desarrollo.

2.10.1 Aplicaciones de la ecuación.

Según (Wischmeier, 1976), citado por Bubenzer y Mitchell, (1984), la EUPS, puede utilizarse adecuadamente para:

- Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra.
- Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo, manejo, prácticas de conservación para suelos y pendientes específicas.
- Predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en las cosechas de conservación sobre un campo específico.
- Determinar como pueden aplicarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intenso.
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso distinto del agrícola.
- Obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación.

2.10.2 Limitaciones.

La EUPS presenta varias limitaciones entre las cuales las más importantes, de acuerdo con Wischmeier (1976), son las siguientes:

- La EUPS no estima adecuadamente la erosión en eventos, estacionales o años específicos.
- Sobreestima la pérdida en zonas planas de precipitación abundante.
- No estima la erosión que ocurre por la concentración de los escurrimientos superficiales.
- No estima las depositaciones del material arrastrado.

- No estima la concentración de sedimentos en la escorrentía.
- No proporciona información sobre tamaño, densidad, área superficial y otras características de los sedimentos, que son importantes para estimar su potencial de adsorción y transporte de sustancias químicas.

A pesar de sus limitaciones se le considera como una valiosa herramienta en la planeación de la conservación del suelo (Foster, 1981). Un método para estimar las pérdidas de suelo es la EUPS, la correcta aplicación de esta ecuación en México tiene ciertas limitaciones ya que se carece de la información necesaria para aplicarla en la mayor parte del Territorio Nacional.

2.10.3 Modelo matemático.

La EUPS es un modelo lineal simple multiplicativo de la forma:

$$A = R K L S C P$$

Donde cada factor se determina por separado y el producto (A) es la pérdida anual de suelo en t/ha/año.

Factor lluvia (R) es la cantidad que cae durante un tiempo determinado y de desagüe, cuando este es significativo, el número de unidades índice de erosividad, en el período bajo estudio.

Factor de erodabilidad del suelo (K) está en función del porcentaje de materia orgánica, estructura, permeabilidad del suelo y el porcentaje de limos + arenas muy finas, así como el porcentaje de arenas, midiéndose en t/ha/unidades de R en un cierto período.

Factor longitud de pendiente (L), es la relación entre la pérdida suelo correspondiente a la longitud del declive del terreno y la correspondiente a una longitud de 22.13 metros en iguales tipo y pendiente del suelo.

Factor grado de pendiente (S) relación entre la pérdida del suelo correspondiente a la pendiente del terreno y la correspondiente a un declive de 9%.

Factor de labranza (C) es la relación de un determinado manejo del suelo, teniendo en cuenta al cultivo mismo y comparando las pérdidas de éste, con la cantidad de pérdida de suelo en un terreno en continuo barbecho, surcado en el sentido de la pendiente.

Factor prácticas de conservación (P), representa las prácticas contra la erosión del suelo como el surcado al contorno, terraceo, cultivo en fajas, con el surcado en el sentido de la pendiente.

2.10.4 Factores de la EUPS.

Erosividad de la lluvia, (factor R).

De acuerdo con las investigaciones de diversos autores, ninguna de las características de la lluvia considerada en forma individual, presenta una correlación suficiente para explicar la pérdida de suelo causada por la lluvia. La mejor correlación se encontró con la energía, pero ni aún en este caso tal relación explicaba suficientemente el proceso erosivo. Finalmente, una correlación aceptable se obtuvo al combinar, como índice de erosividad, a dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética y la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos.

El factor de erosividad de la lluvia en la EUPS, es el índice de erosividad presentado por Wischmeier en 1959 y se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética total de la lluvia (E_c) y la intensidad máxima en treinta minutos (I_{30}). El producto de ambos se conoce como Índice de Wischmeier, y se expresa por: $EI_{30} = (E_c) (I_{30})$ en donde:

EI_{30} = Índice de erosividad para un evento (MJ.mm/ha.hr)

E_c = Energía cinética total de la lluvia (MJ/ha)

I_{30} = Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (mm/hr)

A pesar de haber sido desarrollado para condiciones de una región de los E.U.A; el EI_{30} ha mostrado ser eficiente para estimar las pérdidas de suelo en muchas partes del mundo. Un ejemplo de ello para el caso de la zona de Texcoco, México, Arias (1980), al evaluar el factor de erosividad de la lluvia (R) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) en la cuenca del río Texcoco, encontró que el EI_{30} fue el índice de erosividad que mostró el mayor coeficiente de correlación con las pérdidas de suelo anuales. Así también para el Campo Experimental de Las Ollas en Chiapas, la SARH, a través de la Dirección de Conservación de

Suelo y Agua (1981), indica que el EI_{30} es el mejor estimador del proceso erosivo y que la relación que guarda con las pérdidas de suelo es de tipo potencial.

No obstante lo anterior, se han reportado casos en los que las correlaciones de este índice con las pérdidas de suelo han sido bajas (Hudson, 1982), por definir en magnitud importante las condiciones de lluvia; para esos casos se han generado otros índices, como el de Hudson ($KE > 1$), el cual considera exclusivamente la energía cinética de la lluvia que cae con intensidad mayor de una pulgada, como constante de erosión.

Hudson en 1971 determinó que el índice EI_{30} es poco aplicable a regiones que reciben gran proporción de su precipitación con altas intensidades, como es el caso de las regiones tropicales y subtropicales, para estas regiones el mismo autor propone el índice $KE > 25$, según el cual todas las precipitaciones con intensidades menores de 25 mm/hr; no se consideran en el cálculo de la erosividad, para el resto de los valores de precipitación cuya intensidad es mayor a 25 mm/hr. La energía cinética se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$Ec = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I$$

Donde:

Ec = Energía cinética de la lluvia en el periodo considerado (MJ/ha. Mm)
 I = Intensidad de la lluvia en el periodo considerado (mm/hr)

La energía cinética total en este caso será igual al valor del índice $KE > 25$. En este índice la energía cinética total no se multiplica por la intensidad máxima en treinta minutos (I_{30}).

Uno de los principales problemas a los que se encuentra el uso del EI_{30} Y EL $KE > 25$ en México es la disponibilidad de datos de intensidad duración de la lluvia, debido a que no todas las estaciones climatológicas cuentan con pluviógrafo.

Enfrentando al problema de falta de datos en Africa, Fournier en 1969 correlacionó la descarga de sedimentos con características climáticas y otros factores que son fácilmente cuantificables y no requieren de pluviogramas.

Analizando los valores de producción de sedimentos de más de 140 ríos en Europa, Asia y América, encontró una fuerte correlación entre lo que él llamó degradación específica total anual en toneladas por kilómetro cuadrado y el coeficiente de distribución de la lluvia:

$$F = \frac{P^2}{P}$$

Donde:

F = Índice de Fournier.
 P^2 = Precipitación máxima mensual (mm).
 P = Precipitación anual (mm).

La FAO en 1980 propone una modificación al Índice de Fournier mediante la fórmula siguiente:

$$R = \frac{12}{i=1} p^2/P_t$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia
 p^2 = Precipitación mensual (mm).
 P_t = Precipitación anual (mm).

Para el cálculo de la erosividad de la lluvia por medio de estos dos últimos índices se requieren únicamente datos de cantidades precipitadas, datos que se tienen para todas las estaciones climatológicas en el país.

Estudios desarrollados por Figueroa *et al*; en 1982, comparando el índice originalmente propuesto por Wischmeier con el índice de Fournier, el Fournier modificado por la FAO, la intensidad máxima en 24 horas y la precipitación total anual, demostraron que la mejor correlación se obtiene entre el R de Wischmeier y el Índice de Fournier original, es decir que dentro de los métodos alternativos probados para el cálculo de la erosividad de la lluvia, el que puede ser utilizado con mayor grado de confiabilidad para las condiciones de México es este último.

Erodabilidad (Factor K).

El término erodabilidad del suelo K, se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo particular a ser erosionado. Este factor refleja el echo de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas a igualdad de los demás factores, y se define como la tasa de pérdida de suelo por cada unidad adicional de EI_{30} cuando los factores L, S, C, y P permanecen constantes.

La erodabilidad de los suelos depende de diversas propiedades y características del suelo, siendo las más importantes, de acuerdo con autores citados por la SARH (1991):

- Distribución de las partículas primarias (arena, limo y arcilla).
- Contenido de materia orgánica.
- Estructura del suelo.
- Oxidos de fierro y aluminio.
- Uniones electro-químicas.
- Contenido inicial de humedad.
- Procesos de humedecimiento y secado del suelo.

El factor K puede ser evaluado en lotes experimentales, si se resuelve alguna de las ecuaciones siguientes:

$$K = A/RLSCP \quad \text{para condiciones no estándar.}$$
$$K = A/R \quad \text{para condiciones estándar.}$$

Este procedimiento es tardado y costoso, razón por la cual desde la década de los 60s se realizaron estudios para descubrir este factor en función de las propiedades del suelo.

De acuerdo con Wischmeier y Mannering, (1969), citados por Mitchell (1984), en esos estudios se involucraron 15 propiedades del suelo y sus interacciones, obteniendo una ecuación de regresión múltiple de 24 términos, la cual, desde luego resultó bastante complicada para usos prácticos.

Por esta complejidad se optó por la solución nomográfica para obtener el valor de K. Además en estas investigaciones se determinó: a) la fracción limosa se amplió para incluir a las arenas muy finas, mejorando la predicción, b) el producto del porcentaje de limos y el porcentaje de arena-limos explicó el 85% de la variación en los valores de K observados en los suelos estudiados, lo que hace posible la predicción de la erosionabilidad de un suelo a partir de datos de laboratorio.

Para utilizar el nomograma de erodabilidad, se necesita conocer los cinco parámetros del suelo siendo estos:

- 1.- % de limos (0.002-0.05 mm) y % de arenas muy finas (0.05-0.10 mm).
- 2.- porcentaje de arena (0.05-2.0 mm).
- 3.- contenido de materia orgánica, en %.
- 4.- estructura.
- 5.- permeabilidad.

De estos tres parámetros, los tres primeros se obtienen a partir del análisis de muestras de suelo en el laboratorio, mientras que los dos restantes se determinan en campo, según la valoración que se da en el nomograma mismo. Cabe mencionar que, si solo se dispone de los tres primeros, puede determinarse una primera aproximación de K, como se indica en la primera parte del nomograma.

Los valores de K varían desde cerca de cero hasta casi 0.10 de acuerdo con el nomograma modificado por Foster *et al.* en 1981, que es la versión más utilizada actualmente.

Con la ayuda del nomograma (Fig. 3), resulta fácil determinar el valor K; sin embargo, al igual que en el caso de R, desafortunadamente en muchas regiones de diversos países no se cuenta con los datos necesarios para utilizar este procedimiento, por lo cual la FAO en 1980, propone el cálculo del factor K a partir de la textura superficial (utilizando cuatro grupos texturales) y la unidad de suelo a la que pertenece el mismo según la clasificación FAO/UNESCO.

Longitud de la pendiente (Factor L).

La longitud de la pendiente se define como "La distancia desde el punto de origen del escurrimiento superficial, al punto donde el grado de la pendiente decrece lo suficiente para que la depositación empiece, o el escurrimiento entre a un canal bien definido, el cual puede ser parte de una red de drenaje natural, o un canal construido" (Arnoldus, 1977).

Para aplicar la EUPS, el factor longitud de la pendiente se evalúa con la expresión propuesta por Wischmeier y Smith en 1965 y es definido como:

$$L = \left(\frac{X}{22.1} \right)^m$$

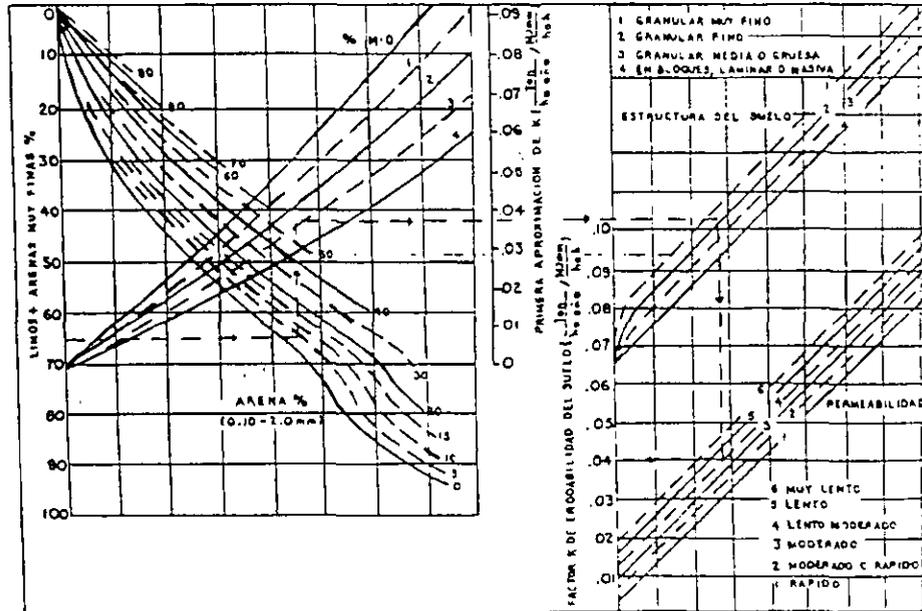


Figura 3. Nomograma para la determinación del valor de K (Wischmeier *et al.*, 1971)

Modificado por Foster *et al.*, (1981).

Donde:

L = Factor longitud de la pendiente (adimensional)

X = Longitud de la pendiente (m)

m = Coeficiente que depende del grado de la pendiente (varía de 0.2 a 0.6)

m = 0.2 para pendientes menores de 1%

m = 0.3 para pendientes de 1 a 3%

m = 0.4 para pendientes de 3.5 a 5%

m = 0.5 para pendientes de 5 a 10%

m = 0.6 para pendientes mayores de 10%

Grado de la pendiente (Factor S).

La topografía es un factor que afecta las pérdidas de suelo, por esta razón el grado y la longitud de la pendiente tienen estrecha relación con la erosión.

Al igual que la evaluación de del factor L, Wischmeier y Smith en 1965 proponen estimar el factor grado de pendiente (S) con la siguiente expresión:

$$S = 0.065 + 0.045(s) + 0.0065s^2$$

Donde:

S = Factor grado de pendiente (adimensional)

s = Grado de pendiente (%)

Cobertura vegetal (Factor C).

Wischmeier y Smith (1978), dicen que el factor C en la EUPS; es la proporción de pérdida de suelo al tratar de conservarlo bajo condiciones específicas, además este factor mide los efectos de una posible pérdida de suelo, combinando e interrelacionando coberturas y varios manejos del suelo, ya que mucho de las pérdidas depende sobre la particular combinación de cobertura y secuencia de cultivo y práctica de manejo, dependiendo sobre el particular estado del crecimiento y desenvolvimiento de la cubierta vegetal, así como el tiempo que dure la lluvia. De acuerdo con esta definición, los valores del factor C varían de 0 a 1. Bajo suelo desnudo y barbecho continuo su valor es 1 y disminuye al incrementarse el nivel de cobertura.

Stalling (1977), observó que la cobertura vegetal protege al suelo contra el impacto de las lluvias y nota que la estructura granular y floja de los suelos no protegidos, se disgrega aún más con la lluvia. Bennett (1939), menciona que los escurrimientos son bajos debido a que la infiltración del agua a través de las superficies cubiertas de vegetación son altas en comparación con las del suelo desnudo, (Woodward, 1943), ya que los suelos cubiertos por la vegetación con frecuencia tienen una mejor estructura y agregados más estables. (Ayres, 1960), por lo tanto la cobertura vegetal protege al suelo de la lluvia de diferentes formas como son: a) dispersión directa, intercepción por el follaje y evaporación de las gotas de lluvia y de esta forma no llegan directamente al suelo. b) protección directa contra el impacto de las gotas de lluvia. c) el sistema radicular sujeta a las partículas del suelo. d) al penetrar las raíces a través del perfil, las cuales al morir y descomponerse dejan numerosas cavidades tubulares que aumentan la infiltración. e) los residuos orgánicos que esta produce, mejoran la estructura del suelo, aumentando la infiltración. f) además disminuye la velocidad de la escorrentía superficial. Por lo tanto (Ortiz, 1969), la cobertura vegetal es la mejor defensa de un terreno contra la erosión (Stalling, 1977), si no existe cobertura vegetal, el espacio poroso disminuye, (Kirkby 1984), además las hojas y las raíces de las plantas inhiben el movimiento de las partículas del suelo. Las hojas forman una cubierta que impide y reduce la velocidad del agua corriente y las raíces consolidan al suelo.

En cuanto a la determinación del factor C en ecosistemas forestales Dismeyer y Foster (1981) proponen el uso de subfactores para la determinación de éste:

- Porcentaje de suelo sin vegetación.
- Cobertura forestal.
- Resistencia del suelo a ser disgregado.
- Contenido de materia orgánica.
- Raíces finas que permanecen después que la vegetación ha sido eliminada.
- Residuos de la deforestación.
- Sitios de depositación.
- Formación de bordos.
- Prácticas de conservación.

Cada uno de estos factores se expresa en valores que van desde cero hasta uno, donde el valor mínimo será otorgado a ecosistemas no alterados y el valor máximo a aquellas situaciones en las que el ecosistema presenta la alteración máxima.

Factor de prácticas de conservación (P).

El factor P de la EUPS es la proporción de la pérdida de suelo que se presenta cuando se hace uso de algunas prácticas específicas, en comparación con la pérdida de suelo ocurrida cuando se cultiva en laderas sin prácticas de conservación alguna. Los métodos de control de la erosión incluidos en este factor son generalmente el surcado al contorno, el terraceo y el cultivo en fajas.

2.10.5. Riesgo de erosión.

El riesgo de erosión se define como el efecto combinado de los factores activos (agua) y pasivos (suelo), en este último caso representado por los factores de erodabilidad del suelo (K). Este concepto representa la pérdida máxima potencial del suelo o erosión máxima a la que puede estar sujeto un determinado terreno, cuando carece de vegetación y prácticas de conservación. Los rangos recomendables para éste riesgo son presentados en el cuadro siguiente:

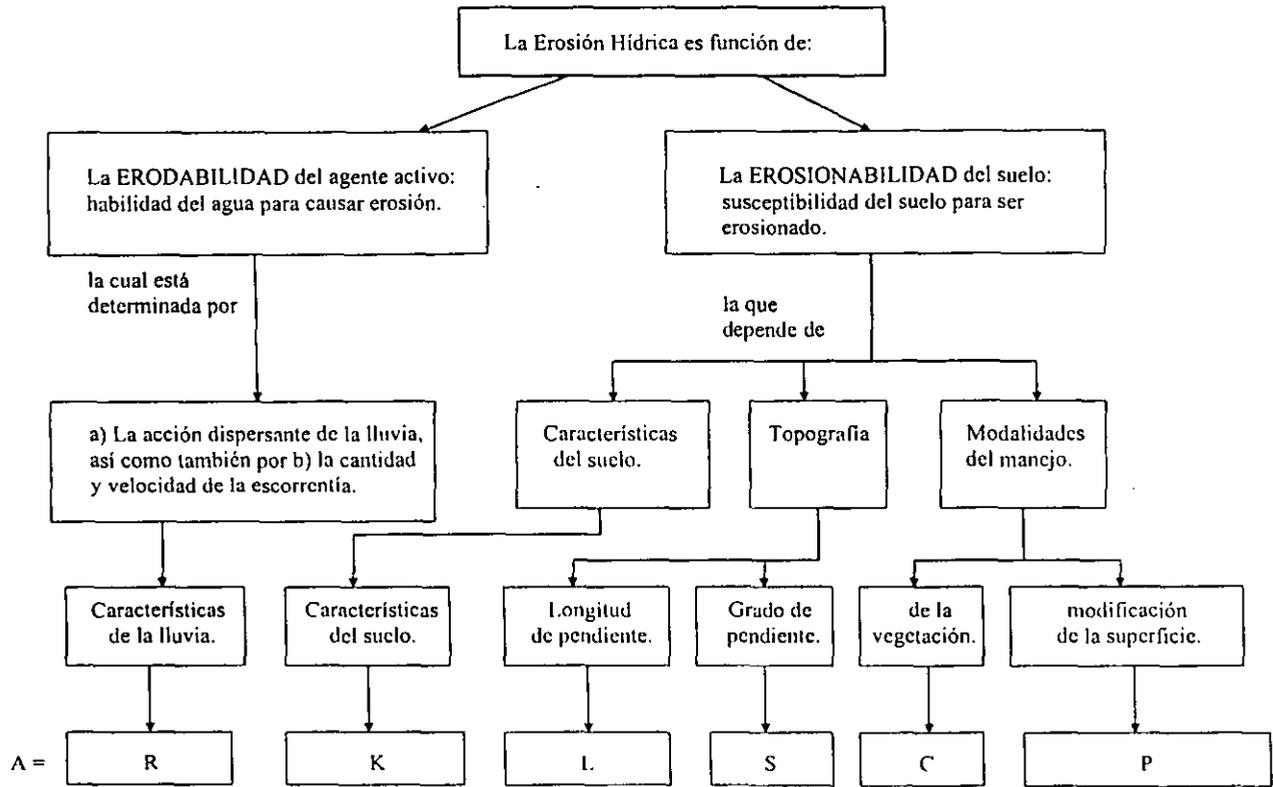
Cuadro 3. Rangos recomendables para el riesgo de erosión.

Clase	Símbolo	Rango (t/ha/año).
Muy Bajo	MB	0-15
Bajo	B	15.1-50
Moderado	M	50.1-200
Alto	A	200.1-1000
Muy alto	MA	> 1000

Figuroa *et al.*, (1982).

2.10.6 Estado actual de erosión.

El estado actual de erosión se refiere a las condiciones del proceso erosivo importantes en el terreno en un momento determinado, sin importar el lapso en que ocurrió dicho proceso para clasificar un terreno de acuerdo con este concepto de la erosión se han propuesto varios



No considerado a nivel parcelario, pero determinante a nivel de cuenca.

Figura 4. Esquema conceptual de los factores de la erosión hídrica. (Becerra, 1997).

criterios entre los cuales se tienen: el tipo de erosión, el porcentaje de erosión con subsuelo al descubierto, el porcentaje de área de cárcavas y el espesor del suelo (FAO, 1984).

2.10.7 Velocidad actual de erosión.

Esta comprende el efecto conjunto de todos los factores que influyen sobre la erosión en un terreno determinado, para estimar la velocidad de la erosión al igual que el riesgo de erosión y el estado actual de erosión existen varios criterios como son: el aumento del área erosionada, la pérdida de suelo en t/ha/año y la disminución de la productividad anual de biomasa. Los rangos de la velocidad actual de erosión se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Rangos de velocidad actual de erosión

Velocidad	Símbolo	Pérdida (t/ha/año)
Muy baja	MB	0-15
Baja	B	15.0-50
Moderada	M	50.1-200
Alta	A	200.1-1000
Muy alta	MA	> 1000

Figuroa *et al.*, (1982).

2.10.8 Pérdida permisible de erosión.

La pérdida de suelo se define como la tasa máxima de erosión de suelo que permite que se sostenga un alto nivel de productividad (Morgan, 1984). Esto se puede lograr cuando la velocidad de pérdida de suelo no sea mayor que la velocidad de formación del mismo. Bennett (1939), estimó que bajo condiciones naturales sin disturbio de la vegetación se necesitan cerca de 300 años para producir una capa de 25 mm de suelo; sin embargo cuando existe alteración del suelo por laboreo, pastoreo, etc; se acelera el intemperismo y el período de formación se reduce a 30 años aproximadamente.

La tolerancia a la erosión de un suelo está en función del tipo de suelo, espesor, clima, manejo, vegetación, ubicación y tipo de material parental entre otros. Considerando la profundidad efectiva del suelo y el material parental del mismo; Romo (1987), cita valores de pérdidas permisibles de suelos, los cuales fueron establecidos por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Cuadro 5).

Aunque se estima que la tasa máxima de tolerancia de pérdida de suelo a menudo excede la velocidad de desintegración de muchos materiales parentales y que la investigación sobre las tasas de tolerancia deben continuar, se estima que dadas las características consideradas para el establecimiento de éstas siguen siendo aún válidas actualmente.

Algunos autores han estudiado las tasas de pérdida de suelo aceptables, entre ellos Edwards (1962), Stamey & Smith (1964) y Skindmore (1979), han propuesto diversas ecuaciones para derivar los valores de tolerancia, sin embargo dada la dificultad de cuantificación de las variables que intervienen en estas ecuaciones, ninguna de ellas ha sido a la fecha adoptada.

Por lo tanto en la actualidad siguen siendo los límites propuestos por el Servicio de Conservación de Suelos los más aceptables, mismos que lo han modificado de acuerdo a un adecuado conocimiento de las condiciones específicas de cada región.

Cuadro 5. Pérdidas permisibles de suelo.

Prof. (cm)	Material Parental	Pérdida (t/ha/año).				
		11.0	9.0	6.7	4.5	2.2
> 100	Rocoso	*				
> 100	Arena o grava	*				
50-100	rocoso	*				
50-100	Arena o grava		*			
25-50	Rocoso			*		
25-50	Arena o grava			*		
10-50	Lecho arcillosa.			*		
< 25	Lecho rocoso.					*
< 25	Arena o grava				*	
0	Lecho arcilloso				*	

Fuente: Romo, 1987.

2.11 Erosión en México.

La degradación de los suelos es uno de los principales problemas que afronta la humanidad, (Duarte, 1990) si se considera por un lado que los alimentos y muchos otros satisfactores del hombre se obtienen a partir del suelo y del agua mediante la actividad agropecuaria y forestal y por otro lado se hace conciencia de que cada vez hay menos terrenos productivos en el planeta por los diversos procesos de degradación del suelo, entre los cuales el más importante es la erosión.

La erosión es un proceso complejo, en parte originado por factores naturales, pero acelerado en gran medida por la actividad humana. Cuando la erosión tiene sólo causas naturales, generalmente hay una tendencia al equilibrio entre los procesos de formación y los de desgaste del suelo, esto se considera como erosión "normal", pero cuando el hombre usa o maneja inadecuadamente este recurso, altera dicho equilibrio acelerando el proceso erosivo. A esto se le llama erosión "inducida" (Becerra, 1997; Torres, 1999).

La FAO en 1988, menciona que en México las zonas áridas y semiáridas representan más del 50% de la superficie nacional. Más del 50% de las tierras del país están a una altura mayor de 1000 msnm y gran parte de ellas sobre laderas de pendiente regular o aguda.

En el Cuadro 6 se muestran los porcentajes de superficie afectada en el país, de acuerdo con diversas fuentes. Se puede observar que los datos reportados varían considerablemente, lo cual se debe a que en cada estudio fue utilizada una metodología diferente. No obstante esta variación, se puede afirmar que alrededor del 80% del territorio nacional está afectado por erosión. Sobre el mismo aspecto, la SEDUE en 1986 indica que de los casi 200 millones de hectáreas que comprende el país, 92.53 millones (47.2%) están clasificadas con erosión severa o total, y solo 28.14 millones (14.4 %) no presentan problemas de erosión.

La Comisión Nacional de Ecología (1988), estimó que en el país el promedio anual de pérdida de suelo es de 2.75 t/ha que al ser arrastradas por el agua, originan la formación de 535 millones de toneladas de sedimentos, de los cuales el 60% se descargan en los océanos y el 31% se depositan en presas y embalses naturales, lo que reduce en 151 millones de m³ su capacidad de almacenamiento. Agrega que, según la SARH (1979), 154 millones de hectáreas están sujetas a diversos grados de erosión, cifra que representa el 78% del territorio nacional.

Cuadro 6. Estimaciones de la extensión de la erosión en México.

Autor	Año.	Superficie afectada.	Forma de cuantificación.
Baldwin.	1945	45%	Indirecta.
SAG.	1960	69%	Estimaciones visuales.
Andrade.	1975	80%	Indirecta.
Estrada.	1982	98%	Ecuaciones paramétricas.
García.	1983	71%	Imágenes de satélite.
SARH.	1986	81%	Imágenes de satélite.

Fuente: SARH (1991).

El INEGI (1994), reporta la clasificación de áreas erosionadas por regiones y entidades del país mostradas en el Cuadro 7. Estos resultados coinciden con otras fuentes en que alrededor de un 80% del Territorio Nacional estén erosionados; además se puede observar en este cuadro que dicho porcentaje es excedido en 20 estados, en siete de los cuales el porcentaje de superficie afectada por erosión es superior al 90%; tales entidades son: Sonora, Nuevo León, Coahuila, Aguascalientes, Puebla, Tlaxcala y Morelos como se muestra en la Figura 5.

En México el problema de la erosión ha sido subestimado, sobre todo en las regiones cuyas condiciones climáticas naturales permiten un desarrollo de la vegetación a las que se les atribuye la capacidad de mantener altos niveles de producción agrícola; es entonces cuando las necesidades alimenticias arrasan a las zonas naturales para convertirlas en sistemas agrícolas, provocando la pérdida de suelo. Lo anterior trae como consecuencia la alteración ecológica de la parte afectada, traduciéndose en un abatimiento de la productividad, disminución de la producción neta y pérdida de grandes extensiones de terreno con capacidad agrícola, ganadera, etc.(INIREB, 1984).

Cuadro 7. Estimación de áreas erosionadas en México.

Regiones.	Erosión (miles de hectáreas)					Total (%)
	inicial.	moderada.	Acelerada.	Totalmente erosionada.	Erosión del Edo.	
I Chihuahua.	4 250	13 188	2 109	681	20 278	81.9
Sonora.	2 558	10 870	3 255	166	16 798	90.8
B. California.	1 146	2 364	1 791	860	6 160	86.0
B. California Sur.	1 015	2 174	2 029	1 159	6 377	88.0
Total.	8 918	28 595	9 183	2 866	49 564	86.0
II Durango.	4 079	5 512	863	298	10 752	89.9
Zacatecas.	2 057	367	3 085	1 469	6 978	95.0
Sinaloa.	1 170	1 111	1 228	1 170	4 679	80.0
Total.	7 305	6 990	5 176	2 937	22 409	89.1
III San Luis Potosí.	1 666	2 811	575	32	5 084	81.0
Tamaulipas.	769	2 388	1 353	1 194	5 731	72.0
Nuevo León.	1 693	1 497	2 734	326	6 250	96.0
Coahuila.	1 654	4 662	6 918	1 504	14 739	98.0
Total.	5 810	11 358	11 581	3 065	31 804	88.9
IV Jalisco.	81	1 459	4 134	567	6 241	77.0
Nayarit.	1 219	607	76	7	1 909	69.1
Colima.	20	88	224	62	369	76.0
Aguascalientes	82	192	110	137	521	95.1
Total.	1 403	2 347	4 544	774	9 067	76.0
V Michoacán.	1 912	2 247	441	-	4 600	76.8
Guerrero.	1 978	2 500	560	-	5 038	79.0
México.	919	611	28	7	1 566	73.0
Guanajuato.	506	874	383	218	1 980	64.7
Total.	5 315	6 232	1 412	225	13 184	75.0
VI Oaxaca.	1 413	1 884	1 844	2 826	8 010	85.0
Veracruz.	3 462	96	2	1	3 561	49.0
Puebla.	1 922	851	357	131	3 616	96.2
Tlaxcala.	70	209	77	10	367	93.7
Morelos.	293	110	13	-	476	96.4
Hidalgo.	746	670	148	20	1 584	75.5
Total.	7 908	3 820	2 482	2 988	17 258	74.8
VII Chiapas.	2 124	447	64	-	2 636	35.7
Campeche.	2 038	917	306	204	3 465	68.0
Quintana Roo.	1 913	504	252	756	3 424	68.0
Tabasco.	887	380	127	350	1 764	70.0
Yucatán.	192	1 194	193	1 694	3 273	85.0
Total.	7 155	3 442	941	3 034	14 572	61.0
VIII Distrito Federal.	62	12	1	-	75	50.0
Querétaro.	333	313	288	16	949	81.0
Total.	395	325	289	16	1 024	77.0
Sumas totales.	44 209	63 109	35 608	15 905	148 881	

Fuente: INEGI (1994).

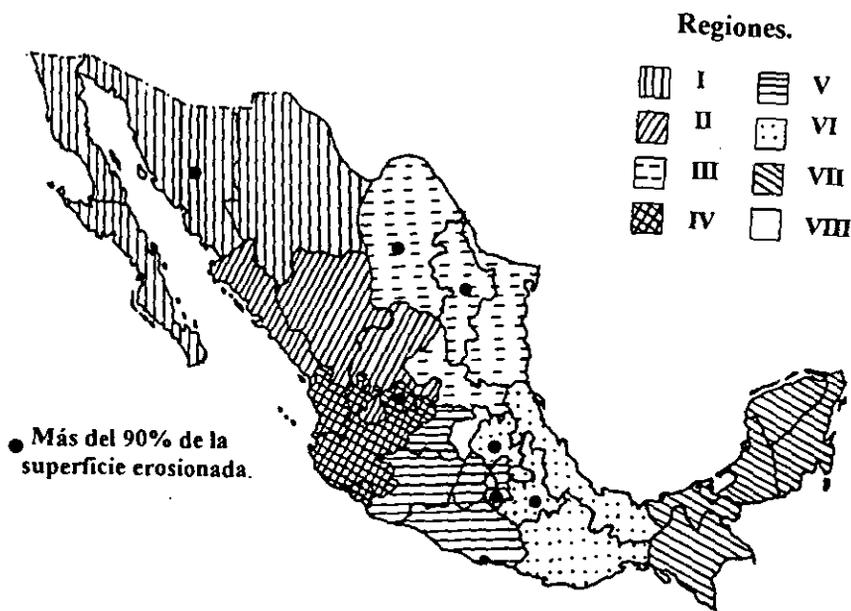


Figura 5. Ubicación de las regiones erosionadas del país (INEGI, 1994)

3. Objetivos.

General.

Estimar la dinámica del proceso erosivo en el Parque Nacional “El Tepeyac”, Distrito Federal.

Específicos.

- Determinar las principales características físicas y químicas de dichos suelos.
- Estimar la cantidad de suelo que se erosiona en el parque en estudio, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.
- Determinar el riesgo de erosión, en el Parque Nacional “El Tepeyac”.
- Determinar la velocidad actual de erosión, del Parque Nacional “El Tepeyac”.
- Determinar el uso actual del suelo del parque.
- Proponer algunas recomendaciones para la conservación del suelo en la zona de estudio.

4 Hipótesis.

Las características físicas y químicas imperantes en los suelos de la zona en estudio son determinan en la susceptibilidad de estos para ser erosionados por la lluvia.

El uso actual del suelo de la zona en estudio, evita que se agrave el proceso de la erosión hídrica.

Ante el proceso de la erosión hídrica, las prácticas de conservación del suelo estudiado tienden a reducir la cantidad de pérdida de suelo.

5. Metodología.

El presente estudio consta de cuatro etapas, las cuales son: 1) Trabajo de gabinete (primera etapa); 2) Trabajo en campo; 3) Trabajo en laboratorio; y 4) Trabajo de gabinete (segunda etapa). A continuación se describe cada una de ellas.

5.1 Trabajo de gabinete (*primera etapa*).

Consistió en la revisión y recopilación de información en artículos, revistas y libros, etc. Así como de toda aquella información científica y de trabajos de divulgación que se han elaborado anteriormente de la zona en estudio.

Se consultaron las cartas topográficas a escala 1:10,000 (D.D.F, 1985). Así como las cartas de topografía, geología, edafología, uso actual del suelo y uso potencial en escala 1:50,000 editadas por el INEGI (1979).

Se prosiguió a elaborar el mapa topográfico base de la zona en estudio a escala 1:10,000, esto fue realizado con el apoyo de las cartas topográficas del Departamento del Distrito Federal (La Villa, San Juan de Aragón, Rústica Xalostoc y Acueducto de Guadalupe). Posteriormente se realizó trabajo de fotointerpretación en fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:15,000, esto con la finalidad de dividir el área en estudio en polígonos correspondiendo cada uno de ellos a una microcuenca, las cuales se consideraron la unidad mínima de estudio. Esta división se realizó tomando en cuenta el parteaguas de dicha área, resultando así un total de siete microcuencas. Otra finalidad de dicha fotointerpretación fue la ubicación de los principales escurrimientos de la zona. Además de la identificación del uso actual del suelo, vegetación y caminos. La selección de los sitios más representativos para la realización de los muestreos de suelo, fue realizada también mediante la fotointerpretación. Es importante mencionar que la información fue corroborada en campo.

Posteriormente la información fue vaciada en el mapa base en donde además se calculó la superficie total del área en estudio, esta determinación se realizó por medio del método de pesada y por el de malla de puntos (Becerra, 1997)

Delimitada la zona en estudio y teniendo la localización de los sitios de muestreo, se procedió a estimar la pérdida de suelo de cada una de las microcuencas. Para dicha estimación se empleo la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), donde cada factor se obtuvo por separado y el resultado de la multiplicación de todos estos representa la pérdida del suelo. Los resultados obtenidos al aplicar la ecuación se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 8. Evaluación de los factores de La EUPS.

Microcuenca	Factores						Pérdida de suelo t/ha/año.
	R	K	L	S	C	P	
1	63.06	0.02	5.18	10.41	0.24	1	16.32
2	63.06	0.04	5.72	11.33	0.81	1	132.41
3	63.06	0.02	4.77	10.45	0.34	1	21.37
4	63.06	0.02	3.12	13.61	0.64	1	34.27
5	63.06	0.02	3.84	12.89	0.34	1	21.22
6	63.06	0.03	2.68	14.26	0.59	1	42.65
7	63.06	0.03	3.78	10.96	0.41	1	32.13

Primeramente se determinó el factor **lluvia (R)**, utilizando el Índice de Fournier (1969), con los datos de precipitación de la estación meteorológica Cuauhtepac Barrio Bajo, dicho índice se expresa en la siguiente ecuación:

$$F = p^2/P$$

Donde:

F = Índice de Fournier.

p^2 = Precipitación máxima mensual (mm).

P = Precipitación anual (mm).

El calculo se hizo año por año y se obtuvo el índice anual (Fournier), estos valores se suman y se dividen entre 10 que representan los años de registro de la información de la estación climatológica, el valor resultante es el índice de erosividad de la lluvia, este mismo valor fue

empleado para cada una de las microcuencas. Esta información se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Erosividad de la lluvia.

Estación: Cuauhtepc Barrio Bajo			
Año	Precipitación máxima	Precipitación anual	Índice de Fournier
1978	122.00	596.10	24.96
1979	191.10	621.00	58.80
1980	236.30	679.90	82.12
1981	157.30	551.70	44.84
1982	138.70	488.20	39.40
1983	231.10	639.40	83.52
1984	182.70	630.30	52.95
1985	124.50	399.00	38.84
1986	280.00	473.70	165.50
1987	74.00	137.90	39.70
Total			630.63

$$R = 63.06$$

Para determinar la **erodabilidad del suelo (K)** se estimó en base al nomograma propuesto por Wischmeier *et al.*, (1971) modificado, por Foster *et al.*, (1981). Dicho nomograma requiere datos como el porcentaje de materia orgánica, de arena gruesa (0.10 mm. a 2.0 mm), de limos más arenas muy finas (0.002 mm a 0.10 mm), así como el tipo de estructura y permeabilidad del suelo.

En dicha determinación se consideraron 10 muestras de suelo, distribuidas en las diferentes microcuencas. En este caso solo se tomaron en cuenta las muestras del horizonte superficial, las cuales fueron llevadas para su análisis al laboratorio de Fertilidad de Suelos del Instituto de Geología de la UNAM. (Los resultados de estos análisis se presentan en los cuadros 13y14)

Una vez obtenidos los resultados de cada horizonte de los diferentes perfiles, se procedió a utilizar el nomograma para obtener el valor de K, para esto se sacó un promedio de los valores obtenidos en el nomograma y finalmente obtener el valor de dicho factor, ver cuadro 8

El factor **longitud de la pendiente (L)**, se determinó de forma manual en el mapa base, esto fue en cada uno de los escurrimientos de las microcuencas, los cuales resultaron de la fotointerpretación. Se utilizó la fórmula $L = (x/22.13)^m$, propuesta por Wischmeier y Smith

(1965); para esto se cálculo la distancia horizontal misma que se obtuvo de medir la longitudud del tramo del escurrimiento, este valor es transformado a metros y sustituido en la mencionada fórmula de la cual finalmente se obtiene en valor del factor mencionado. Cuadro 8.

El **grado de pendiente (S)**, se determinó también de forma manual empleando la siguiente ecuación:

$$P = h/I \times 100$$

Donde:

P= Pendiente
h= Distancia vertical (m)
I = Distancia horizontal (m)

Para determinar la distancia vertical fue necesario conocer la distancia en metros entre las curvas de nivel de cada escurrimiento, utilizando para esto el mapa base. Teniendo la distancia vertical y la horizontal (se calcularon en el factor L) son divididos y multiplicados por 100 para obtener así el valor de la pendiente, este valor es sustituido en la siguiente ecuación:

$$S = 0.065 + 0.45(s) + 0.0065(s)^2$$

Donde:

S = Factor grado de pendiente
s = Pendiente del terreno (%)

Al igual que el factor L, Wischmeier y Smith *op cit* proporcionan dicha ecuación para obtener el factor S. Los resultados se muestran en el cuadro 8.

Para la estimación del factor **cobertura vegetal (C)** se utilizáron fotografías aéreas, donde se determinó el tipo y superficie de cobertura vegetal para cada microcuena. También se consultó la carta de uso del suelo de la zona en estudio, a fin de emplear la siguiente ecuación, propuesta por Williams y Berndt en 1975 citado por la SARH, 1987.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times D_{ai}}{D_a}$$

Donde:

C = Valor del factor cobertura vegetal para la microcuena.
C_i = Valor del factor cobertura vegetal por uso del suelo.
D_{ai} = Area parcial de cada uso del suelo (ha).
D_a = Area total de la microcuena (ha).
n = Número de áreas parciales por cada cubierta vegetal.

Además se utilizaron los valores de C, para pastizales y terrenos ociosos propuestos por Wischmeier y Smith (1978), así como también la de bosques empleada por el Servicio de Conservación de los Suelos de los E.U.A (1972). Ver anexo. De esta manera se obtienen valores que van de 0, esto cuando la cobertura vegetal aumenta tanto en densidad como en frecuencia y valores de 1 cuando el suelo se encuentra desnudo y en continuo laboreo.

A cada área de uso de suelo de las diferentes microcuencas se les dio un valor según las tablas antes mencionadas, este valor es multiplicado por el área parcial de cada uso de suelo y dividido a su vez por el área total de la microcuenca y se obtiene el valor de C. El procedimiento se hizo en cada microcuenca de la zona en estudio y los resultados se presentan en el cuadro 8.

El **Factor prácticas de conservación (P)** no pudo ser evaluado, ya que el número de obras de conservación del suelo en las diferentes microcuencas de la zona en estudio es muy limitado y la información no está disponible, por lo tanto a este factor se le dio el valor de 1, con base en Santos (1995), mismo que menciona que en ausencia de prácticas mecánicas el factor P toma el valor mencionado.

5.2 Trabajo en campo.

Una vez ubicadas y delimitadas las microcuencas y seleccionados los puntos o sitios más representativos para la realización de los muestreos de suelo en el mapa base, posteriormente en campo se abrió en promedio una calicata para cada una de las microcuencas, aunque en algunas microcuencas se muestreo más de una, considerando que la zona presentaba más de un sitio característico para ser analizado. En total se describieron 10 perfiles, basándose para su descripción en el “Manual para la Descripción de Perfiles de Suelos en Campo” de Cuanalo de la Cerda (1991). Así mismo, la toma de las muestras de suelo se hizo por horizonte y se tomaron aproximadamente 2 kg de suelo, para su posterior análisis en el laboratorio.

5.3 Trabajo en laboratorio.

Las determinaciones físicas que se realizaron fueron: color en seco y húmedo por comparación con las tablas de Munsell (1975); densidad aparente por el método de la probeta (Baver, 1953), densidad real por el método del picnómetro (A.S.T.M. 1958); textura por el método de la pipeta (Day, 1965); porosidad por la relación entre la densidad aparente y densidad real.

Las determinaciones químicas que se realizaron fueron: pH en agua con relación 2:1 por medio del potenciómetro; Materia Orgánica por el método de Walkley y Black (1947); Capacidad de Intercambio Catiónico Total y Cationes Intercambiables por saturación con acetato de amonio 1N pH 7 por el método de percolación (Peech, 1947); Ca y Mg por titulación con Versenato (Jackson, 1964); Na y K por flamometría (Jackson, 1964).

5.4 Trabajo de gabinete (*Segunda etapa*).

Consistió en el análisis e interpretación de resultados obtenidos en el trabajo de laboratorio y campo, determinando la cantidad de suelo perdido por erosión hídrica, en el Parque Nacional “El Tepeyac”. Se elaboraron los mapas de riesgo por erosión y el de velocidad actual de erosión del suelo, para esto fue necesario tener el valor multiplicativo de los diferentes factores de la ecuación de pérdida de suelo de cada microcuenca, con la finalidad de obtener la clase de erosión, empleando los rangos propuestos por Figueroa (1982), esta información fue pasada al mapa base en donde se obtuvo la o las diferentes clases de riesgo y de velocidad actual de erosión, por último se presentan algunas recomendaciones para la conservación de los suelos del parque.

6 Localización del área de estudio.

6.1 Localización geográfica.

El Parque Nacional “El Tepeyac”, se ubica al norte de la Ciudad de México. Políticamente bajo la jurisdicción de la Delegación Gustavo A. Madero (Figura 6). Y geográficamente se localiza en los 19°30' y 19°31' de latitud norte y entre los 99°06' y 99°07' de longitud oeste a una altitud de 2240. msnm (INEGI, 1985).

6.2 Superficie y límites.

El Parque Nacional “El Tepeyac” está conformado por los cerros (domos volcánicos) Gachupines, Vicente Guerrero y Zacatenco, mismos que comprenden una superficie total de 516.21 ha (Cuadro 8) consideradas a partir de la cota 2250 a la 2500 msnm; de esta área corresponden 381.11 ha al Distrito Federal y 135.10 ha al Edo. de México. Aunque es importante mencionar que la superficie actual del parque está integrada por 181.10 ha según el Departamento del Distrito Federal (1985), ver Figura 7, sin embargo la superficie que se maneja en el presente estudio está basada en la integración de los cerros Zacatenco, Vicente Guerrero y Gachupines por lo cual se consideraron las cotas antes mencionadas.

El parque limita al norte con la zona urbana de San Juan Ixhuatepec en el Edo. de México; al sur con la avenida Cantera en el Distrito Federal; al este con la avenida Centenario y al oeste con la avenida Acueducto de Guadalupe perteneciendo ambas al Distrito Federal (Mapa 1 y 2).

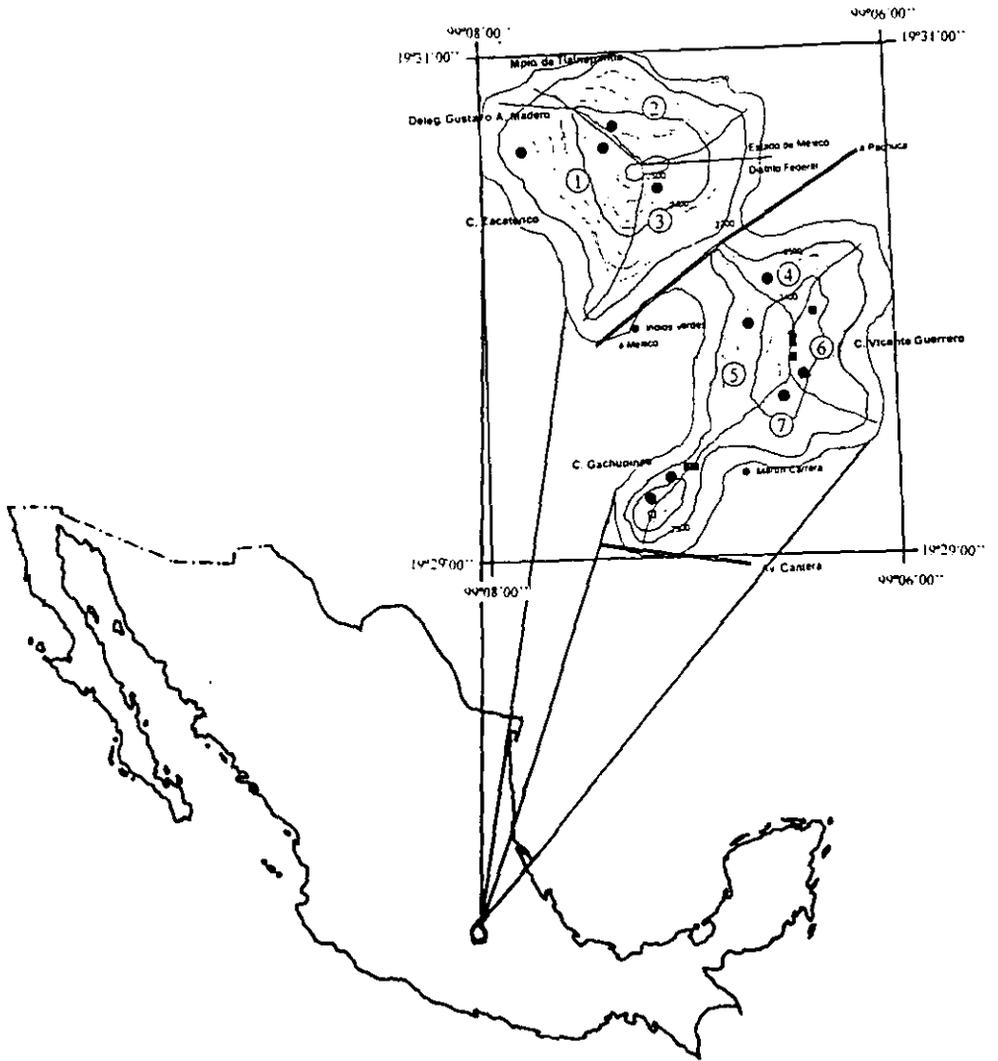


Figura 6. Croquis de localización.

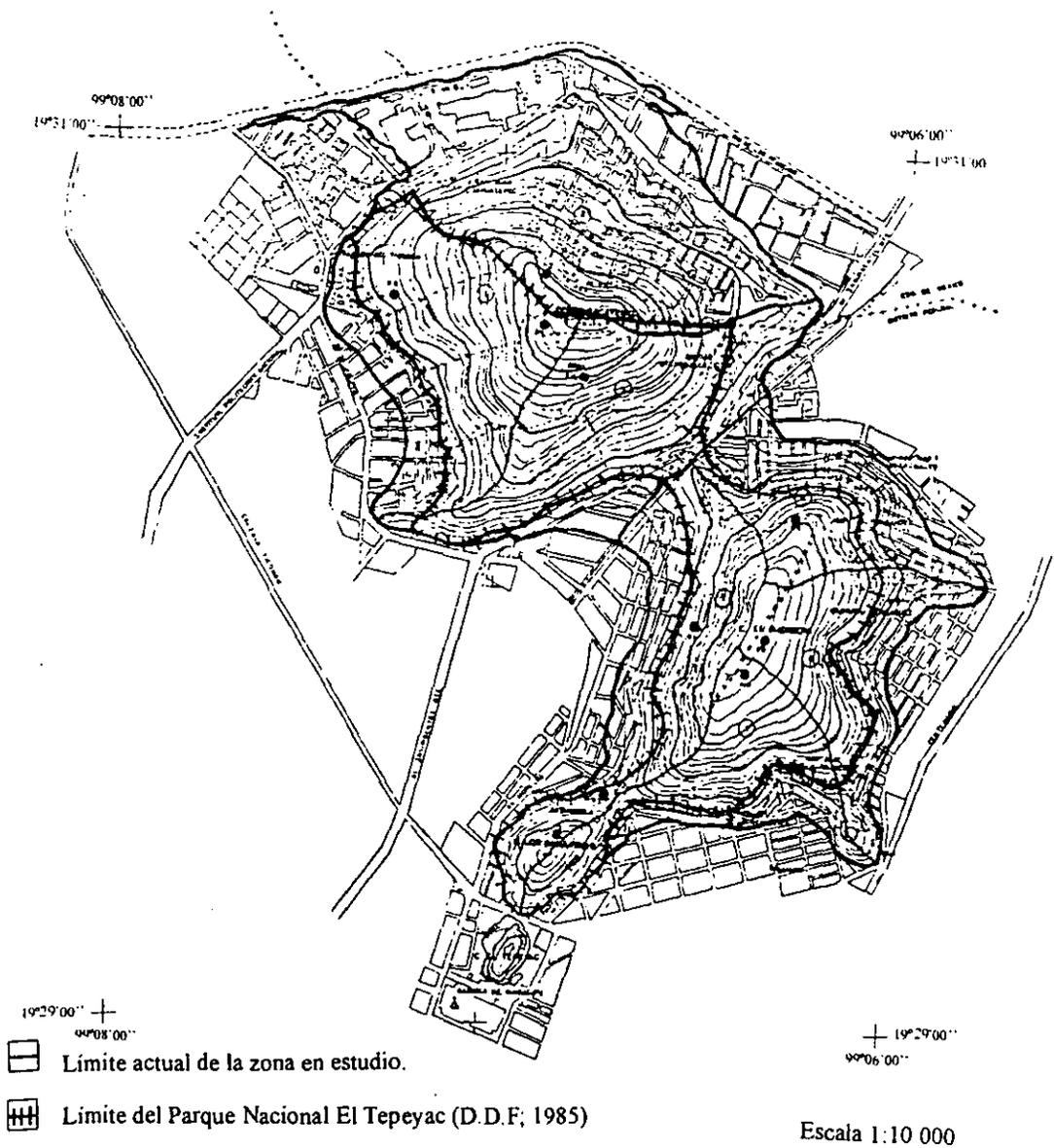


Figura 7. Límite de la zona en estudio

7. Características fisiográficas.

7.1 Geología.

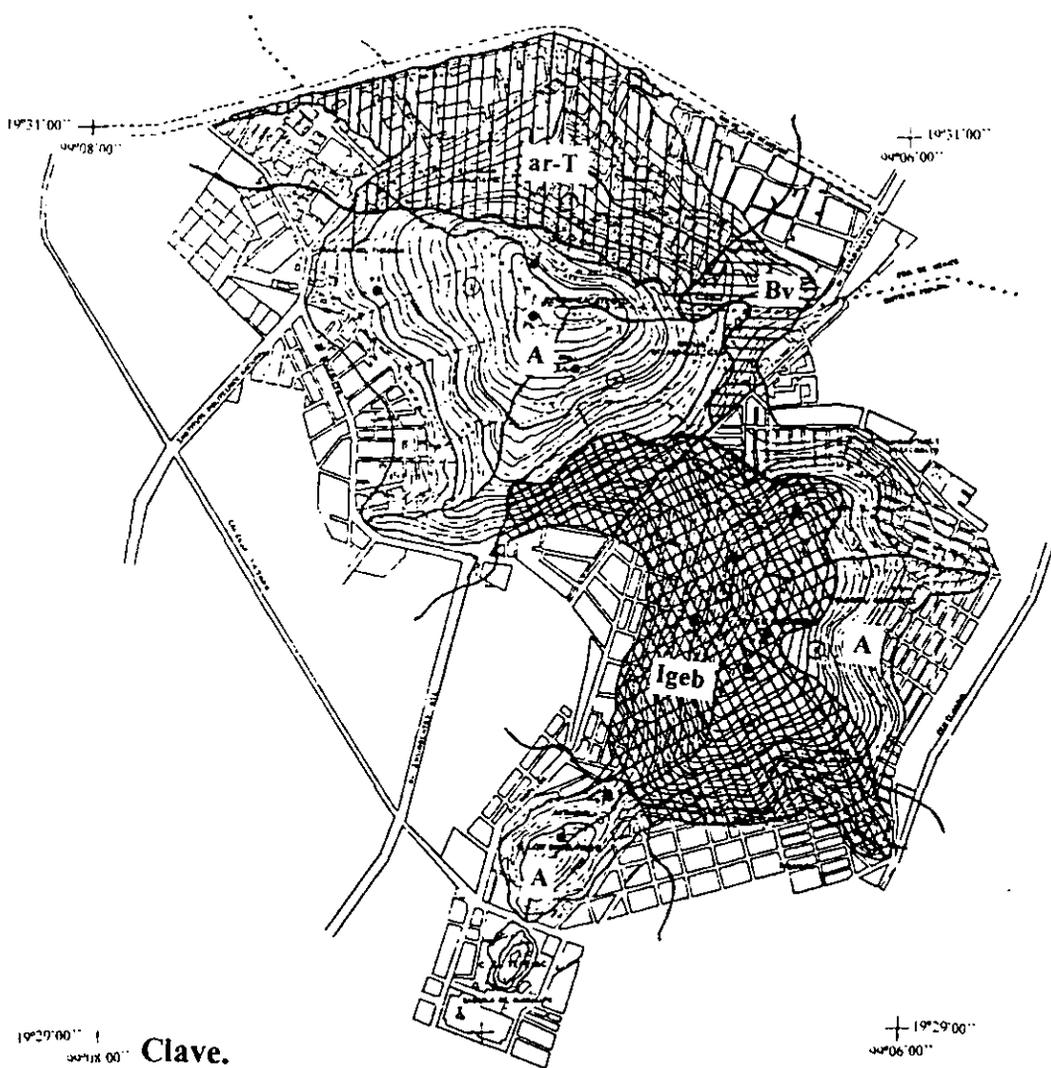
De acuerdo con Mooser (1962) citado por Hernández (1982), los volcanes estratificados conformantes del parque tuvieron una actividad explosiva y muchos culminaron con una actividad efusiva, es decir con la formación de un domo, los cuales pertenecen a la formación Santa Isabel-Peñon, teniendo origen en el plioceno, además de estar compuestos de andesitas de piroxeno y olivino.

Vargas (1997), menciona que el norte del cerro Zacatenco se caracteriza por la arenisca y fragmentos de tobas, producto del intemperismo y erosión de las rocas del Terciario Medio y Superior, alternando con depósitos de piedra pómez y cenizas volcánicas contemporáneas a la formación Tarango. En las faldas del mismo cerro, en la porción Este, se localizan tobas volcánicas, correspondientes a la formación Tarango desarrollada en el Cuaternario. Finalmente menciona que en las llanuras circundantes a los cerros, se localizan depósitos aluviales del Cuaternario.

7.2 Litología.

Mooser en 1962, menciona que la zona del parque esta constituida litologicamente por andesitas de piroxeno y brechas de composición andesítica.

Por su parte el INEGI (1979) reporta que las principales rocas de dicha zona son andesitas, ígneas extrusivas básicas, brechas volcánicas y areniscas. Respecto a lo anterior la andesita cubre totalmente el cerro Gachupines, la zona centro sur del cerro Zacatenco y la parte noroeste del cerro Vicente Guerrero, es decir que dicha roca comprende una superficie de 249.43 ha que representan el 48.31% de la superficie total en estudio. Las extrusivas básicas abarcan la zona centro norte del cerro Vicente Guerrero y una pequeña área del cerro Zacatenco, estas zonas abarcan un total de 140.67 ha que representan el 27.25% de la superficie total. La arenisca se encuentra en la parte sur del cerro Zacatenco con 105.86 ha es decir el 20.50% de la superficie en estudio. Por último la brecha volcánica sólo abarca 20.25 ha las cuales representan el 3.94% de la superficie total y se localizan en la parte suroeste del cerro Zacatenco. Figura 8. Esto se hizo pasando la información de la carta litológica de la zona



Clave.

Rocas

-  Igeb extrusiva básica.
-  Bv brecha volcánica.
-  A andesita.
-  ar-T arenisca- Toba.

Escala 1:10 000

Figura 8. Litología (INEGI, 1979).

de estudio al mapa base y mediante el método de pesada y el de malla de puntos.

7.3 Relieve.

El relieve predominante es convexo con laderas de poca altitud, montañosas y de piedemonte, mismas que se reconocen de los 2 300 a los 2 400 msnm. Existen fuertes pendientes que llegan a tener valores del 15 hasta ser \geq del 40%, lo que hace evidente que en la zona se presenten escasas áreas planas.

Cuadro 10. Principales elevaciones.

Elevación	Altitud (msnm).	Superficie (ha).
Zacatenco.	2550	302.36
Vicente Guerrero.	2440	192.17
Gachupines.	2340	21.68
Total.		516.21

7.4 Clima.

Para la clasificación del clima se utilizó el segundo sistema de Thornthwaite (1942), el cual concluye un concepto muy importante como es el balance de agua, el cual consiste en la relación entre el agua aportada por la precipitación y la requerida por la vegetación en sus funciones de evaporación y transpiración.

Este método se aplicó a los datos de la estación meteorológica Cuauhtepc Barrio Bajo, cuyas coordenadas geográficas son 19° 32' de latitud norte y 99° 08' de longitud oeste. El clima obtenido es un semiseco (PG), con pequeña a nula demasia de agua (SA), templado frío (TD), con una concentración baja de temperatura en el verano (VA), Cuadro 11.

La temperatura media anual es de 16.5 °C, mientras que la temperatura del mes más cálido es de 19.1 °C y se presenta en mayo, esta temperatura va descendiendo conforme pasan los meses hasta llegar a la mínima de 13.3 °C que se presenta en enero.

Con respecto a la precipitación se tiene que la media anual es de 52.1 cm; el mes más lluvioso

Clasificación del clima (Segundo Sistema de Thornthwaite 1942).

Estación: Cuauhtepc Barrio Bajo

Clave: 09-017

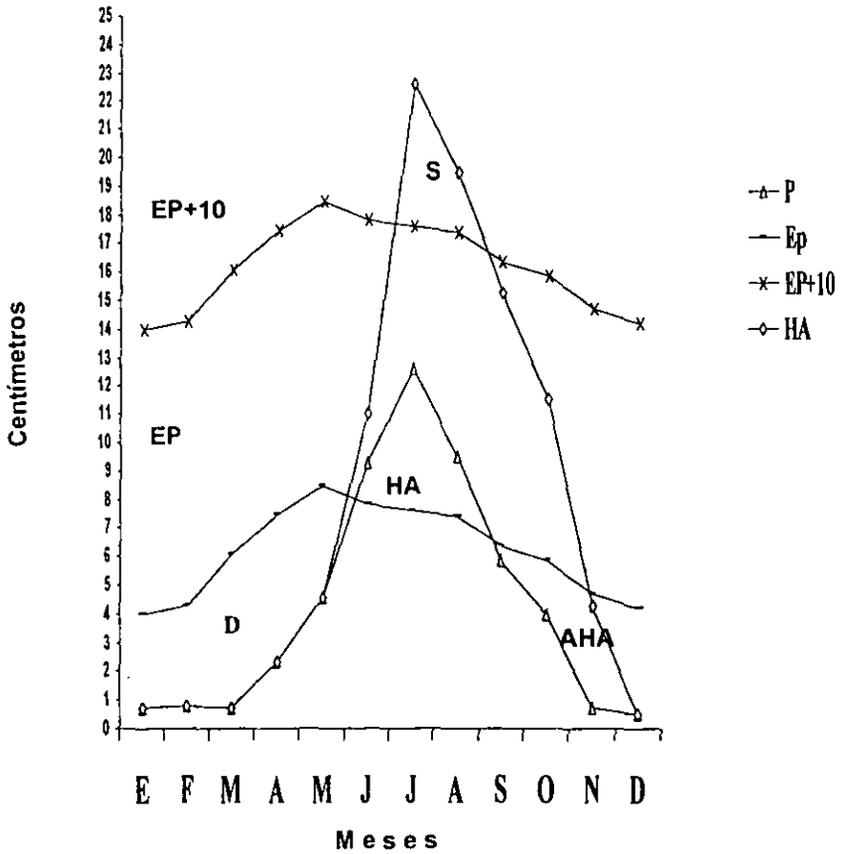
Delegación: Gustavo A Madero.

Localización: Latitud: 19° 32'

Longitud: 99° 08'

Altitud: 2200 msnm

Concepto	Meses												Valor medio o anual.
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Temp. Media (TE)	13.37	14.38	16.50	18.48	19.10	18.36	17.67	17.74	17.13	19.43	14.94	13.79	TEA= 16.50
Precip. Media (PR)	0.70	0.83	0.70	2.39	4.62	9.35	12.68	9.54	5.92	4.09	.79	0.52	PAR= 52.13
Indice de calor (ICM)	4.43	4.95	6.09	7.23	7.60	7.16	6.76	6.80	6.45	6.05	5.27	4.64	ICA= 73.43
Evap. sin corr. (EV)	4.24	4.78	5.98	7.20	7.60	7.12	6.69	6.73	6.36	5.94	5.12	4.46	
Factor de Corr. (FC)	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.10	1.14	1.10	1.02	1.00	0.93	0.95	
Evap. Pot. Corr. (ETP)	4.02	4.30	6.15	7.56	8.58	7.83	7.62	7.40	6.48	5.94	4.76	4.23	EPA= 74.87
Mov. De Hum. (MH)	-3.32	-3.47	-5.45	-5.17	-3.96	1.52	8.48	0.00	-0.56	-1.85	-3.97	-3.71	
Hum. Almac. (HA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	10.00	10.00	9.44	7.59	3.62	0.09	
Demasía de A. (DA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	DAA= 5.56
Deficiencia de A (DE)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07	0.00	0.00	DEA= 2.13
Evap. Real (ER)	4.02	4.30	6.15	7.56	8.52	7.83	7.62	7.40	6.48	3.87	4.76	4.23	
Escurrimiento (ES)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.71	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	
Relación Pluvial (RP)	-0.82	-0.80	-0.88	-0.68	-0.46	0.19	0.66	0.28	-0.08	-0.31	-0.83	-0.87	
Indice de humedad (IH) = 7.42						Indice pluvial (IP) = 5.71							
Indice de aridez (IA) = 2.84						Concentración térmica (CT) = 29.77							
Semi seco (PG); Con pequeña o nula demasía de agua (SA); Templado - frío (TD); Con una concentración baja de temperatura en el verano (VA)													



P = Precipitación **AHA** = Aprovechamiento de agua
Ep = Evapotranspiración **S** = Demasia de humedad
HA = Humedad almacenada **D** = Deficiencia de humedad

Figura 9. Climograma de la estación Cuauhtepac Barrio Bajo, D.F.

es julio con 12.6 cm y el mes más seco le corresponde a diciembre con un promedio de 0.5 cm. En general los meses en donde la precipitación es menor que la evaporación es de octubre a mayo y cuando la precipitación es mayor que la evaporación es de junio a septiembre.

La demasia de agua se presenta de julio a agosto siendo de 5.56 cm; mientras que la deficiencia de agua es de 2.13 cm, en mayo y octubre. En términos generales la precipitación que se presenta en el parque tiene un periodo que comprende del mes de junio al mes de septiembre.

7.5 Hidrología.

En el parque se encuentran cauces de poca longitud, los cuales dan origen a escurrimientos torrenciales temporales en la época de lluvias, esto provoca inundaciones en su desembocadura en la planicie lacustre. Existen también algunas emanaciones acuíferas en las rocas volcánicas formando pequeños pozos. La infiltración es escasa, ya que el material rocoso es de poca permeabilidad y el piedemonte en gran parte ya urbanizado, lo que favorece el escurrimiento hacia la planicie. Así mismo la mayoría de los cauces tienen transectos rectos y cambios bruscos en la dirección de los escurrimientos (Figura 10) (Vargas, 1997).

7.6 Suelos.

El INEGI (1979), reporta que la mayor parte de los suelos del parque corresponden a Litosoles y en menor proporción Feozem háplico. Estos suelos presentan una profundidad de 20 cm, siendo su principal limitante la roca, su reacción al HCl es nula, con una estructura de bloques subangulares de tamaño fino de débil desarrollo, la denominación del horizonte A es mólico y presentan un drenaje interno moderado.

Los Litosoles asociados con Feozem háplico se localizan en gran parte del cerro Zacatenco, Vicente Guerrero y Gachupines mismos que abarcan una superficie de 503.21 ha que representan el 97.48% de la superficie en estudio. Los Feozem háplico asociados con Litosoles solo se localizan en pequeñas áreas del cerro Vicente Guerrero y Gachupines, los cuales presentan una superficie de 10.25 ha lo que representa el 1.98% del total de la superficie. Por último los Feozem sólo se localizan en una pequeña parte del cerro Zacatenco



Simbología

- Limite de la microcuenca.
- - -> Esguerrimiento.

Escala 1: 10 000

Figura 10. Principales esguerrimientos del Parque Nacional "El Tepeyac" (D.D.F., 1985).

con 2.75 ha que representan solo el 0.54% del total de la superficie en estudio, dicha información se puede observar en la Figura 11.

Las principales características de los suelos antes mencionados son las siguientes: Los Litosoles son suelos someros, muy pedregosos que se caracterizan por una profundidad menor de 25 cm, son producto de material volcánico y en algunos casos son el resultado de la erosión antrópica, presentan una susceptibilidad de erosión de moderada a alta.

Los Feozem háplicos, son suelos fértiles, ricos en materia orgánica, generalmente de color oscuro, su susceptibilidad a la erosión varía de acuerdo a la topografía.

Esta clasificación tendrá una modificación, más adelante en el presente trabajo, ya que los suelos se clasificaran en campo con base en FAO-UNESCO 1994.

7.7 Vegetación.

La vegetación del parque está caracterizada principalmente por una comunidad arbórea dominante a base de plantaciones artificiales. En los cerros Gachupines y Vicente Guerrero, dichas plantaciones están representadas por las siguientes especies: eucalipto *Eucalyptus* sp; casuarina *Casuarina equisetifolia*; pirú *Schinus molle*; cedro blanco *Cupressus lindleyi*; ciprés panteonero *Cupressus sempervirens* y pino *Pinus cembroides*.

El cerro Zacatenco está representado por las especies: pino *Pinus radiata*; casuarina *Casuarina equisetifolia*; pirú *Schinus molle*; eucaliptos *Eucalyptus* spp; encinos *Quercus* spp. y cactáceas spp.

La vegetación nativa del parque ha desaparecido casi en su totalidad, pero aún existen algunos ejemplares de: palo dulce o palo cuate *Eysenhardtia polystachya*; cuajilote amarillo *Bursera* sp, casahuate *Ipomoea* sp; mezquite *Prosopis juliflora*; huizache *Acacia farnesiana*; sangregado o torote *Jatropha spathulata*; tepozán *Buddleia americana*; cholla *Puntia cholla*; biznaga *Mammillaria* sp; y el membrillo cimarrón *Cotoneaster* sp (Vargas, 1997).

Existen también gramíneas, que cubren el suelo totalmente estando representadas por los géneros: *Bromus*, *Bouteloua*, *Buchloe*, *Hilaria* y *Hordeum*, las cuales invaden las laderas de los cerros mencionados.

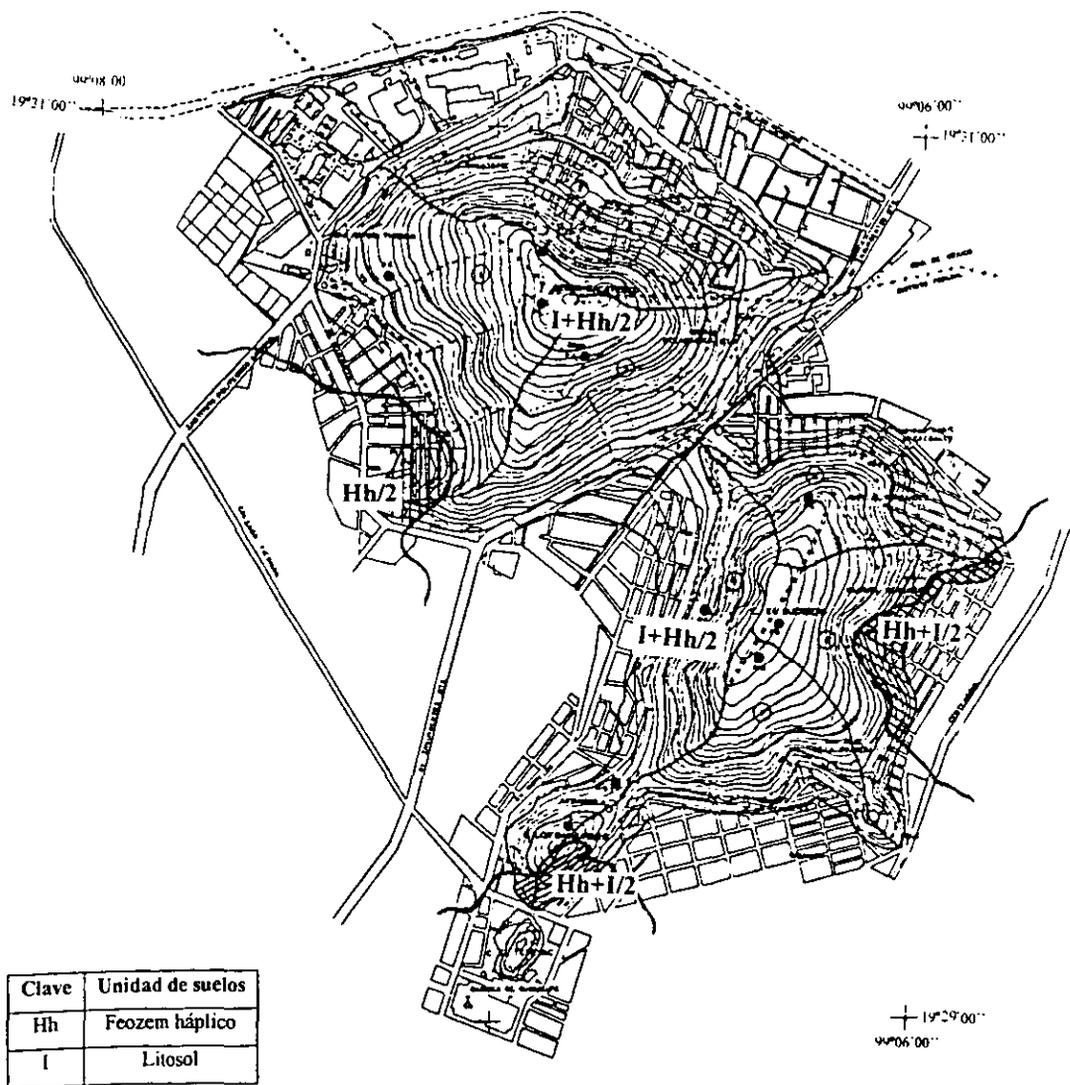


Figura 11. Suelos (INEGI, 1979).

Es importante mencionar que la vegetación que existía en el parque antes de la intervención del hombre, era propia de una zona semiárida, esto es, algunas cactáceas y matorrales xerófitos, sin embargo La SAG, (1957) menciona que ya desde 1910 se comenzó a reforestar con especies de eucalipto *Eucalyptus* sp y el pirú *Schinus molle*. Es a partir de entonces que esta área se convirtió en una zona de esparcimiento y saneamiento ambiental, ya que mediante reforestaciones sucesivas se ha conformado un bosque artificial.

8 Resultados y discusión.

Se consideró un criterio hidrológico en la delimitación y división de la zona en estudio, mediante el seguimiento de los parteaguas de los cerros (domos volcánicos) integrantes del parque. En total se obtuvieron 7 microcuencas donde se ubicaron los sitios más representativos para el muestreo de suelos en cada una de ellas (Mapa 1 y 2), además se consideraron sus características morfológicas y sus propiedades físicas y químicas, el uso actual del suelo y la estimación de erosión, teniendo como resultados los siguientes:

8.1 Microcuenca 1

La microcuenca 1 se ubica al suroeste del cerro Zacatenco, cuenta con una superficie de 87.01 ha (Mapa 1 y 2) de las cuales el 24.7% son de uso urbano y el 75.25% de uso forestal (Cuadro 12). Esta zona presenta un relieve convexo, el cual está conformado por laderas de roca andesítica, existen pendientes fuertes que alcanzan valores hasta de 40%. El clima es semiseco, con poca o nula demasía de agua, la precipitación anual es de 521.3 mm y la temperatura media de 16.5 °C. En la parte alta de dicha microcuenca se encuentran suelos someros ligeramente pedregosos de formación reciente, su color es pardo grisáceo oscuro, sin embargo en la parte baja los suelos son extremadamente pedregosos de color pardo grisáceo muy oscuro.

La vegetación está conformada por especies introducidas por el hombre, predominando en la parte alta el eucalipto *Eucalyptus* sp, pino *Pinus radiata* y en menor proporción el encino *Quercus* sp, mientras que en la parte baja la especie dominante es el pirú *Schinus molle* y la acacia *Acacia filiforme*, además de algunos nopales *Opuntia ficus indica* y magueyes *Agave filifera*. La vegetación natural está integrada por diversas gramíneas, entre las que predomina el *Cynodon dactylon* que cubre las laderas de la microcuenca durante todo el año. También es posible observar algunas cactáceas como el Nopal cardón, *Opuntia streptacantha*, Cilindro *Opuntia cardo* y algunos ejemplares de biznagas *Mammilarias* sp.

En esta microcuenca se describió y analizó el perfil 1 “La Mojonera” y el 2 “Las Oficinas”, dichos perfiles se describen a continuación:

8.1.1 Caracterización Morfológica de los suelos.

8.1.1.1 P -1 “La Mojonera.”

Fecha de muestreo: 26 de junio de 1998.

Este perfil se localiza en la parte alta del cerro Zacatenco, está ubicado geográficamente en los 19°30'3" de latitud norte y a los 99°06'48" de longitud oeste, a una altitud de 2530 msnm.

Esta zona ha sido reforestada con pino, los cuales presentan una altura de 8 a 10m. En este mismo lugar se detectó la presencia de tepetate.

El relieve es convexo, conformado por laderas de andesita, presenta pendientes de 40% y su geoforma corresponde a un domo volcánico estratificado.

El suelo fue clasificado en campo con base en FAO-UNESCO (1994), como un Feozem háplico (Hh), las especies vegetales predominantes en esta zona son el *Pinus radiata*, encino *Quercus* sp. y algunas gramíneas como *Cynodon dactylon* “grama”, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* “avena loca”, así como algunas convolvuláceas.



Foto 1. Se observa la pendiente y rocas de gran tamaño en el terreno.

Descripción del perfil 1

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-29	Horizonte de color pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; la transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; no presenta humedad; su textura es migajón arcillosa; su consistencia en seco, ligeramente dura y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y no plástico; su estructura es poliédrica subangular. débilmente desarrollada: con muy pocos microporos, dentro y fuera de los agregados, de forma vesicular; es ligeramente pedregoso con piedras de tamaño medio de forma angular y de clase andesita; el perfil es bien drenado; presenta abundantes raíces finas; la erosión que se presenta es hídrica laminar fuerte.
Cqm	> 29	Horizonte de color pardo pálido (10 YR 6/3) en seco y pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; presentando una textura franca, su consistencia en seco es dura y en húmedo extremadamente fuerte.



Foto 2. Se puede apreciar la superficialidad del suelo.

8.1.1.2 P-2. "Las oficinas".

Fecha de muestreo: 13 de febrero de 1998.

Este sitio se localiza a 50m. de las instalaciones del Centro de Conservación de Recursos Naturales (CORENA), en la parte suroeste del cerro Zacatenco, está ubicado geográficamente a los 19°30' 40" de latitud norte y a los 99°07'13" de longitud oeste, a una altitud de 2320 msnm.

El relieve es convexo con una pendiente del 40%. Los suelos de este sitio son de origen coluvial, excesivamente pedregoso las piedras tienen un diámetro de 20 a 40 cm. La geoforma corresponde a un domo volcánico estratificado, el cual está constituido por un conglomerado de basalto y andesita, así como de otros minerales en una matriz blanca.

En campo el suelo de este sitio se clasificó con base en FAO-UNESCO (1994) como un Leptosol eútrico (Lpe).

Su vegetación es producto de reforestaciones artificiales, pero básicamente en esta parte predominan los árboles de "pirú" *Schinus molle*; en el estrato arbustivo se encuentra el "huizache" *Prosopis juliflora*, "uña de gato" *Mimosa biusifera* y "nopal" *Opuntia ficus indica*, esta última plantada en contorno siguiendo las curvas de nivel con fines de conservación de suelo. Entre las gramíneas se encuentran "grama" *Cynodon dactylon*, *Bouteloa filiformes*, *Bouteloa procumbens*, *Setaria geniculata* y "avena loca" *Avena fatua*, también se encuentran en la zona algunos ejemplares de "maguey" *Agave filifera*.



Foto 3. Condiciones ambientales de la zona.

Descripción del Perfil 2

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-37	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; la transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; ligeramente seco; su textura es arcillo limosa; con una consistencia en seco dura; y friable en húmedo; su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; con numerosos microporos, dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; presenta gravas (0.2 a 7.5 cm. de diámetro) subredondeadas de clase basalto y andesita; el perfil es muy pobremente drenado; no se detectó la presencia de fauna edáfica; y presenta erosión hídrica laminar fuerte.
C	>37	Horizonte de color gris rosáceo (7.5 YR 7/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo; ligeramente seco; su consistencia en seco es muy dura y friable en húmedo y su textura es limosa; presenta una estructura poliédrica subangular debilmente desarrollada con numerosos poros dentro y fuera de los agrgados de forma intersticial; su drenaje es excesivo; no se detecto la presencia de fauna edáfica.



Foto 4. Se observa gran cantidad de piedras de gran tamaño, hasta una profundidad de 37 cm.

8.1.2 Caracterización física-química.

Los suelos de la parte alta de la microcuenca 1 (Perfil-1) presentan un color superficial pardo grisáceo oscuro, mientras que en la parte baja (Perfil-2) son pardo grisáceo muy oscuro, dicha coloración refleja el contenido de materia orgánica la cual es rica, esta cantidad tiende a disminuir de acuerdo a la profundidad, pues suele llegar a ser extremadamente pobre, esta propiedad influye en la baja densidad aparente y en la densidad real, así como en la cantidad de carbono orgánico, el pH oscila de ligeramente ácido a alcalino, este valor está relacionado con la cantidad de materia orgánica presente en el suelo. Su espacio poroso es mayor del 45% y la capacidad de intercambio catiónico es alta; su textura va de franco-arcillosa a arcillo-limosa, lo que indica la predominancia de limo y arcilla, repercutiendo esto en el fácil transporte de dichas partículas, esto en el caso de ocurrir una escorrentía. El alto porcentaje de saturación de bases, hace que el pH presente cierta alcalinidad (Cuadro 13 y 14).

8.1.3 Uso actual del suelo.

Es lógico pensar, que siendo un parque nacional se debería tener un uso de suelo forestal en donde existan ciertas áreas recreativas, sin embargo el rápido y desordenado crecimiento de la población a dado pauta para que en las diferentes microcuencas que integran al parque exista otro uso de suelo, siendo principalmente el urbano el cual a invadido parte del piedemonte de las microcuencas. El uso de suelo agrícola se localiza principalmente en las partes altas de poca pendiente, esto a ocasionado que la vegetación natural sea desplazada por especies exóticas, las cuales han conformado diferentes áreas de vegetación en cada una de las microcuencas, las cuales se mencionan a continuación:

En la microcuenca 1 el uso actual del suelo predominante es el forestal, ya que 39.71 ha que representan el 45.63%, están cubiertas por pastizales, esto es favorable pues durante todo el año los suelos someros y pedregosos se encuentran protegidos, lo que los hace más resistente a la dispersión y escorrentía, que se puede presentar en época de lluvias. Sin embargo este tipo de vegetación es a la vez desfavorable debido a que dicha superficie es susceptible a incendios, esto principalmente en época de seca. En esta microcuenca también existen 21.66 ha (24.89%) de bosque asociado con pastizal, además de una pequeña superficie (4.11 ha) de bosque representando solo el 4.72% de la superficie total de la microcuenca. Finalmente el

área urbana representa el segundo uso del suelo más importante, pues abarca una superficie de 21.53 ha que representan el 24.74% de dicha microcuenca. (Cuadro 12).

8.1.4 Estimación de erosión.

Como se puede observar la clase de riesgo a la que están sujetas las microcuencas es moderado (Mapa 1), mientras que la velocidad actual de erosión es baja (Mapa 2) en la mayoría de estas, ya que el intervalo resultante les dan dicha modalidad, esto aún cuando en algunas de ellas existen pronunciadas pendientes, asentamientos humanos y agricultura de temporal.

La microcuenca 1, presenta un riesgo de erosión moderado de 68.00 t/ha/año y una velocidad actual de erosión de 16.32 t/ha/año (Cuadro 15 y 16), lo que indica que el factor C (cobertura vegetal) tiene gran influencia en la velocidad actual de erosión, la cual tiende a ser baja.

8.2 Microcuenca 2

La microcuenca 2 tiene una superficie de 132.53 ha de las cuales el 81.4% son de uso urbano y el 18.5% tienen uso forestal (Cuadro 12). En esta zona se presenta un relieve convexo formado por laderas de andesita y fuertes pendientes (40%). El suelo de esta zona es muy somero y extremadamente pedregoso de color pardo pálido, pertenecen a la unidad de suelos conocidos como Leptosoles. Las principales especies que conforman su vegetación son: pino *Pinus radiata*, pirú *Schinus molle* y algunas gramíneas que cubren la poca superficie libre del crecimiento urbano. El sitio más representativo de esta microcuenca es el perfil 3 “San Juan”, el cual se describe a continuación:

8.2.1 Caracterización Morfológica de los suelos.

8.2.1.1 P -3 "San Juan".

Fecha de muestreo: 4 de mayo de 1999.

Se localiza en la cima del cerro Zacatenco, geográficamente está ubicado a los 19°30'4'' de latitud norte y a los 99°06'51'' de longitud oeste, a una altitud de 2510 msnm.

Este sitio tiene la geoforma de un domo volcánico estratificado, mismo que esta constituido por andesitas, su relieve es convexo con una pendiente de 40%. El suelo es somero y extremadamente pedregoso (piedras de 1 a 20 cm de diámetro), fue clasificado en campo con base en FAO-UNESCO (1994) como un Leptosol lítico (Lpl).

Su drenaje es considerado un sitio donador, ya que hay pendientes con escurrimientos que exceden a la cantidad de agua que recibe el sitio proveniente de pendientes más altas.

La vegetación está representada por las siguientes especies: "piru" *Schinus molle* y algunas gramíneas como *Cynodon dactylon* "grama", *Bouteloa filiformes*, *B. procumbens*, *Setaria geniculata* y *Avena fatua* "avena loca", las cuales cubren las laderas de esa zona.



Foto 5 .La microcuenca 2, es la zona más desprovista de vegetación.

Descripción del Perfil 3

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-20	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; la transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; no presenta humedad; su textura es migajón limoso; y su consistencia en seco es ligeramente dura y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y plástico; su estructura es poliédrica angular, moderadamente desarrollada; con microporos frecuentes dentro de los agregados, de forma vesicular; es muy pedregoso las piedras son pequeñas de forma angular y de clase andesita; el perfil esta bien drenado; hay abundantes raíces, finas y delgadas; la erosión que se presenta es hídrica laminar moderada.
R	> 20	Material no alterado (andesita).



Foto 6. Este sitio representa a un suelo sumamente somero, en donde solo hay formación de horizonte A.

8.2.2 Caracterización física-química.

El suelo de la microcuenca 2 (Perfil-3), es muy somero y extremadamente pedregoso, la cantidad de materia orgánica es medianamente rica, lo que influye en el color del suelo (pardo grisáceo muy oscuro), así como también en la baja densidad aparente, el contenido de carbono orgánico es muy bajo y el pH tiende a ser de neutro a alcalino, dicha alcalinidad se presenta en el horizonte C en donde hay un aumento del porcentaje de saturación de bases, la estructura es poliédrica subangular moderadamente desarrollada, presentando además una textura franco-limosa, la capacidad de intercambio catiónico es muy baja, mientras que las bases intercambiables de Ca^{++} , Mg^{++} y K^{+} presentan valores altos (Cuadro 13 y 14).

8.2.3 Uso actual del suelo.

El principal uso del suelo de la microcuenca 2 es el urbano (107.88 ha), debido a la gran superficie que abarca, está representa el 81.40% del total de la superficie. Aquí es evidente que los asentamientos irregulares han disminuido notablemente el uso de suelo forestal del cual solo quedan 22.76 ha de pastizal, que representan el 17.17% de la mencionada microcuenca, existen también algunos manchones de bosque, el cual solo representa el 1.42% (Cuadro 12).

8.2.4 Estimación de erosión.

El riesgo de erosión de la microcuenca 2, es moderado (Mapa 1) de 163.47 t/ha/año y una velocidad actual de erosión de 132.41 t/ha/año (Cuadro 15 y 16). Esta microcuenca es una de las que han sido invadidas por el rápido y desordenado crecimiento de la población, lo cual trae consigo algunas repercusiones en la velocidad actual de erosión, ya que el factor C (cobertura vegetal) no tiene el suficiente impacto para aminorar significativamente la pérdida de suelo, quedando en un intervalo moderado (Mapa 2), esto por la poca vegetación y superficie donde dicho factor puede influir. Además del tipo de relieve que aquí se presenta, ya que las laderas convexas y las fuertes pendientes (40%) tienden a perder más suelo.

8.3 Microcuenca 3

La microcuenca 3 está ubicada al sureste del cerro Zacatenco, tiene una superficie de 82.82 ha. de las cuales el 33.4% son de uso urbano y el 66.5% tienen uso forestal (cuadro 12). Esta zona se encuentra en un relieve convexo conformado de laderas de andesita y basalto, las fuertes pendientes llegan a tener un valor de 30%. La microcuenca presenta escasas áreas planas y el suelo es de origen coluvial, muy somero y extremadamente pedregoso, de color gris muy oscuro. La vegetación actual de esta microcuenca está representada por especies de eucalipto *Eucalyptus* sp; y pirú *Schinus molle*, las cuales conforman un bosque artificial en donde además existen algunas gramíneas como *Cynodon dactylon* y el *Bouteloa filiformes*.

En esta microcuenca se describió y analizó el perfil 4 “Las Antenas”, teniendo los siguientes resultados:

8.3.1 Caracterización morfológica de los suelos.

8.3.1.1 P-4. “Las Antenas”.

Fecha de muestreo: 26 de junio de 1998.

Este sitio está localizado en el cerro Zacatenco. ubicado geográficamente a los 19°30'7" de latitud norte y a los 99°06'38" de longitud oeste, a una altitud de 2500 msnm.

Su relieve es convexo con una pendiente del 30%. La geoforma corresponde a un domo volcánico, conformado por un conglomerado de andesita y basalto. El suelo se clasificó en campo con base en FAO-UNESCO (1994), como un Leptosol lítico (Lpl), el cual es extremadamente pedregoso, presentando además una gran cantidad de caracoles en su superficie.

La vegetación de este sitio es producto de reforestaciones artificiales, en donde predomina el eucalipto *Eucalyptus* sp, y en menor proporción el pirú *Schinus molle*; las gramíneas están representadas por las siguientes especies: grama *Cynodon dactylon*, *Bouteloa filiformes*, *Setaria geniculata* y avena loca *Avena fatua*, también suelen encontrarse algunas convolvuláceas.



Foto 7. En este lugar el suelo es extremadamente pedregoso y la vegetación crece deficientemente.

Descripción del Perfil 4.

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A 11	0-6	Horizonte de color pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en seco y pardo rojizo oscuro (5 YR 2/2) en húmedo; su transición a la siguiente capa es tenue de forma horizontal; ligeramente seco; presenta una textura migajón arcillosa; su consistencia tanto en seco como en húmedo es suelta; siendo adhesivo y de plasticidad ligera; es de estructura grumosa, débilmente desarrollada; presenta muy pocos poros de diámetro muy fino, dentro y fuera de los agregados, de forma vesicular; es poco pedregoso con gravas, de forma angular de clase andesita y basalto; el perfil es bien drenado; las raíces son comunes de tamaño fino; se presenta erosión hídrica laminar fuerte.
A 12	6-30	Horizonte de color pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en seco y pardo rojizo oscuro (5 YR 2/2) en húmedo; su transición a la siguiente capa es marcada de forma irregular; es ligeramente seco; con una textura migajón arcillosa; su consistencia en seco es ligeramente dura y friable en húmedo; presenta adhesividad y plasticidad ligera, su estructura poliédrica subangular, débilmente desarrollada; presenta pocos poros muy finos, fuera de los agregados, de forma vesicular; es pedregoso con piedras de tamaño medio de forma angular y clase andesita y basalto; el perfil es bien drenado; existen comunes raíces finas y delgadas; este horizonte presenta una erosión hídrica laminar de grado fuerte.
R	>30	Material no alterado (andesita).



Foto 8. Descripción del perfil 4, aquí se puede observar el tamaño y la gran cantidad de rocas existente en el suelo.

8.3.2 Caracterización física-química.

En la microcuenca 3 (Perfil-4) existen suelos someros, extremadamente pedregosos de color pardo oscuro, esta coloración está determinada por la cantidad de materia orgánica, misma que presenta un valor superficial rico, pero que tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad, el carbono orgánico es muy bajo y el porcentaje de espacio poroso es mayor de 46%, mientras que su textura dominante es la franco-arcillosa, el pH es neutro y aumenta su valor con la profundidad y por la cantidad de materia orgánica, su capacidad de intercambio cationico es alto así como las bases intercambiables, su alto porcentaje de saturación de bases y las propiedades antes mencionadas hacen que el suelo tenga un buen nivel de fertilidad. (Cuadro 13 y 14)

8.3.3 Uso actual del suelo.

El principal uso actual del suelo de la microcuenca 3 es el forestal con 55.09 ha. que representan el 66.5% en dicha superficie existen 28.38 ha; es decir el 34.26% esta cubierto de una asociación de bosque con pastizal, esto principalmente al SE del cerro Zacatenco. El pastizal cubre una superficie de 23.11 ha, lo que representa el 27.90%, hay una pequeña superficie (3.6 ha) de bosque el cual solo tiende a cubrir el 4.34% de la superficie total. El área urbana la comprenden 27.73 ha la cual cubre el 33.48% de piedemonte de la mencionada microcuenca (Cuadro 12).

8.3.4 Estimación de erosión.

En la microcuenca 3 existe un riesgo de erosión moderado (Mapa 1) de 62.86 t/ha/año y una velocidad actual de erosión de 21.37 t/ha/año (Cuadro 15 y 16), lo que hace evidente que la cantidad de suelo perdido se vea reducida de un rango numérico moderado a un rango numérico bajo (Mapa 2), esto principalmente por la existencia de la vegetación, la cual esta sirviendo de amortiguador ante las gotas de lluvia, impidiendo a su vez que el suelo sea arrastrado completamente a pesar de las fuertes pendientes existentes. Es importante mencionar que un cuando la modalidad de la velocidad actual de erosión se reduce considerablemente con la influencia del factor C (cobertura vegetal) en la zona es evidente la erosión hídrica laminar fuerte, esto en la época de lluvias, ya que es aquí cuando el suelo esta más susceptible de ser arrastrado, dando lugar al proceso erosivo.

8.4 Microcuenca 4

La microcuenca 4 se localiza al Norte del cerro Vicente Guerrero, tiene una superficie de 48.36 ha de las cuales el 63.27% son de uso urbano, el 15.69% de uso agrícola y el 21% tienen uso forestal (Cuadro 12). Su relieve es convexo formando laderas de un conglomerado de andesitas y basalto, la pendiente llega a tener valores del 20%. El suelo de este sitio presenta una profundidad de 84 cm y es extremadamente pedregoso, presenta un color pardo grisáceo muy oscuro. Su vegetación esta representada principalmente por pirú *Schinus molle*, así como las gramíneas *Hordeum jubatum* y *Bromus sp*, las cuales cubren las laderas de la zona. En esta microcuenca se practica una agricultura de temporal donde se cultiva maíz (*Zea mays*).

Aquí se describió y analizó el perfil 5 “La Colonia”, teniendo los resultados siguientes:

8.4.1 Caracterización morfológica de los suelos.

8.4.1.1 P-5 “La Colonia”.

Fecha de muestreo: 19 de junio de 1998.

Su localización esta en el cerro Vicente Guerrero, y geográficamente se ubica a los 19°30'28'' de latitud norte y a los 99°06'9'' de longitud oeste, a una altitud de 2390 msnm.

La geoforma corresponde a un domo volcánico estratificado conformado por un conglomerado de andesita y basalto. El relieve es convexo con pendientes de 20%.

El suelo es extremadamente pedregoso, en donde existen piedras pequeñas hasta el horizonte 1C2, el cual tiene una profundidad de 84 cm. Se clasifica en campo con base en FAO-UNESCO (1994), como un Leptosol ócrico (Lpo).

Su vegetación está conformada principalmente por pirú *Schinous molle* y algunos pastos como *Hordeum jubatum*, *Bromus sp* e *Hilaria sp*, las cuales cubren las laderas de la zona, además suelen encontrarse algunos ejemplares de eucalipto *Eucalyptus spp*.



Foto 9. Se observan las condiciones ambientales imperantes en la microcuencia 4, en donde predomina el pirú y algunas gramíneas.

Descripción del Perfil 5.

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-22	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; su transición a la siguiente capa es marcada, de forma ondulada; no presenta humedad; es de textura arcillo-limosa; su consistencia en seco es blanda y friable en húmedo; es adhesivo y de plasticidad ligera; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; con pocos poros muy finos, dentro y fuera de los agregados, de forma vesicular; es extremadamente pedregoso las piedras son pequeñas de forma angular; de clase basalto y andesita; el perfil es bien drenado; las raíces son abundantes, de tamaño que va de fino a delgado; presenta erosión hídrica laminar fuerte.
1C 1	22-55	Horizonte de color pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco y pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; su transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; presenta una consistencia en seco dura y muy friable en húmedo su textura es arcillosa; es extremadamente pedregoso con piedras pequeñas y grandes, de forma angular y subangular de clase andesita y basalto; existen raíces finas, delgadas y medias, las cuales son muy comunes.
1C 2	55-84	Horizonte de color pardo muy pálido (10 YR 8/3) en seco y pardo amarillento (10 YR 6/4) en húmedo; presenta una consistencia en seco dura y en húmedo friable; su textura es migajón arenosa; es extremadamente pedregoso, con piedras pequeñas de forma angular y subangular de clase basalto y andesita; la presencia de raíces es muy rara.



Foto 10. Descripción del perfil 5, en este sitio el suelo presenta una mayor profundidad, sin embargo no deja de ser un Leptosol dado que no presenta formación de horizonte B.

8.4.2 Caracterización física-química.

El suelo de la microcuenca 4 (Perfil-5), presenta una profundidad de 84 cm y es extremadamente pedregoso, las piedras suelen encontrarse hasta el horizonte 1C2, este suelo tiene un color superficial pardo grisáceo muy oscuro. Es importante mencionar que aun cuando este suelo presenta dicha profundidad no deja de ser un suelo joven, puesto que no presenta formación de horizonte B, lo que ratifica que los horizontes 1C1 y 1C2 son solo capas de depositación. La cantidad de materia orgánica es extremadamente rica y descende a extremadamente pobre al aumentar la profundidad, esta propiedad hace que la densidad aparente y el carbono orgánico tenga valores bajos, se presenta un espacio poroso mayor al 50%, este suelo tiene una textura predominantemente arcillosa, misma que determina la alta capacidad de intercambio catiónico, las bases intercambiables y el porcentaje de saturación de bases son altas, el pH oscila de neutro a fuertemente alcalino, esta alcalinidad es por el alto contenido de saturación de bases (100%), la textura es predominante arcillosa, lo que permite que en dicha zona haya una alta capacidad de retención de humedad y baja permeabilidad y que conforme aumenta la profundidad es todo lo contrario, ya que la partícula dominante es la arena (Cuadro 13 y 14).

8.4.3 Uso del suelo.

La microcuenca 4 tiene un uso actual del suelo predominantemente urbano, ya que abarca una superficie de 30.60 ha que representan el 63.27% de 48.36 ha; el uso forestal cubre una superficie de 10.17 ha, o sea el 21% de la microcuenca, aquí existen algunas zonas de pastizal asociado con bosque, mismas que cuentan con 5.39 ha que solo representan 11.14%, existen también pequeños manchones de bosque asociado con pastizal representando solo el 6.67% y el bosque solo está representado por una pequeña área de 0.27 ha. Otro uso del suelo de esa zona es el agrícola, siendo evidente en la cima del cerro Vicente Guerrero, dicha zona abarca una superficie de 7.59 ha que representan el 15.69% (Cuadro 12).

8.4.4 Estimación de erosión.

La microcuenca 4, presenta un riesgo de erosión moderado (Mapa 1) de 53.55 t/ha/año así como una velocidad actual de erosión de 34.27 t/ha/año (Cuadro 15 y 16), esto indica que tanto la agricultura y el relieve existente hacen que el factor C no reduzca en un porcentaje mayor a la velocidad actual de erosión, esto porque dicho factor ya no influye como debería en

la zona agrícola quedando el suelo con una protección mínima al inicio de las lluvias, lo que tiende a acelerar el proceso erosivo.

8.5 Microcuenca 5.

La microcuenca 5 se localiza al oeste del cerro Vicente Guerrero así como al noroeste y suroeste del cerro Gachupines, cuenta con una superficie de 67.05 ha de las cuales el 34.55% son de uso urbano y el 65.44% tienen uso forestal (Cuadro 12). Esta zona presenta un relieve convexo conformado por laderas de andesita, en donde existen pendientes de 25%. En la parte alta del cerro Vicente Guerrero se encuentran suelos someros de origen coluvial extremadamente pedregosos, presenta un color superficial gris. En la parte alta del cerro Gachupines existen pendientes de 20-25% y los suelos son menos pedregosos de color pardo grisáceo muy oscuro. Sin embargo en la parte baja de este las pendientes son menos severas (15%) y el suelo es poco pedregoso de color pardo grisáceo oscuro. La cobertura vegetal de esta zona esta representada por eucalipto *Eucalyptus* sp; y en menor proporción por pirú *Schinus molle*. Mientras que en la parte alta del cerro Gachupines existen algunos ejemplares de mezquite los cuales son indicio de la vegetación natural dominante en algún tiempo. En dichas zonas existen las gramíneas *Hordeum jubatum*, *Bromus* sp y *Cynodon dactylon*. En esta microcuenca se analizaron tres perfiles dado la representatividad en la zona, (Mapa 1 y 2), los cuales son mencionados a continuación:

8.5.1 Caracterización morfológica de los suelos.

8.5.1.1 P-6 “El Pozo”.

Fecha de muestreo: 19 de noviembre de 1998.

Se localiza al oeste del cerro Vicente Guerrero. Geográficamente se ubica a los 19°29'15'' de latitud norte y a los 99°06'16'' de longitud oeste, a 2330 msnm.

Es un sitio de reforestación localizado a 30m del muro ecológico, los árboles tienen una altura promedio de 10m. El relieve es convexo con pendientes de 25%.

Este domo volcánico estratificado, esta constituido por un conglomerado de andesitas. El suelo es extremadamente pedregoso, las piedras suelen alcanzar un diámetro de 20 cm. Además estos suelos son de origen coluvial y en campo se clasificaron con base en FAO-UNESCO (1994), como un Leptosol eútrico (Lpe).

Las especies dominantes de su estrato arbóreo son el eucalipto *Eucalyptus* sp, y pirú *Schinus molle*, pero suelen encontrarse algunas herbáceas y grámicas, estas últimas representadas por: *Hordeum jubatum*, *Bouteloa procumbens*, *Bromus* sp. e *Hilaria* sp., las cuales invaden las laderas de la zona.



Foto 11. Representa las condiciones ambientales de la zona, siendo la especie dominante el Eucalipto.

Descripción del Perfil 6

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-29	Horizonte de color gris (5 Y 6/1) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; su transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; no presenta humedad; su textura es migajón arcillosa; la consistencia en seco y en húmedo es suelta; y de una estructura grumosa, débilmente desarrollada; presenta numerosos poros, finos y medianos fuera de los agregados, de forma vesicular; es muy pedregoso con piedras grandes, de forma subangular y redondas, de clase andesita; el perfil es excesivamente drenado; presenta abundantes raíces, delgadas; hay fauna edáfica; este horizonte presenta una erosión hídrica laminar moderada.
C	> 29	Horizonte de color gris claro (10 YR 7/2) en seco y pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; no presenta humedad; su textura es migajón arcillo arenoso; y su consistencia en seco es ligeramente dura y muy friable en húmedo; con una estructura masiva; con numerosos poros muy finos; es ligeramente pedregoso con piedras de tamaño pequeño, de forma subangular de clase andesita y basalto; el perfil esta bien drenado y presenta raíces escasas de tamaño fino.



Foto 12. Descripción del perfil 6, es un sitio somero con abundante vegetación de gramíneas.

8.5.1.2 P-7 "La Escuela".

Fecha de muestreo: 19 de junio de 1998.

Este sitio está localizado en el cerro Gachupines y geográficamente se ubica a los 19°29'7" de latitud norte y a los 99°06'18" de longitud oeste, a una altitud de 2270 msnm.

El relieve de este sitio es convexo con una pendiente de 15%. La geoforma de este lugar corresponde a un domo volcánico estratificado, constituido por un conglomerado de andesitas. El suelo de este sitio es poco pedregoso de origen coluvial, en campo se clasificó con base en FAO-UNESCO (1994), como un Leptosol cútrico (Lpe).

La vegetación representativa de este sitio está representada por árboles de pirú *Schinus molle* y en menor proporción el eucalipto *Eucalyptus* sp; existen además las gramíneas *Cynodon dactylon*, *Bouteloua filiformes*, *Bouteloua procumbens* y *Setaria geniculata*. mientras que el estrato herbáceo lo conforma *Trifolium* sp "trébol".



Foto 13. En esta zona se observa gran cantidad de gramíneas.

Descripción del Perfil 7

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A 11	0-5	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; su transición a la siguiente capa es tenue de forma horizontal; no presenta humedad; su textura es migajón arcillo-limoso; presenta una consistencia en seco suelta y friable en húmedo; la estructura es granular débilmente desarrollada; hay pocas piedras de tamaño pequeño, las cuales son angulares de clase andesita; el perfil es bien drenado; hay raíces finas, extremadamente abundantes; no se detectó la presencia de fauna edáfica; presenta erosión hídrica laminar de grado fuerte.
A12	5-36	Horizonte de color gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; su transición a la siguiente capa es marcada de forma ondulada; y ligeramente seco; con una textura migajón arcillo-limoso; la consistencia en seco es blando y friable en húmedo; con una estructura poliédrica angular, débilmente desarrollada; Tiene pocos poros muy finos, dentro y fuera de los agregados de forma vesicular; su estructura es poliédrica angular, débilmente desarrollada; es pedregoso con piedras de tamaño medio de forma angular y subangulares, de clase andesita; el perfil es bien drenado; presenta raíces finas extremadamente abundantes; y presenta erosión hídrica laminar fuerte.
R	>36	Material no alterado (andesita).

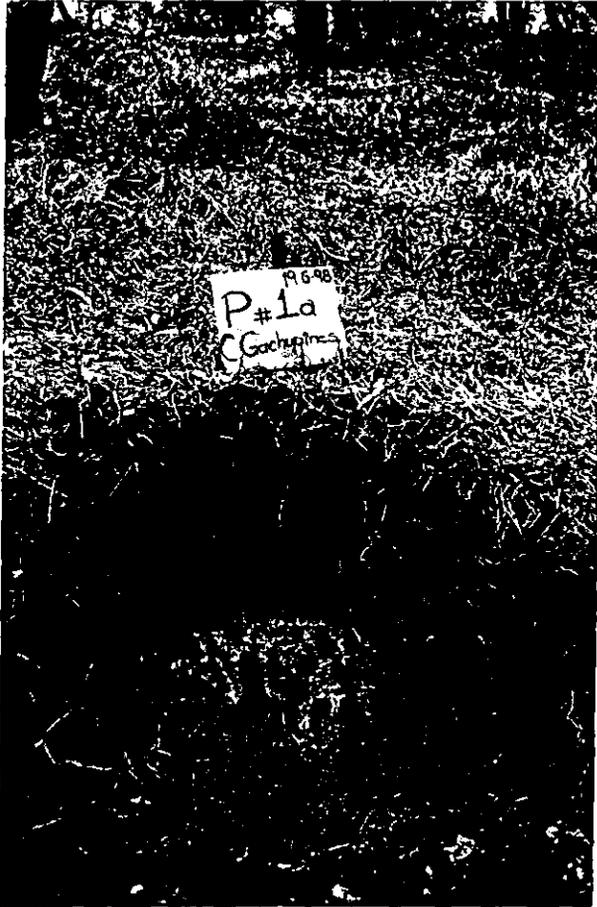


Foto 14. Descripción del perfil 7, en este se puede observar la superficialidad del suelo.

8.5.1.3 P- 8 “La Capilla”.

Fecha de muestreo: 19 de junio de 1998.

Se localiza en el cerro Gachupines, ubicado geográficamente a los 19°29'4'' de latitud norte y a los 99°06'20'' de longitud oeste, a una altitud de 2320 msnm.

El área donde se realizó la descripción de este sitio, presenta indicios de haber sido quemada, observándose además en la superficie del suelo abundante hojarasca de eucalipto y caracoles. Esta zona presenta un relieve convexo con pendientes de 10%.

Su geoforma corresponde a un domo volcánico estratificado, el cual esta constituido por un conglomerado de andesita de piroxeno.

El suelo de este sitio somero y pedregoso clasificandose en campo con base en FAO-UNESCO (1994), como un Leptosol eútrico (Lpe).

Las especies más representativas de su vegetación son el eucalipto *Eucalyptus* sp, siendo este el predominante; también se encuentran algunas gramíneas como *Bouteloa filiformes*, *Hordeum jubatum*, grama *Cynodon dactylon*, suelen encontrarse también en esta zona algunas herbáceas como el trébol e hiedras. Es importante mencionar que la vegetación de esta zona, es el resultado de las intensas reforestaciones artificiales que han sido realizadas durante ya varios años, dicha vegetación ha desplazado a la vegetación natural la cual ha desaparecido prácticamente.



Foto 15. Panorámica de las condiciones ambientales de la zona.

Descripción del Perfil 8

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-34	Horizonte de color pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; la transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; ligeramente seco; su textura es franca; presentando una consistencia en seco ligeramente dura y friable en húmedo; la estructura es poliédrica angular, débilmente desarrollada; con pocos poros muy finos dentro y fuera de los agregados, de forma vesicular; es muy pedregoso con piedras grandes, de forma angular de clase andesita; el perfil es bien drenado; existen abundantes raíces finas y delgadas; no hay evidencia de fauna edáfica; este horizonte presenta erosión hídrica laminar de grado fuerte.
R	>34	Material no alterado (andesita).



Foto16. En este sitio el suelo es muy somero y la superficie se encuentra cubierta por gran cantidad de hojarasca de Eucalipto.

8.5.2. Caracterización física-química.

En la microcuenca 5 (Perfil-6, Perfil-7 y Perfil-8) existen suelos someros extremadamente pedregosos, lo que indica que son de reciente formación, presentan un color superficial que va de gris a pardo grisáceo oscuro, esto principalmente por la cantidad de materia orgánica, misma que presenta intervalos de rica a extremadamente rica; la densidad aparente y la densidad real son bajas, así como el carbono orgánico. Estos suelos tienen un espacio poroso mayor a 47%, su textura superficial va de franco-arcillosa a franca, predominando la partícula de limo, el pH va de neutro a fuertemente alcalino, lo que tiende a ser asimilables a las bases intercambiables la capacidad de intercambio catiónico es alta, así como el porcentaje de saturación de bases (Cuadro 13 y 14).

8.5.3 Uso actual del suelo.

El principal uso de suelo de la microcuenca 5 es forestal con 42.88 ha que están representando el 65.4%; existen varios tipos de vegetación que conforman este uso de suelo, principalmente se tiene una superficie de 29.95 ha de bosque asociado con pastizal, los cuales están representando el 44.66%, esto se localiza tanto en el cerro Vicente Guerrero como en el Gachupines. Existen además pequeños manchones de pastos en la cima del cerro Vicente Guerrero esta vegetación abarca una superficie de 10.14 ha, lo que representa el 15.12%. El bosque solo lo representan algunas áreas distribuidas en toda la microcuenca, este tiene una superficie de 2.38 ha que están representando el 3.54% de la zona mencionada. Suelen existir pequeñas porciones de pasto asociado con bosque, el cual solo representa el 2.10%. El uso urbano lo conforman algunas partes del cerro Vicente Guerrero, esta zona abarca una extensión de 23.17 ha; es decir el 34.55% (Cuadro 12).

8.5.4 Estimación de erosión.

La microcuenca 5 presenta un riesgo de erosión moderado (Mapa 1) de 62.42 t/ha/año y una velocidad actual de erosión de 21.22 t/ha/año (Cuadro 15 y 16), estos resultados ponen de manifiesto que la cobertura vegetal existente reduce significativamente la velocidad de erosión dándole a esta una modalidad baja (Mapa 2), pero que aun así en esta zona es evidente la erosión.

8.6 Microcuenca 6.

La microcuenca 6 se ubica al este del cerro Vicente Guerrero, cuenta con 46.90 ha de las cuales 56.35% son de uso urbano, 30.63% de uso agrícola y el 12.81% de uso forestal (Cuadro 12). Esta zona presenta un relieve convexo con pendientes menores del 5%, en la cima de dicho lugar se encuentran suelos muy someros y pedregosos de color pardo grisáceo muy oscuro.

La vegetación predominante está representada por pirú *Schinus molle* y algunas gramíneas como *Cynodon dactylon*.

El sitio representativo de esta microcuenca fue el perfil 9 (Mapa 1 y 2) “La Parcela”, mismo que se describe a continuación.

8.6.1 Caracterización morfológica de los suelos.

8.6.1.1 P-9 “La Parcela”.

Fecha de muestreo: 4 de mayo de 1999.

Este sitio se localiza en la parte Este del cerro Vicente Guerrero, geográficamente se ubica a los 19°29'21'' de latitud norte y a los 99°06'10'' de longitud oeste, a una altitud de 2440 msnm.

La geoforma corresponde a un domo volcánico estratificado, el cual está constituido por un conglomerado de andesitas, el relieve es convexo de ligeras pendientes (5%).

La vegetación que predomina está representada por el pirú *Schinus molle*, y algunas gramíneas como: grama *Cynodon dactylon*, *Bouteloua filiformes*, *Bouteloua procumbens*, *Setaria geniculata* y avena loca *Avena fatua*.

Esta es una zona donde se cultiva “maíz” y los suelos son muy someros y pedregosos, siendo característico de un Leptosol eútrico (Lpe).



Foto 17. En esta zona se cultiva maíz, y las parcelas están delimitadas por terrazas tipo “aplancle”.

Descripción del Perfil 9

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-20	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; la transición a la siguiente capa es marcada de forma horizontal; no presenta humedad; su textura es migajón limosa; y su consistencia en seco es ligeramente dura y friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y plástico; su estructura es poliédrica angular, moderadamente desarrollada; con microporos frecuentes, dentro de los agregados, de forma vesicular; es muy pedregoso las piedras son pequeñas de forma angular y de clase andesita; su perfil es bien drenado; existen abundantes raíces, finas y delgadas; la crosión que se presenta es hidrica laminar moderada.
R	> 20	Material no alterado (andesita).



Foto 18. Este sitio es relativamente somero y muy pedregoso, debido a la poca pendiente es utilizado para cultivar maíz criollo.

8.6.2 Caracterización física-química.

El suelo de la microcuenca 6 (Perfil-9) es muy somero y pedregoso de color pardo grisáceo muy oscuro, esto debido a la materia orgánica la cual es medianamente pobre, la cantidad de carbono orgánico es muy bajo, así como la densidad aparente, el espacio poroso es mayor de 40%, su textura es franca y el pH neutro, existe una alta capacidad de intercambio catiónico alta así como de bases intercambiables, sin embargo a pesar de la poca cantidad de materia orgánica se presenta un alto porcentaje de saturación de bases (Cuadro 13 y 14).

8.6.3 Uso actual del suelo.

En la microcuenca 6 la mayor parte de su superficie está ocupada por asentamientos humanos irregulares, estos abarcan una superficie de 26.52 ha (56.54%). lo que representa más de la mitad de la superficie total de la microcuenca, el otro uso de suelo que ha ido ganando terreno es el agrícola, siendo este evidente en las partes altas del cerro Vicente Guerrero, en donde existen áreas de poca pendiente (5-6%), adiferencia de este uso el forestal solo lo representan escasos manchones de bosque asociado con pastizal, esto principalmente en las laderas de la parte Este del cerro Vicente Guerrero, en donde abarcan una superficie de 4.44 ha siendo solo el 9.46%. Finalmente el pastizal solo comprende 1.57 ha es decir el 3.34% de la microcuenca (Cuadro 12).

8.6.4 Estimación de erosión.

La microcuenca 6 presenta un riesgo de erosión moderado (Mapa 1) de 72.29 t/ha/año y una velocidad actual de erosión estimada de 42.65 t/ha/año (Cuadro 15 y 16). Estos valores reflejan que la poca vegetación existente reduce a la velocidad de erosión una modalidad baja (Mapa 2), esto aun cuando en esta microcuenca se practica una agricultura de temporal en donde se cultiva principalmente el maíz criollo, siendo está una de las prácticas en donde el suelo queda desprotegido al inicio de las lluvias.

Otro factor que influye en la baja velocidad de erosión es que la poca pendiente (5%) hace que los escurrimiento no sean tan severos.

8.7 Microcuenca 7.

La microcuenca 7 se ubica al sur del cerro Vicente Guerrero, abarcando también la parte noreste y sureste del cerro Gachupines (Mapa 1 y 2), tiene una superficie de 51.54 ha de las cuales el 4.2% son de uso urbano, el 18% de uso agrícola y el 41.6% tienen uso forestal (Cuadro 12). Aquí se presenta un relieve convexo, el cual está conformado por laderas de basalto, predominan las pendientes menores al 6%, el suelo es excesivamente pedregoso de color gris oscuro.

La vegetación está representada por especies como el eucalipto *Eucalyptus* sp así como algunas gramíneas entre las que destacan *Cynodon dactylon* y *Avena fatua*.

El sitio representativo de esta microcuenca fue el perfil 10 “Los Apancles”, el cual se describe a continuación:

8.7.1 Caracterización morfológica de los suelos.

8.7.1.1 P-10 “Los Apancles”.

Fecha de muestreo: 19 de noviembre de 1998.

Este sitio se localiza en la cima del cerro Vicente Guerrero, geográficamente se ubica a los 19°29'19" de latitud norte y a los 99°06'11" de longitud oeste, a 2435 msnm.

El área de este sitio ha tenido un evidente cambio de uso de suelo, ya que siendo suelos de uso forestal en los cuales se prohíbe la agricultura, esta suele practicarse desde hace ya algún tiempo, las parcelas que conforman esta zona son cultivadas principalmente con maíz criollo. Es evidente también que tanto la agricultura como las reforestaciones han desplazado y desaparecido casi totalmente la vegetación natural de la zona.

Se presenta un relieve convexo de ligera pendiente del (6%). Su geoforma pertenece a un domo volcánico estratificado, que está constituido por un conglomerado de tobas basálticas. La clasificación en campo de este suelo con base en FAO-UNESCO (1994) fue un Cambisoles éútrico (CMe). El suelo de este sitio es extremadamente pedregoso y presenta una profundidad de 48 cm.

Las intensas reforestaciones dan como resultado la predominancia de eucalipto *Eucalyptus* sp, así como algunas gramíneas como: *Cynodon dactylon* y avena loca *Avena fatua*.



Foto19. Dada la poca pendiente existente en el terreno, esta zona es dedicada al cultivo de maíz criollo.

Descripción del Perfil 10

Hz.	Prof. (cm)	Características Morfológicas.
A	0-20	Horizonte de color gris oscuro (5 YR 4/1) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; su transición a la siguiente capa es media de forma horizontal; no presenta humedad; su textura es migajón arcilloso; la consistencia en seco es ligeramente dura y friable en húmedo; su estructura es poliédrica subangular, débilmente desarrollada; con poros numerosos, de tamaño muy finos dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; es ligeramente pedregoso con piedras pequeñas, de forma subangular y clase andesita; el perfil es bien drenado; las raíces son comunes de tamaño fino; existe la presencia de miriapodos; y la erosión existe es hidrica laminar leve.
B	20-35	Horizonte de color gris oscuro (10 YR 4/1) en seco y gris muy oscuro (5 Y 3/1) en húmedo; la transición a la siguiente capa es marcada de forma irregular; ligeramente seco; presenta una textura migajón limoso; su consistencia en seco es dura y en húmedo es friable; su estructura es poliédrica subangular, moderadamente desarrollada; con poros numerosos, muy finos dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; es ligeramente pedregoso con piedras medias, de forma angular y subangular de clase andesita; el perfil es bien drenado; existen pocas raíces, finas; y se aprecia la presencia de miriapodos.
BC	35-48	Horizonte de color pardo claro (10 YR 6/3) en seco y pardo grisáceo (10 YR 5/2) en húmedo; su transición a la siguiente capa es media de forma irregular; ligeramente húmedo; la textura presente en este horizonte es arcillo limoso; su consistencia en seco es dura y firme en húmedo; su estructura poliédrica subangular, débilmente desarrollada; presenta pocos poros muy finos dentro y fuera de los agregados, de forma intersticial; es ligeramente pedregoso con piedras de tamaño pequeño, de forma subangular y de clase andesita; su perfil es bien drenado; hay pocas raíces, finas y delgadas.
C	> 48	Horizonte de color gris pardo claro (2.5 Y 6/2) en seco y pardo grisáceo (10 TR 5/2) en húmedo; presenta humedad; y su textura es arcillosa; su consistencia en seco y en húmedo es dura; la estructura masiva; con pocos poros muy finos, fuera de los agregados de forma intersticial; el perfil es bien drenado; existen muy pocas raíces de tamaño grueso.



Foto 20. Descripción del perfil 10, los “apancles” aquí se puede observar la pedregosidad del perfil hasta una profundidad de 48 cm.

8.7.2 Caracterización física-química.

En la microcuencua 7 (Perfil-10), predominan suelos de color gris oscuro en la capa superficial a gris pardo claro a una profundidad de 48 cm; este suelo es ligeramente pedregoso, su densidad aparente es baja y la cantidad de materia orgánica es medianamente rica y desciente a pobre, de acuerdo a la profundidad del horizonte, se presenta un espacio poroso mayor de 35%, en su textura predomina el limo, el pH va de neutro a alcalino, esto principalmente al alto porcentaje de saturación de bases, la capacidad de intercambio catiónico es de muy alta a alta, el Ca^{++} y K^+ presentan un valor medio, mientras que el Mg^{++} es alto (Cuadro 13 y 14).

De manera general algunas características determinan tanto la fertilidad como la resistencia del suelo a ser erosionado, tal es el caso de la materia orgánica, la textura, capacidad de intercambio cationico, pH y el porcentaje de saturación de bases.

8.7.3 Uso actual del suelo.

La microcuencua 7 abarca parte del cerro Vicente Guerrero y Gachupines (Mapa 1 y 2), en estas zonas predomina un uso de suelo forestal con 21.48 ha que representan el 41.6%, esta superficie esta conformada a su vez por zonas de pastizal asociado con bosque, las cuales estan integradas por 11.93 ha o sea el 23.14%. El bosque lo conforman 5.40 ha; es decir el 10.47%, esta vegetación se localiza al sureste del cerro Vicente Guerrero y al este del Gachupines. En esta microcuencua el uso de suelo agrícola abarca 9.32 ha que estan representando el 18.08%, esta agricultura se localiza principalmente en la parte alta del cerro Vicente Guerrero en donde existen ligeras pendientes (Cuadro 12).

8.7.4 Estimación de erosión.

La microcuencua 7 presenta un riesgo de erosión moderado (Mapa 1) de 78.37 t/ha/año y una velocidad actual de erosión de 32.13 t/ha/año (Cuadro 15 y 16), lo que esta indicando que la velocidad de erosión se reduce significativamente al influir la cobertura vegetal, ya que tiende a presentar una modalidad baja (Mapa 2), siendo favorecida esta por la pendiente de la zona y que solo en una parte se práctica la agricultura, pues los pocos rastrojos de las cosechas de maíz y la vegetación antes mencionada son lo suficientemente resistentes ante el impacto de las lluvias, ya que el contenido de arcilla y el porcentaje de materia orgánica hacen que los agregados del suelo se han más estables y por lo tanto más resistentes a la dispersión.

Cuadro 12. Uso actual del suelo del Parque Nacional "El Tepeyac"

M	Superficie (ha)												Total
	U	%	A	%	P	%	B	%	B-P	%	P-B	%	
1	21.53	24.74	-		39.71	45.63	4.11	4.72	21.66	24.89	-		87.01
2	107.88	81.40	-		22.76	17.17	1.89	1.42	-		-		132.53
3	27.73	33.48	-		23.11	27.90	3.60	4.34	28.38	34.26	-		82.82
4	30.60	63.27	7.59	15.69	1.28	2.64	0.27	0.55	3.23	6.67	5.39	11.14	48.36
5	23.17	34.55	-		10.14	15.12	2.38	3.54	29.95	44.66	1.41	2.10	67.05
6	26.52	56.54	14.37	30.63	1.57	3.34	-		4.44	9.46	-		46.90
7	20.74	40.24	9.32	18.08	-		5.40	10.47	4.15	8.05	11.93	23.14	51.54
Total	258.17	50.01	31.28	6.05	98.57	19.09	17.65	3.41	91.81	17.78	18.73	3.62	516.21

M=Microcuencia B=Bosque (eucalipto-pirú-pino)
 U=Urbana BP=Bosque (pirú-eucalipto)-Pastizal
 A=Agrícola PB=Pastizal-Bosque (eucalipto-pirú)
 P=Pastizal

Cuadro 13. Propiedades Físicas.

Perfil	Lugar	Hz.	Prof. (cm).	Color en seco.	Color en húmedo.	D.a. g/cm ³	D.r. g/cm ³	Porosidad %.	Partículas (%)			Clasificación Textural
									Arena	Limo	Arcilla	
Microcuena 1												
1	Zacatenco	A C	0-29 > 29	7.5 YR 3/2 Pardo oscuro. 10 YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro.	5 YR 2/2 Pardo rojizo oscuro. 10 YR 3/2 Pardo grisáceo muy oscuro.	1.00 0.98	1.87 2.21	46.20 55.52	27.87 37.94	42.93 39.03	29.18 23.03	Franco-Arcilloso Franco
2		A C	0-37 >37	5YR 3/1 Gris muy oscuro 7.5YR 7/2 Gris rosáceo	5Y 2/1 Negro 10YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	0.89 0.92	1.73 1.89	48.55 51.32	12.37 6.83	43.26 85.86	44.36 7.31	Arcillo-Limoso Limoso
Microcuena 2												
3	Zacatenco	A	0-20	10 YR 6/3 Pardo pálido.	10 YR 4/4 Pardo amarillento oscuro.	0.95	2.00	52.20	12.48	63.36	24.16	Franco-Limoso
Microcuena 3												
4	Zacatenco	A11 A12	0-6 6-30	10 YR 3/1 Gris muy oscuro. 7.5 YR 3/2 Pardo oscuro.	10 YR 2/1 Negro. 5 YR 3/2 Pardo rojizo oscuro.	0.89 0.91	1.74 2.05	48.85 51.33	22.31 22.66	40.77 38.79	39.92 38.52	Franco-Arcilloso Franco-Arcilloso
Microcuena 4												
5	Vicente Guerrero.	A C1 C2	0-22 22-55 55-84	10 YR 3/2 Pardo grisáceo muy oscuro. 10 YR 4/2. Pardo grisáceo oscuro. 10 YR 8/3. Pardo muy pálido	10 YR 2/1 Negro. 10 YR 3/3. Pardo oscuro. 10 YR 6/4 Pardo amarillento	0.91 0.93 0.81	2.08 2.17 2.24	55.76 57.14 63.83	13.73 30.32 60.53	43.14 21.06 22.27	43.14 48.61 17.19	Arcillo-Limoso Arcilloso Franco-Arenoso
Microcuena 5												
6	Vicente Guerrero	A C	0-29 >29	5Y 6/1 Gris 10YR 7/2 Gris claro	10YR 3/2 Pardo grisáceo muy oscuro 10YR 5/4 Pardo amarillento	0.93 1.08	2.09 1.89	55.50 42.85	24.59 49.30	42.86 27.73	31.40 22.96	Franco-Arcilloso Franco-Arcillo-Arenoso
7	Gachupines	A11 A12	0-5 5-36	10 YR 4/2. Pardo grisáceo oscuro. 10 YR 3/2. Pardo grisáceo muy oscuro.	10 YR 2/1 Negro. 10 YR 2/1 Negro.	0.82 1.01	1.85 2.42	55.67 60.07	13.06 17.35	51.18 47.02	35.74 35.62	Franco-Arcillo-Limoso Franco-Arcillo-Limoso
8	Gachupines	A	0-34	10YR 3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 Negro	1.05	2.00	47.50	28.73	44.99	26.17	Franco
Microcuena 6												
9	Vicente Gerrero	A	0-20	10 YR 3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1 Negro	1.05	2.00	47.50	28.73	44.99	26.17	Franco
Microcuena 7												
10	Vicente Guerrero	A B BC C	0-20 20-35 35-48 >48	5YR 4/1 Gris oscuro 10YR 4/1 Gris oscuro 10YR 6/3 Pardo claro 2.5Y 6/2. Gris pardo claro	10YR 2/1 Negro 5Y 3/1 Gris muy oscuro 10 YR 5/2 Pardo grisáceo 10YR 5/2 Pardo grisáceo	1.08 1.13 1.03 1.05	1.69 2.03 2.06 2.21	36.09 44.33 50.00 52.48	23.44 13.02 9.34 29.23	46.68 68.89 43.03 28.60	29.86 18.09 47.66 42.17	Franco-Arcilloso Franco-Limoso Arcillo-Limoso Arcilloso

Hz. = Horizonte.

D.a = Densidad aparente.

D.r = Densidad real.

Prof = Profundidad.

Cuadro 14. Propiedades Químicas.

Perfil	Lugar	Hz.	Prof (cm).	M.O %	C %	pH 2:1	C.I.C.T. cmol+/kg ⁻¹	Bases intercambiables				P Kg/ha.	S.B. %
								Ca ++ cmol+/kg ⁻¹	Mg ++ cmol+/kg ⁻¹	Na + cmol+/kg ⁻¹	K + Cmol+/kg ⁻¹		
Microcuena 1													
1	Zacatenco	A	0-29	4.09	1.37	6.62	21.60	20.30	9.10	1.93	1.24	17.50	100
		C	>29	0.06	0.42	7.20	27.87	21.7	15.40	2.26	1.57	31.50	100
2		A	0-37	3.84	2.23	7.30	35.15	4.00	15.00	0.91	0.42	27.12	100
		C	>37	0.45	0.18	7.70	30.06	6.00	16.00	1.60	0.39	28.00	100
Microcuena 2													
3	Zacatenco	A	0-20	3.09	1.80	6.58	1.32	48.80	42.90	1.73	1.92	102.37	100
Microcuena 3													
4	Zacatenco	A11	0-6	3.18	1.84	6.77	26.36	28.00	9.10	1.82	1.76	58.62	100
		A12	6-30	2.67	1.55	7.41	37.92	39.2	15.4	2.78	0.97	44.62	100
Microcuena 4													
5	Vicente Guerrero.	A	0-22	5.07	1.83	6.70	39.31	24.50	7.00	1.39	1.03	76.12	100
		C1	22-55	1.62	1.06	7.57	67.75	46.90	18.20	2.69	0.67	57.50	100
		C2	55-84	0.46	0.26	8.37	62.43	74.90	14.70	2.43	0.51	21.87	100
Microcuena 5													
6	Vicente Guerrero	A	0-29	3.76	2.18	8.30	54.11	15.00	29.00	0.86	1.48	64.75	100
		C	>29	0.69	0.40	8.60	44.86	4.00	24.00	0.86	0.74	78.75	100
7	Gachupines	A11	0-5	4.25	2.47	6.95	39.68	30.10	10.5	1.73	2.92	132.12	100
		A12	5-36	2.14	1.24	7.32	33.63	34.30	11.2	2.10	0.73	4.37	100
8	Gachupines	A	0-34	5.85	1.26	6.65	23.58	25.20	8.40	2.60	0.67	92.75	100
Microcuena 6													
9	Vicente Guerrero	A	0-20	1.54	0.90	6.63	85.56	35.20	33.00	1.73	7.56	98.87	100
Microcuena 7													
10	Vicente Guerrero	A	0-20	2.79	1.63	7.20	22.50	6.00	16.00	0.65	0.61	31.50	100
		B	20-35	1.75	1.27	7.20	31.23	6.00	24.00	1.08	0.35	122.50	100
		BC	35-48	0.52	0.36	7.80	49.00	8.00	25.00	1.14	0.33	210.00	100
		C	>48	0.45	0.47	7.80	45.00	6.00	26.00	1.14	0.33	264.25	100

Hz. = Horizontc.

Prof = Profundidad.

Cuadro 15. Velocidad actual de erosión.

Microcuenca	Erosión t/ha/año	Clase
1	16.32	Baja
2	132.41	Moderada
3	21.37	Baja
4	34.27	Baja
5	21.22	Baja
6	42.65	Baja
7	32.13	Baja

Cuadro 16. Riesgo de erosión

Microcuenca	Pérdida máxima potencial t/ha	Clase.
1	68.00	Moderado
2	163.47	Moderado
3	62.86	Moderado
4	53.55	Moderado
5	62.42	Moderado
6	72.29	Moderado
7	78.37	Moderado

9 Conclusiones.

1. En general los suelos del parque son someros y pedregosos de textura franca-arcillosa, con un espacio poroso predominantemente medio, y un alto contenido de materia orgánica, el pH es de ligeramente ácido a fuertemente alcalino y la CIC es alta, así como el porcentaje de saturación de bases, siendo los cationes dominantes Ca^{++} y K^{+} .
2. El parque presenta un riesgo de erosión moderado principalmente por la poca precipitación pluvial y a la acumulación de materia orgánica. Presentando un promedio de pérdida de suelo de 42.91 t/ha/año.
3. La velocidad actual de erosión es baja en seis microcuencas (1,3,4,5,6 y 7), esto debido a que la cobertura vegetal cubre más del 50% de su superficie y a que en las áreas agrícolas, las parcelas se encuentran bordeadas con magueyes y árboles de pirú o en algunos casos están delimitadas por piedras, formando una especie de terrazas antiguas conocidas como "apancales".
4. Únicamente la microcuenca 2 presentó una velocidad actual de erosión moderada, esto debido al cambio de uso de suelo que se ha dado, por el rápido crecimiento urbano, el cual ha desplazado hasta en un 81.4% a la cobertura vegetal, siendo este el factor que sirve de protección al suelo ante la dispersión y la escorrentía.
5. Los asentamientos irregulares y las áreas agrícolas existentes en las diferentes microcuencas han propiciado un inadecuado uso actual del suelo.

10 Recomendaciones para la conservación del suelo.

De manera general las principales recomendaciones para la conservación de los suelos del parque son las siguientes:

1. Las autoridades del Edo. de México como las del Distrito Federal, deben trabajar conjuntamente para frenar el crecimiento urbano así como evitar la practica de la agricultura en las diferentes microcuencas conformantes del parque.
2. Terminar de construir el muro ecológico, ya que con esto se reduciría la presión ejercida por el crecimiento urbano para habitar el parque, evitándose además la destrucción de la vegetación y su uso como basurero.
3. Al termino de una administración los programas o proyectos que esten dando buenos resultados en la conservación de los recursos que aún existen en el parque, se deben continuar y no quedar incompletos al termino o cambio de dicha administración.
4. En todas las microcuencas del parque se debe conservar la cobertura vegetal actual, ya que funciona como amortiguador del proceso erosivo.
5. Es importante tratar de reestablecer la vegetación natural de la zona, por ser ésta la que se adapta a las condiciones ambientales del lugar.
6. Es necesario que se realicen algunas obras de conservación como tinas ciegas, en áreas de fuertes pendientes; también es conveniente realizar represas de piedra acomodada y bordos de mampostería en las zonas donde suelen existir los escurrimientos, esto con el fin de reducir la energía cinética del agua durante la época de lluvia. Estas medidas tienen el propósito de evitar el arrastre de las partículas del suelo.
7. En las áreas donde se practica la agricultura, se deben tomar medidas para reducir dicha actividad, tales como establecer en jardines experimentales de observación con diferentes especies forestales y frutícolas. Con el propósito de determinar las que mejor se aclimaten a la zona y sean éstas las que en un futuro se utilicen para reforestar.

Literatura citada.

Arias R.H. 1980. **El factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la cuenca del río Texcoco**. Tesis de maestría. C.P. Chapingo, México.

Arnoldus, H.M.J. 1977. **Medology used to determine the maxium potential average anual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco**. In: Assessing soil degradati6n. FAO soil bulletin. No. 34.

Ayres, Q. C. 1960. **La erosión del suelo y su control**. Ed. Omega. Barcelona, España. 441 p.

Barnett, Ap. And J.S. Rogers. 1966. **Soil physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall**. Trans. of ASAE 9: 123, 125, 128.

Bennett, H.H. 1939. **Soil conservation**. Mc.Graw-Hill Nueva York y Londres. 993 p.

Bennett, H.H. 1955. **Elements of conservati6n**. Mc Graw-Hill, New York-Toronto-London.

Bennett, H. H. 1965. **Elementos de conservaci6n del suelo**. Fondo de cultura Econ6mica. Primera edici6n. México. D.F. 427 P.

Bubenzer, G.D y Mitchell, J.K. 1984. **Estimaci6n de p6rdida de suelo**. En: Kirkby, M.J y R.P.C. Morgan (compiladores). 1984. **Erosi6n de suelos**. Ed. LIMUSA. México pp. 35-88.

Comisi6n Nacional de Ecología, 1988. **Informe general de ecología**. México pp. 29-36.

CIMMYT. 1980. **Planeaci6n de tecnologías apropiadas para los agricultores**. Conceptos y procedimientos. Programa de Economía. México. 71 p.

CONAZA-SEDESOL. 1994. **Plan de acci6n para combatir la desertificaci6n en México**. (PACD-México). Comisi6n Nacional de Zonas Áridas. Secretaria de Desarrollo Social. México.

Cuanalo. D.L.C.H. 1991. **Manual para la descripci6n de perfiles de suelo**. C.P. Chapingo México 40 p.

Departamento del Distrito Federal (D.D.F.), 1985. Carta topogrÁfica **Acueducto de Guadalupe**, escala 1:10 000, clave E 14 A 29-54.

Departamento del Distrito Federal (D.D.F.), 1985. Carta topogrÁfica **La Villa**, escala 1:10 000, clave E 14 A 39-14.

Departamento del Distrito Federal (D.D.F.), 1985. Carta topogrÁfica **San Juan de Aragon**, escala 1:10 000, clave E 14 A 39-15.

Departamento del Distrito Federal (D.D.F.), 1985. Carta topogrÁfica **Rústica Xalostoc**, escala 1:10 000, clave E 14 A 29-55.

Dissmeyer, G.E. and Foster G.R. 1981. **Estimating the cover-management factor C in the Universal Soil Loss Equation for Forest Conditions.** Journal of Soils and Water Conservation. Vol. 36.

Duarte, R. 1990. **Contribución del representante y jefe de la Misión diplomática de la FAO en México al Primer Simposium Nacional Sobre Degradación de Suelos.** Memorias del Simposium. México. pp. 97-103.

Ellison, W.D. 1945. **Some effects of raindrop and surface flow on soil erosion and infiltration.** Trans. Amer. Geophys. Union. 26 (3): 415-429.

FAO-PNUMA. 1980. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.** Roma, Italia. 86 p.

FAO. 1983. **Mantengamos viva la tierra. Causas y remedios contra la erosión.** Boletín de suelos de la FAO. Roma, Italia. 77 p.

FAO. 1984. **Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación.** Roma, Italia. 74 p.

Figueroa, B. Perales; S.O. Romo, J.J. Teles, J.A. 1982. **Comparación de índices de erosividad para la zona semiárida del Edo. de Querétaro.** Memorias del 15º Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.

Figueroa S.B. 1975. **Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco.** Tesis de maestría. C.P. Chapingo, México. 209 p.

Foster, G.R; and Meyer, L.O. 1975. **Soil erosion and sedimentation.** Trans. Of the ASAE. pp. 1-13.

Foster, G. R; D. K. MacCool, K. G. Renard and W. C. Moldenhauer. 1981. **Conversión of the Universal Soil Loss Equation (USLE) to SI metric units.** J. Soil and Water Cons. 36:355-359.

Fournier. F. 1969. **Climat et erosion.** ed. Press Universitaires, France. 201 p.

Hernández, H; H. F. 1982. **Origen estratigráfica y pectrografía de la Cuenca de México y sierras circundantes.** IPN. México. pp. 50-74.

Hudson, N.W. 1971. **Soil conservation.** Cornell University. Press. Ithaca, New York.

Hudson, N. 1982. **Conservación del suelo.** Ed. Reverté, Barcelona, España.

INEGI. 1979. **Carta Edafológica, Geológica, Uso del suelo.** ESCALA 1:50 000, Clave E 14 A 29,39.

INEGI. 1984. **Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación.** Roma, Italia. 74 p.

INEGI. 1994. **Estadísticas del medio ambiente**. México. 111 p.

Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. 1984. **Importancia de la erosión en México**. Comunicado No. 66 sobre recursos bióticos potenciales del país. México.

Jiménez García Julio E. 1991. **Riesgo y velocidad de erosión de los suelos del municipio de Comitán, Chiapas**. tesis profesional, Chapingo México. 80 p.

Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan (Compiladores). 1984. **Erosión de suelos**. Ed. LIMUSA. México. 375 p.

Laird, R.J. 1980. **Cuaderno de edafología**. Centro de edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.

Lane, L.J. et al. 1979. **The water erosion prediction project:overview**. Reprinted From The Proceedings of Nacional Water Conference. Newark, Delaware/Jul. Pp 17.20. 1989.

Martínes, M.M. 1981. **Notas de clase de conservación de suelos y del agua**. C.P. Chapingo, México.

Mitchell, J.K., y G.P. Bubenzer. 1984. **Estimación de pérdida de suelo**. En Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan (Compiladores). 1984. **Erosión de suelos**. Ed. Limusa. México. pp. 32-58.

Morgan R.P.C. 1984. **Implicaciones**. En: Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan (Compiladores). 1984. **Erosión de suelos**. Ed. Limusa. México. pp. 307-362.

Ortiz Solorio Ma. De La Luz. 1994. **Evaluación cartográfica y políticas preventivas de la degradación de la tierra**. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 161p.

Ortiz V. B. 1966. **Conservación de suelos**. Serie Apuntes. Escuela Nacional de Agricultura. México. 71 p.

Romo, S.J.J. 1987. **Instructivo para el cálculo del riesgo y la velocidad de erosión mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, para su uso en la elaboración de programas y prácticas de conservación de suelo y agua**. Dirección General de Normatividad Agrícola. SARH. 82 p.

Santos, L. E. 1995. **Cuantificación de la erosión hídrica bajo diferentes coberturas vegetales en un Andosol de Páztcuaro, Michoacán**. Tesis. UACH. Chapingo, México.

SARH. 1979. **Inventario de las áreas erosionadas del Estado de Guanajuato**. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.

S.A.R.H. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. 1981. **Análisis de la información generada en el campo experimental "Las Ollas", Chiapas**. 111 p.

SARH. 1987. **Curso sobre conservación y manejo de suelos con problemas de erosión hídrica**. México. pp. 1-82.

SARH. 1991. **Manual de conservación del suelo y el agua**. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 584 p.

Soil Conservation Service. 1972. **National engineering handbook**. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, United States Government Printing Office, Washington, D.C.

Soil Survey Staff, 1984. **Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey**: Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Soil Survey Investigation, Report 1, U.S. Government Printing Office, 90 p.

Stalling, J.H. 1977. **El suelo su uso y mejoramiento**. Sexta impresión. CECSA. México. 480 p.

Stocking, M. 1980. **Ecological and environmental indicators for rapid appraisal of natural resources**, *Agricultural administration* 8:473-484.

Suárez, F.C. 1979. **Conservación de suelos**. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San. José, Costa Rica. 315 p.

Ríos, B.J.D. 1987. **Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo**. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo. 226 p.

Thornthwaite, C.W. 1994. **Manual**. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH. México.

Torres, M.A., E.F. Anzola y M.F.L.M., Nuñez. 1999. **Modelamiento ambientea para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca tributaria del embalse del proyecto Porce II**. Ed. Consultoría Colombiana SA. Empresas Públicas de Medellín (www.cincol.com/pagina7/porceii.htm). Santa Fe de Bogotá, Colombia, 10 p.

Vargas Márquez Fernando. 1997. **Parques Nacionales de México**, Vol. Y. SEMARNAP. México, pp. 53-67.

Wischmeier, W. H. 1959. **A rainfall erosion index of a universal soil-loss equation** *Proc. Soil. Sci.Soc. Am.*, 23, 246-249.

Wischmeier, W.H. 1975. **Estimating the soil loss equation cover and management factor for undisturbed areas**. En: *Present and Perspective Technology for Predicing Sediment Yields and Sources-Proceedings of Sediment-Yield Work-Shoo* United States. Department of Agriculture Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi, Noviembre 1972 (Agricultural Research Service Report AR5-5.40), Departamento de agricultura de los Estados Unidos, Washington, D.C., pp. 118-125.

Wischmeier, W. H. 1976. **Use and misuse of the universal soil loss ecuation**. *Journal of Soil and Water Cons.* 31: 5-9.

Wischmeier, W. H., y D.D. Smith. 1978. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning.** Agr. Handbook No. 537. USDA. Washington, D.C. 58 p.

Woodward, L. 1943. **Infiltration-capacities of some plat-soil complexes on Utah range watershed lands.** Trans. Am. Gophys. Union, 24, 468-473.

Literatura Consultada.

Adame Martínez Salvador. 1987. **Metodología para predecir riesgos potencial y velocidad actual de erosión.** Tesis profesional. UNAM. México. 128 p.

Aguilar S. G. 1982. **Metodología para aplicar y obtener factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, para condiciones de México,** Tesis Profesional, UACH, México. 213 p.

Becerra M. A. 1992. **La erosión y el factor humano en Coatlínchan, Edo. de México,** Tesis Profesional. Colegio de Postgraduados, México.

Becerra M., A. 1996. **Escurrecimientos superficiales y erosión.** UACH. Departamento de Suelos, Area de Recursos Naturales. Chapingo, México. 99 p.

Becerra M., A. 1997. **Erosión de suelos. Apuntes de la primera parte del curso de Conservación de suelos.** 2da.Ed. Departamento de Suelos, UACH. Chapingo, México. 109 p.

Boul, S.W. 1988. **Génesis y clasificación de suelos.** Ed. Trillas, México. 417 p.

Chaidez Bolado Roberto. 1990. **Evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en el Edo. de Jalisco.** Tesis de licenciatura. UACH. Chapingo. México.

Cepeda, D.J.M. 1999. **Química de suelos.** Ed. Trillas, México. 167 p.

Departamento del Distrito Federal. 1975. **Memorias del sistema de drenaje profundo del D.F.** Secretaria de obras y Servicios. Dirección General de Obras Hidráulicas. México, D.F.

Duchaufour.P.H. 1984. **Edafología.** Ed. Mosson, S.A. España. 443 p.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. 1997. **Programas Delegacionales, Gustavo A. Madero.** México. 262 p.

González Velázquez Arelia. 1985. **Caracterización edáfica, evaluación de la degradación de los suelos y clasificación agrológica de los mismos en un área del municipio de Salamanca, Guanajuato.** Tesis de licenciatura. UNAM. México. 102 p.

Hernández Anguiano María Esther. 1996. **Evaluación de la erosión de los suelos en la subcuenca del río Guanajuato.** Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 75 p.

Hernández De León Jose Martín. 1998. **La erosión en suelos agrícolas.** F.E.S.C. UNAM. Cuautitlán México.

Hernández Orduña Silvia. 1996. **La erosión, un problema de la producción agrícola.** Tesis de licenciatura. F.E.S.C. UNAM. Cuautitlán, México. 117 p.

Huerta Martínez Elsa. 1995. **Evaluación de la erosión hídrica de la productividad en el cultivo de frijol a través de pequeñas cuencas agrícolas bajo condiciones de temporal.** Tesis de licenciatura. F.E.S.C. UNAM. Cuautitlán México. 85 p.

INEGI. 1980. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.** UNESCO/PNUMA. Roma, Italia. 86 p.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. 1991. **Apuntes de parques nacionales.** México. 38 p.

Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan. (Compiladores). 1984. **Erosión de suelos.** Ed. LIMUSA. México. 375 p.

Lal, R. 1979. **Review of soil erosion research in Latin America.** In: Greenland, D.J. and R. Lal. 1979. **Soil conservation and management in humid tropics.** John Wiley and sons. pp. 232-240.

Lugo, H.J. 1989. **Diccionario Geomorfológico.** Instituto de Geografía. UNAM. México pag. 22-59.

Morgan, R.P.C. 1979. **Soil erosion topics in applied geography. Soil erosion.** Longman. London and New York. 113 p.

Oropeza M., J. L. 1980. **Evaluación de la erosión hídrica (sedimentos en suspensión) en las cuencas de los Ríos Texcoco y Chapingo.** Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 178 p.

Orozco Mayren Gilberto. 1984. **Cuantificación de las pérdidas de suelo.** Tesis profesional, Chapingo México. 65 p.

Ortiz, V.B y Ortiz, S.C.M. 1990. **Edafología.** UACH, Departamento de suelos. Chapingo, México. 394 p.

Palomino, R.L. 1990 **Procedimientos para observar estereoscopia artificialmente.** Sección de ingeniería topográfica y geodésica. Facultad de Ingeniería. UNAM. 7 p.

Pineda Velázquez Adriana. 1990. **Análisis y alternativas de restauración ecológica para áreas con degradación ambiental por desertificación y erosión en Tlaxcala.** Tesis de licenciatura, F.E.S.C. UNAM. Cuautitlán, México. 100 p.

Porta, J. 1994. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente.** Ed. Mundi-Prensa. Madrid España. 807 p

Salinas Montes Araceli. 1994. **Geomorfología de la sierra de guadalupe y riesgos naturales.** Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 110 p.

Santos Hernández Jaime. 1988. **El manejo del suelo alternativa de solución al problema de la erosión en el Parque Nacional Los Remedios.** Tesis de licenciatura. F.E.S.C. UNAM. México.

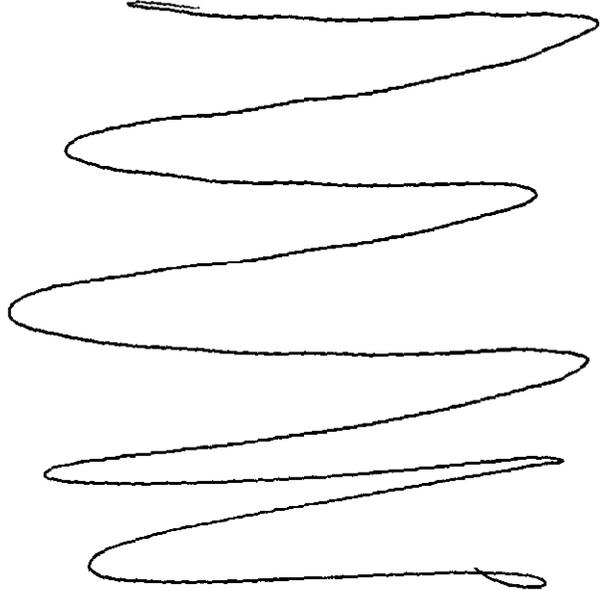
SARH. 1991. **Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión.** Colegio de Postgraduados/CREZAS. 116 p.

SEDUE. 1989. **Información básica sobre las Áreas naturales protegidas de México.** 82 p.

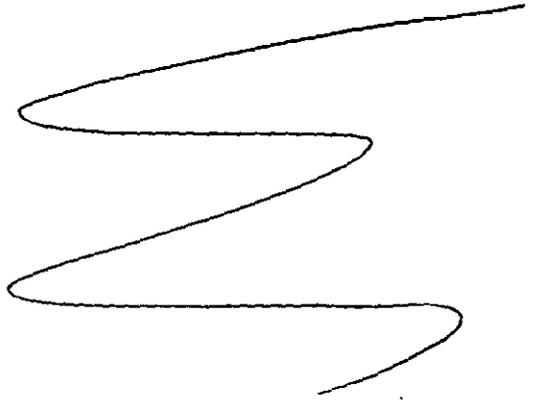
Tejeda, A. G. 1994. **Vocabulario geomorfológico.** Ediciones Akal, S.A. Madrid España.

Vargas Márquez Fernando. 1984. **Parques nacionales de México y reservas equivalentes, pasado, presente y futuro.** Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM, México, D.F. 266 p.

Zazueta, Z.G. 1984. **Influencia de los sistemas de labranza y obras de conservación en la productividad de los suelos.** Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 195 p.



ANEXOS



VALORES DE "C" PARA PASTIZALES Y TERRENOS OCIOSOS

TIPO Y ALTURA	COBERTURA DEL DOSEL %	TIPO*	RESIDUOS O VEGETACION EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO %					
			0	20	40	60	80	95-100
NO APRECIABLE	---	G	.45	.20	.10	.042	.013	.003
		W	.45	.24	.15	.090	.043	.011
PLANTAS HERBACEAS ALTAS O MALEZA CORTA (HASTA 0.5 m DE ALTURA)	25	G	.36	.17	.09	.038	.012	.003
		W	.36	.20	.13	.082	.041	.011
	50	G	.26	.13	.07	.035	.012	.003
		W	.26	.16	.11	.075	.039	.011
	75	G	.17	.10	.06	.031	.011	.003
		W	.17	.12	.09	.067	.038	.011
MALEZA APRECIABLE (HASTA 2 m DE ALTURA)	25	G	.40	.18	.09	.040	.013	.003
		W	.40	.22	.14	.085	.042	.011
	50	G	.34	.16	.085	.038	.012	.003
		W	.34	.19	.13	.081	.041	.011
75	G	.28	.14	.08	.036	.012	.003	
	W	.28	.17	.12	.077	.040	.011	
ARBOLES SIN MALEZA APRECIABLE (HASTA 4 m DE ALTURA)	25	G	.42	.19	.10	.041	.013	.003
		W	.42	.23	.14	.087	.042	.011
	50	G	.39	.18	.09	.040	.013	.003
		W	.39	.21	.14	.085	.042	.011
75	G	.36	.17	.09	.039	.012	.003	
	W	.36	.20	.13	.083	.041	.011	

* G = Cubierta superficial formada por pastos

W = Cubierta superficial formada por un estrato herbaceo.

FACTOR "C" PARA BOSQUE

CONDICION DEL BOSQUE	COBERTURA DEL DOSEL % DEL AREA ⁽¹⁾	MANTILLO % AREA	ESTRATOS INFERIORES	FACTORES "C"
BIEN POBLADO	100 - 75	100 - 90	MANEJADO ⁽²⁾	.001
			SIN MANEJO ⁽³⁾	.003 - .011
POBLACION MEDIA	70 - 40	85 - 75	MANEJADO	.002 - .004
			SIN MANEJO	.01 - .04
POBREMENTE POBLADO	35 - 20	70 - 40	MANEJADO	.003 - .009
			SIN MANEJO	.02 - .09

