



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

"BIOLOGÍA"

**Determinación del grado de Erosión
Hídrica en Microcuencas de la parte SO
del Iztaccíhuatl, Estado de México**

T E S I S
Que para obtener el Título de:
B I Ó L O G O
P r e s e n t a n

**Azuara Sánchez Gerardo Ambrosio
Bello Fuentes Alejandro Juvenal**

DIRECTOR DE TESIS: BIÓL. J. Rubén Zulbarán Rosales



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Abril 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

DEDICATORIA

A DIOS

Por haberme dado el don de la vida y darme lo mejor de ella: mi familia. Gracias porque aún sin merecerlo me lo has regalado.

A MIS PADRES

Marisela y Ambrosio ejes de mi vida por el inmenso amor, cariño y apoyo. Por sus decididos y constantes impulsos de superación

A MIS ABUELOS

Isabel (+), Berta (+), Juan y Donato. Con un profundo amor y por el cariño que siempre me han brindado.

A MIS HERMANOS

Alejandra, Ricardo y Miguel Ángel. Porque a pesar de todo y contra todo nos une un gran cariño, los amo y sepan que siempre contarán conmigo.

A TODOS MIS FAMILIARES

Tíos y primos
Que de una u otra forma me apoyaron, siempre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gerardo Uzuara

SOLO ES COSA DE TIEMPO

*Empezar algo siempre es
Gratificante pero es más
Satisfactorio terminarlo...*

*Solo las personas que trabajan
Por lo que quieren son las que
Avanzan en la vida.*

*Es preferible fracasar por lo
Que se hace, que por lo que
No se hace.*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" por la formación profesional que recibimos.

Al Biólogo Rubén Zulbarán Rosales director del presente trabajo, y al Dr. Eliseo Cantellano de Rosas por todo su apoyo, asesoramiento y amistad para la elaboración del trabajo.

A los sinodales del jurado:

Biol. Elvia García Santos
Biol. Rubén Zulbarán Rosales
Dr. Eliseo Cantellano de Rosas
Dr. Gerardo Cruz Flores
M. en C. Manuel F. Rico Bernal.

Por sus comentarios y críticas, que muy amablemente aportaron para el enriquecimiento del trabajo.

A mis compañeros y amigos

Rocío, Isaura, Raquel, Antonia, Alicia, Fabiola, Nadia, Carolina, Angélica, Beatriz Moncada, Beatriz Martínez, Natalia y Nayeli, Miguel, Tomas, José, Edgar.

A todos los profesores de la carrera de Biología, por los conocimientos brindados a lo largo de esta importante etapa de nuestras vidas.

Alejandro y Gerardo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE.	Página
Resumen	ii
1. Introducción	1
2. Marco teórico	3
2.1. La erosión del suelo y sus Problemas	5
2.2. Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo	9
2.3. La erosión en suelos forestales	18
2.4. Las pérdidas de suelo en el bosque	21
2.5. Percepción Remota	22
3. Objetivos	32
4. Hipótesis	32
5. Zona de estudio	33
5.1. Caracterización	34
6. Material y método	39
6.1. Trabajo de campo	40
6.2. Análisis de laboratorio	41
6.3. Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo	41
6.4. Clasificación de imágenes	43
7. Resultados	45
7.1. Erosión Puntual	45
7.2. Erosión por áreas	52
8. Conclusiones	67
9. Sugerencias	68
10. Literatura citada	69
11. Anexos	73
12. Apéndice	77

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



RESUMEN

El suelo, es uno de los recursos naturales más significativos en la vida del hombre, el cual a lo largo de los años ha sido sobre explotado, lo que ha provocado una degradación que aumenta de manera alarmante día con día, causando una disminución (total o parcial) en su productividad.

El objetivo de este estudio fue clasificar, evaluar y regionalizar la pérdida de suelo en la parte Suroeste del volcán Iztaccihuatl, así como obtener el factor determinante de la erosión de suelo, para la evaluación de la erosión, se uso la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (EUPS).

La zona de estudio se ubica entre los municipios del Estado de México y Morelos con una superficie de 23621.52 ha y se determinaron 11 microcuencas. Para el primer factor R (factor de lluvia) se usó un registro pluviográfico así mismo también se utilizó el índice de Fournier para determinar los valores de R; el factor K (factor de erodabilidad) se evaluó por medio de la estructura, materia orgánica, permeabilidad y textura del suelo, utilizando el nomograma de Weischmeier (1971); el factor L.S(topográfico), se calculó con la fórmula propuesta por Weischmeier; Para el factor C los valores se obtuvieron con la cubierta vegetal (Kirkby, 1984). Con los valores obtenidos, se hizo un análisis empleando el programa Idrisi 32 digitalizando una imagen de satélite Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) previamente elaborada a partir de diferentes combinaciones de bandas (puntos de entrenamiento) y elaborando firmas espectrales para cada clase. Se realizó una clasificación supervisada con el método de membresía difusa evaluando diferentes grados de incertidumbre para evitar los traslapes entre las clases de erosión (Eastman, 1999). Se determinaron las microcuencas a partir de un modelo de elevación digital siguiendo el relieve de las microcuencas limitando cada una a través de sus parte aguas, para ello se utilizó el programa ArcView trabajando sobre una imagen de satélite de tipo Landsat TM+.

Se identificaron 4 clases de erosión: erosión nula y ligera con 18,279.42 y 2,731.35 ha respectivamente en las cuales se pierde menos de 10 toneladas de suelo al año, erosión moderada con 978.42 ha perdiendo de 10 a 50 toneladas y la erosión muy alta con 1,635.38 ha en donde se pierde más de 200 toneladas por año, lo que hace una superficie total afectada de 5,342.69 ha. Estos puntos se distribuyen en los gradientes altitudinales de 2500-3500 msnm, la erosión que comprende a la clase moderada y muy alta se encuentra en los 3000-3500 msnm. La erosión nula ligera se distribuye a lo largo de toda la zona de estudio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



I. INTRODUCCIÓN.

El término de erosión hídrica se refiere a la pérdida progresiva de suelo que se produce en los terrenos, debido a la acción física del agua. Este efecto destructivo de desgaste tiene lugar en lapsos muy cortos, favorecido por el desequilibrio que se produce al destruir y deteriorar la cubierta vegetal o por la aplicación de técnicas inadecuadas en el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales (Becerra, 1999).

Se considera al suelo como uno de los dones de la naturaleza más indispensable para la supervivencia del hombre. Si aceptamos la importancia de la conservación y mejoramiento de los suelos y pensamos que es y será el problema futuro de las generaciones que tendrán que sustituirnos, podemos llegar a la conclusión de que es necesaria la clasificación de los suelos en función de su capacidad forestal o agrícola, esto es, la adaptación que presentan los suelos a usos específicos para reducir su pérdida por mal manejo.

La necesidad de conservar este recurso se hace más notoria debido a la situación geográfica de nuestro territorio y a la naturaleza orográfica de su terreno; que nos obliga a evitar errores en la administración de nuestros recursos naturales para equilibrar la escasez de tierras forestales y agrícolas y más aun evitar la carencia de agua.

Los resultados alarmantes sobre la destrucción de nuestros recursos, se manifiesta en una disminución constante de nuestros bosques y un incremento de la superficie de suelos erosionados que traen como consecuencia la modificación del clima, inundaciones y falta de estímulos para el desarrollo económico en las áreas rurales.

Es importante indicar que dentro del Parque Nacional Izta-Popo, las 11 microcuencas establecidas abarcan una superficie total de 23.621.52 ha, en su mayoría constituida por terrenos de lomeríos y montañosos solo un 15% se considera como planos, se realizaron muestreos de suelo en 40 puntos diferentes a los cuales se les determinó materia orgánica, textura, densidad aparente. Estos resultados, junto con los datos de longitud y gradiente de la pendiente, cobertura vegetal en sus tres facetas, y conservación de los suelos, se aplicaron a los factores R,K,L,S,C,P de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Permitiendo conocer la estimación de pérdida de suelo por hectárea. (Kirkby, 1984)

Para determinar el grado de erosión presente en algún lugar de interés, se utiliza con éxito la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PAGINACIÓN DISCONTINUA



La EUPS es un modelo matemático diseñado para predecir las pérdidas de suelo promedio en el escurrimiento de las áreas específicas, con vegetación y manejo también específico. Pero el principal propósito de la EUPS es de servir como guía metodológica para tomar decisiones en la planeación de la conservación del suelo. En forma más precisa esta ecuación puede usarse para fines de:

1. Predecir la pérdida anual de suelo promedio de un terreno con pendiente bajo uso específico.
2. Predecir los cambios de pérdida de suelo que ocurrirían al darse un cambio en práctica de cultivo o conservación para un terreno dado.
3. Determinar cómo se puede aplicar o modificar prácticas de conservación para que se tenga un uso más intensivo.
4. Estimar las pérdidas de suelo para terrenos diferentes a los agrícolas.

Sin embargo, contando con los adelantos científicos más recientes y sus aplicaciones a la agronomía, el desarrollo de la industria, con el incremento de las comunicaciones, estamos en condiciones de lograr y canalizar su vocación a la ganadería, forestería, parques recreativos, entre otros, que permitan obtener mayores beneficios y al mismo tiempo proteger y mejorar nuestros recursos edáficos en forma dinámica y permanente.

En el caso de la percepción remota desde satélites, herramienta que cuenta con numerosas aplicaciones, gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación convencionales como la fotografía aérea o los trabajos de campo; aporta elementos que más que sustituirlos los complementa adecuadamente.

Chuvicco (1990) menciona que entre las ventajas de la observación espacial vía satélites se destacan las siguientes: cobertura global y periódica de la superficie terrestre, proporciona una visión amplia de los fenómenos geográficos que se producen en la tierra, y facilitan imágenes sobre áreas no accesibles así como información sobre regiones no visibles del espectro por el ojo humano.

Hoy día, varios países operan o planean la operación de sistemas satelitales designados especialmente para los recursos terrestres, incluyendo, cultivos, bosques, selvas, cuerpos de agua, uso de suelo, entre otros. Por ello, las imágenes de satélites ofrecen varias ventajas sobre la fotografía aérea, ya que proporcionan una vista sinóptica (observación de áreas muy extensas en una sola imagen), así como un excelente nivel de detalle y finura y una cobertura sistemática repetitiva.

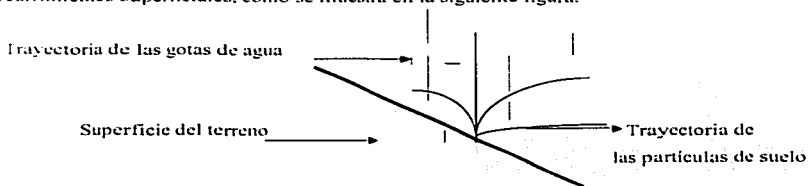
Campbell (1996). Tal capacidad es aprovechada para mantener una infraestructura cartográfica mundial, así como el monitoreo de problemas del medio ambiente a gran escala.



2. MARCO TEÓRICO.

FAO (1983), define a la erosión, como la desaparición del suelo superficial arrastrado por el agua o el viento, a veces, hasta dejar al descubierto la roca madre, es la forma más grave de degradación del suelo. La erosión es "el desgaste de la superficie de la tierra" o "desprendimiento y movimiento del suelo", este proceso ha existido siempre en la naturaleza y es conocido como erosión geológica se presenta bajo condiciones ambientales naturales de clima y de vegetación, sin intervención humana; es causada por el agua, el hielo y otros agentes naturales que actúan por largos períodos de tiempos geológicos, dando como resultado la fisonomía de las montañas, formación de valles inundables y planicies costeras. La erosión inducida es mucho más rápida que la geológica debido, principalmente, a las actividades humanas (Hudson, 1976). La erosión inducida se diferencia de acuerdo al agente erosionante (agua o viento) y al tipo de fuentes de partículas (laminar, cárcavas, arroyos y por chapoteo).

El efecto que producen las gotas de lluvia al golpear el suelo es el salpicado, el cual puede considerarse como erosión. Las gotas de lluvia cuando caen, experimentan una desaceleración, debido a la resistencia que les ofrece el aire hasta alcanzar una velocidad de caída constante o velocidad terminal, dichas gotas cuando golpean al suelo disgregan las partículas y las arrojan en todas direcciones. Este efecto no tendría graves consecuencias en terrenos planos y con ausencia de vientos, pero en terrenos con pendientes mayores del 2%, las partículas son desplazadas a mayores distancias cuesta abajo, permitiendo cierta disponibilidad para que sean transportadas por los escurrimientos superficiales, como se muestra en la siguiente figura.



Trayectoria de las partículas de suelo por el impacto de las gotas de lluvia en terrenos con pendiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Las formas de erosión hídrica son el resultado de la concentración progresiva del escurrimiento superficial. El proceso inicia con la erosión laminar, es decir con la pérdida de suelo en la superficie de los terrenos; después con la erosión en canalillos con la concentración de escurrimientos en pequeñas depresiones de terreno; después si el proceso continua con la erosión en cárcavas, cuando los canalillos erosionados se hacen grandes y finalmente la erosión en las márgenes de las corrientes superficiales cuando van socavando sus riberas (Hudson, 1977).

Bajo este esquema de mecánica de la erosión hídrica se presentan cuatro formas de erosión hídrica según la FAO(1983) .

- **Erosión laminar:** Se presenta cuando el proceso de erosión es gradual y más o menos uniforme sobre la superficie del terreno.
- **Erosión en canalillos:** Es la que ocurre cuando el escurrimiento superficial fluye en pequeñas depresiones del terreno que arrastran el suelo, forman canalillos que pueden borrarse con el laboreo del terreno.
- **Erosión en cárcavas:** Cuando el escurrimiento superficial fluye en pendientes escarpadas produce profundas fisuras que en su extremo inferior forman un escalón que gradualmente avanza hacia abajo haciéndose más honda y ancha hasta formar una gran zanja o cárcava.
- **Erosión en riberas:** Se presenta cuando los ríos y corrientes superficial azolvadas y con sedimentos provocan la socavación de sus márgenes.

La magnitud del deterioro del suelo por erosión hídrica se manifiesta tanto por la pérdida de las partículas del suelo como por el abatimiento de los niveles de productividad del mismo. La pérdida del suelo normalmente se representa en términos de una tasa: toneladas por hectáreas por año. La erosión hídrica en términos de pérdida de suelo esta en función de las variables; erosividad, erodabilidad, configuración topográfica y manejo (Hudson, 1977), donde, la erosividad es la capacidad o energía potencial de la lluvia para provocar erosión y depende de las características físicas de la lluvia (intensidad, duración y frecuencia); La erodabilidad es la susceptibilidad o vulnerabilidad del suelo a la erosión y depende de las características físicas del suelo. Un suelo con alta erodabilidad sufre más erosión que un suelo con baja erodabilidad cuando ambos son expuestos a la misma lluvia, la erodabilidad depende de muchas variables. Los factores que tienen influencia sobre la erodabilidad del suelo se puede dividir en tres grupos; en el primero están las características del suelo tales como la



composición física y química; en el segundo grupo se ubican las características topográficas tales como la pendiente del terreno; en el tercero se encuentra el manejo y el uso del terreno.

2.1 LA EROSIÓN DEL SUELO Y SUS PROBLEMAS.

A nivel mundial y nacional es reconocido el problema y consecuencias de la erosión. Específicamente en México se tiene información acerca de la proporción del área afectada por el proceso erosivo (80%). Sin embargo, no se dispone de información suficiente para especificar las mejores acciones de protección al suelo contra los agente erosivos, acordes con el tipo y uso actual del suelo, con la región, tipos de cultivo y sobre todo, con la economía de los productores, al considerar estos rubros podrán implementarse las acciones de éstas y que sean aceptadas.

Lo anterior indica que en nuestro país, no únicamente tenemos el problema económico y social relacionado con la erosión, como lo señala (Morgan, 1984), sino que no hemos superado completamente el problema técnico o de ingeniería. Esto nos indica que no hemos atendido la interacción dinámica entre suelo-precipitación-vegetación para superar el problema técnico y que, sólo hemos analizado y comprendido en forma aislada cada uno de estos factores.

MECÁNICA DEL PROCESO EROSIVO.

Remoción.

La remoción ocurre cuando el viento, precipitación y escurrimiento son los suficientemente intensos para desprender y transportar partículas. El primer movimiento de las partículas se efectúa por saltación.

Transporte.

Las partículas lanzadas hacia arriba durante la saltación debido a su reducido tamaño y peso, vencen la atracción de la gravedad y son transportadas a grandes distancias, representando una pérdida para el área afectada.

Otro movimiento de transporte es el rodamiento de partículas de textura gruesa sobre la superficie del suelo impulsadas por el viento y otras partículas que las golpean, generalmente recorren distancias mucho menores que las partículas en suspensión (Sánchez, 1981).



La precipitación opera principalmente a través de la acción de gotas de lluvia, la cual es una fuente de energía para desprender el suelo de la superficie, la lluvia tiende a romper a los agregados del suelo en sus partículas primarias y agita la película de agua previo al flujo laminar. Si la tasa o capacidad de infiltración es menor que la intensidad de la lluvia, se presenta el escurrimiento a través del flujo laminar.

A medida que aumenta la profundidad del flujo, se incrementa la capacidad de remoción y transporte del escurrimiento superficial, disminuyendo el efecto directo de las gotas de lluvia, con esto se aumenta la remoción de partículas del suelo y se inicia la formación de canales. En este momento la tasa de erosión del suelo depende de la velocidad del flujo escurrido y de la susceptibilidad del suelo a las fuerzas del flujo hidráulico (Santiago, 1986).

Deposición.

Esta ocurre en el momento en que la fuerza de la gravedad supera a la que mantiene al suelo en movimiento o cuando algún obstáculo físico reduce la velocidad del escurrimiento. (Sánchez, 1981).

Daños causados por la erosión.

El problema más grave causado por la erosión, es la pérdida irreversible del suelo. Tal vez a costa de verlo en forma cotidiana, inconscientemente restamos importancia a este deterioro "como siempre ha ocurrido, ocurre y seguirá ocurriendo". Además del problema directo de la pérdida de suelo, la erosión afecta de varias formas; entre ellas Vázquez (1987) enumera las siguientes:

1. Pérdida paulatina de la fertilidad del suelo.
2. Endurecimiento del suelo y aparición de grava y rocas.
3. Formación de grietas por las que escurre el agua hasta transformarlas en cárcavas.
4. Disminución gradual de la productividad agrícola.
5. Al compactarse el suelo y desaparecer la vegetación, el agua deja de infiltrarse.
6. Disminución de los acuíferos, al no infiltrarse el agua a capas profundas.
7. Pérdida de capacidad de retención de agua.
8. Las corrientes de agua que bajan de cuencas en proceso activo de erosión, van cargadas de sedimento que se deposita en presas y ríos.
9. El aumento en el sedimento de ríos es causa de que aquél se deposite en zonas de corriente lenta.



10. Los sedimentos acarreados por los ríos se depositan en lagos, presas y el mar. (Becerra, 1999)

Clasificación de la Erosión.

La erosión ha sido clasificada desde diversos puntos de vista, siendo las más comunes las siguientes:

a) Por su naturaleza, la erosión puede ser:

- -Natural o geológica
- Inducida o alterada

b) Por el agente activo que la produce: Hídrica y Eólica.

c) Por el modo de acción y/o señales dejadas en el terreno (formas de erosión hídrica): En canalillos, surcos y cárcavas.

d) Por la intensidad del proceso: ligera, moderada, severa y muy severa

Al respecto de las anteriores clasificaciones, la erosión natural es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza, mientras la erosión inducida es causada por las actividades del hombre al utilizar los recursos de la tierra de manera inadecuada. A su vez, la erosión hídrica es aquella cuyo agente activo es el agua.

Wischmeier y Smith (1978), concluyeron que las cuatro características del suelo que mayor influencia tiene sobre la susceptibilidad a la erosión son el contenido de materia orgánica, textura, el tipo y tamaño de los agregados y a la permeabilidad del perfil. La configuración topográfica determina el gradiente del terreno al proceso del arrasre del suelo y el manejo comprende las prácticas, tanto del suelo como de la vegetación (natural o inducida). La erodabilidad del suelo y la erosividad de la lluvia son dos factores físicos importantes que afectan la magnitud de la erosión del suelo.

El modelo para predecir erosión que ha tenido mayor aceptación y un uso extensivo es el propuesto por Wischmeier y Smith (1978), conocido como la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS).

El principal propósito de la EUPS es servir como guía metodológica para la toma de decisiones en la planeación de la conservación del suelo, sobre todo para la selección de prácticas adecuadas para controlar la erosión en terrenos de cultivo y áreas de construcción. De manera más específica la EUPS puede usarse para los siguientes fines.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Predecir la pérdida anual de suelo promedio de un terreno con pendiente bajo un uso específico.
- Seleccionar sistemas de manejo, cultivos y prácticas de conservación para pendientes y suelos en específico.
- Predecir los cambios de pérdida de suelo que ocurrirían al darse un cambio en práctica de cultivo o conservación para un terreno dado.
- Determinar como se puede aplicar o modificar prácticas de conservación para que se tenga un uso más intensivo.
- Estimar las pérdidas de suelo para terrenos diferentes a los agrícolas.
- Dar estimaciones de pérdida de suelo a conservacionistas para determinar necesidades de conservación.

Por otro lado la EUPS presenta varias limitaciones las más importantes, de acuerdo con Wischmeier (1976), son las siguientes:

La EUPS no estima adecuadamente la erosión en eventos estacionales o años en específico.

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

Además de las limitaciones anteriores, hay que tomar en cuenta que la EUPS fue desarrollada para condiciones de EUA, y por lo tanto puede no ser adecuada para condiciones diferentes (por ejemplo en el Trópico), en cuyo caso se requiere de la validación y modificación correspondiente de cualquier manera, se le considera como una valiosa herramienta en la planeación de la conservación del suelo (Foster *et al.* 1981).



2.2. LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE LA PÉRDIDA DE SUELO.

La EUPS es un modelo matemático diseñado para predecir a largo plazo las pérdidas de suelo promedio en el escurrimiento de áreas específicas, con vegetación y manejo también específico.

Con una apropiada selección de los valores de sus factores, la ecuación puede calcular las pérdidas de suelo promedio para un sistema de multicultivos, para un año en particular de una rotación o para una etapa en particular del desarrollo del cultivo.

El cálculo de las pérdidas de suelo para un sitio dado se realiza con el producto de seis factores que para una localidad en particular pueden ser expresados numéricamente. Las variables que influyen en la erosión son reflejadas por estos factores y varían considerablemente de una tormenta a otra, pero los efectos de las fluctuaciones aleatorias tienden a un promedio en periodos largos de tiempo. Por esta razón las predicciones hechas en periodos de tiempo cortos son menos precisas.

Los factores de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo son:

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

donde:

A = Es la pérdida de suelo calculada por unidad de área expresada en las unidades seleccionadas para **K** y para el período seleccionado para **R**.

En la práctica las unidades usualmente utilizadas son $\text{ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

R = Es el índice de erosividad de la lluvia ($\text{Kg. m}^{-1} \times \text{mm}^{-1}$ de lluvia).

K = Es el factor de erodabilidad del suelo definido como la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad para un suelo específico. Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas a igualdad de los demás factores.

L = Es factor longitud de la pendiente y se define como la relación de las pérdidas de suelo de un campo de determinada longitud de la pendiente.

S = Es el factor magnitud de la pendiente definido como la relación de pérdida de suelo de un campo con determinada pendiente.

C = El factor de cobertura y manejo de cultivo, es la relación de pérdida de suelo de un terreno cultivado bajo condiciones específicas, con las correspondientes pérdidas de un suelo desnudo. Este factor estima el efecto combinado de todas las variables interrelacionadas de cobertura y manejo, el



valor varía de 0 a 1. Es 1 cuando no existe vegetación, y conforme se incrementa la cobertura vegetal su valor disminuye.

P = Es el factor que se refiere a las prácticas mecánicas definido como la relación de pérdida de suelo con determinado tipo de prácticas y otro similar con el sentido del surcado en dirección de la pendiente.

DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES:

Factor K

Es la vulnerabilidad de un suelo a ser erodado. Las propiedades del suelo que afectan a la tasa de infiltración como permeabilidad, capacidad hídrica total, dispersión, abrasión y fuerza de transporte, también afecta la erodabilidad. Wischmeier y Mannering (1969), propusieron un modelo lineal que proporciona un ajuste perfecto en la pérdida de suelo y 24 variables relacionadas con propiedades físicas y químicas del suelo, se consideró válida para una amplia gama de suelo de textura media, pero muy complicada para un uso general; entonces el desarrollo de la nomografía sobre erodabilidad del suelo que hizo posible la determinación de K con solo 5 variables:

- % de limos (0.002-0.05) + arenas (0.05 - 0.10)
- % de arenas (0.10 - 2.0)
- Estructura.
- Contenido de materia orgánica.
- Permeabilidad.

Textura.

Según Gavande (1972) "el tamaño de las partículas sean primarias o secundarias, afecta el movimiento del suelo ante una velocidad dada del agua". Es obvio que con el mismo escurrimiento, un suelo con partículas del tamaño de la arena no tendrá tanta erosión, como cuando sus partículas son del tamaño del limo. La cantidad y tamaño de las partículas del suelo mayores de 2 mm de diámetro.



aumenta la velocidad de infiltración y reduce la erosión, además son más pesadas que los suelos erosionables.

En estudios sobre la importancia que tiene la textura en la erodabilidad de un suelo, Wischmeier, *et al.*, (1971), "Concluyeron que la erosión aumenta con el mayor contenido de limos y decrece con los

contenidos de arena, arcilla y materia orgánica; en sus trabajos también encontraron que la erodabilidad también depende de la distribución del tamaño de las partículas, en especial el de arenas muy fina más limo y el por ciento de arenas entre 0.10 a 2.0 mm de diámetro los dos parámetros anteriores explicaron el 85% de la varianza en valores observados de K".

Otro estudio de Wischmeier y Mannering (1969), citado por Ríos (1987) reportaron que de manera general suelos con altos contenidos de limo y bajos de materia orgánica y arcilla son más erodables; indicando que la erodabilidad decrece cuando la fracción arcilla y materia orgánica se eleva; el efecto anterior se atribuye probablemente al incremento de la cohesión.

En relación a la interacción de las partículas coloidales del suelo, menciona "que estas causan una cementación de las partículas primarias en agregados estables. La agregación estable no puede producirse en las arenas y limos si faltan los coloides. En lo referente a la cementación se distinguen tres grupos de materiales coloidales en los suelos: las partículas de arcilla, los coloides orgánicos irreversibles o lentamente reversibles (óxido de aluminio, óxido de hierro) y los coloides orgánicos. observó que "al disminuir la cantidad de materia orgánica aumenta la correlación entre el contenido de arcilla y la agregación, esto es, en presencia de altos contenidos de materia orgánica, el de la arcilla en la formación de partículas secundarias es insignificante".

Así pues, se observa que el parámetro textura es de vital importancia en la erodabilidad de un suelo ya que uno de sus componentes, la arcilla, es básico para la formación de agregados estables al agua.

Las cuatro denominaciones arena, limo, arcilla y migajón - se combinan de varias maneras para designar doce diferentes clases texturales. Además, las texturas arenosas suelen clasificarse según el tamaño dominante de las partículas arenosas, tales como textura de "migajón arenoso grueso" o migajón arenoso fino"

La clase de textura se define en función del porcentaje el peso de cada fracción de suelo. Estos porcentajes se escogen, sin embargo, para relacionarlos con las propiedades que el suelo presenta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Estructura.

Según Russell (citado por Baver, 1972) "los coloides arcillosos deben poseer una considerable capacidad de intercambio de bases ya que los cationes de intercambio no deben ser grandes porque inhiben la agregación. Se ha demostrado que al secarse el suelo aumenta el número de enlaces entre las partículas, se hacen más intensas porque son más cortas y la cohesión entre las partículas es mayor.

Las fuerzas cohesivas moleculares entre las superficies de los coloides ejercen también mayor influencia en la acción de la cementación".

De manera general, operan por lo menos dos procesos de fragmentación de los terrones en unidades menores cuando después de mojados se vuelven a secar, éstas son: rápido ingreso de agua causa desigual "hinchamiento en el terrón, lo cual produce fracturas y fragmentación a lo largo de los planos de cruceo y la absorción de agua en los capilares comprime el aire ocurrido en el espacio de poros hasta el punto de hacer estallar el terrón cuando la presión del aire encerrado excede la cohesión de las partículas.

Materia orgánica.

Es muy conocido el hecho de que la materia orgánica sirve como agente cementante en el suelo, así que trabajos de muestran una correlación de 0.56 entre el porcentaje de agregados mayores de 0.05 mm y el contenido de carbono de un gran número de suelos diferentes; la correlación para los agregados mayores de 0.1 mm fue 0.69, lo cual indica que la materia orgánica conduce a la formación de agregados estables relativamente grandes. En suelos con alto contenido de arcilla el efecto cementante de la materia orgánica es muy poco.

La relación entre la agregación y la materia orgánica es un proceso dinámico; la estabilidad de los agregados esta cambiando continuamente a medida que se añade y descompone la materia orgánica. Los agentes cementantes que se forman estabilizan los gránulos y luego se descompone haciendo los agregados menos estables.

Permeabilidad.

El movimiento del agua en el suelo en condiciones de no saturación, varía con el tiempo y de un punto a otro del sistema. La distribución del agua depende del contenido de agua de la distribución que existe antes de añadir más agua y del flujo en el sistema. Los problemas primarios relacionados con el



flujo del agua son la rapidez de infiltración en la superficie, la profundidad de la mojadura y la distribución después del riego.

La importancia que algunos factores tienen sobre la permeabilidad; entre estos se halla la acción recíproca entre el agua y el suelo, dependiendo principalmente de la constitución mineralógica de las partículas del suelo (Rey, 1979).

La solución gráfica a esta ecuación está dada en el nomograma propuesto por Wischmeier *et al.* (1971 citado por Ríos 1987), y modificada por Foster *et al.* (1981), para adecuarlo a las unidades del sistema internacional.

El nomograma tiene restricciones para su uso. Si los suelos tienen un contenido de limos + arenas muy finas mayor al 70 % deben realizarse algunos ajustes a la ecuación señalada. Así mismo cuando los suelos presentan contenidos de materia orgánica superiores al 4 %, en el nomograma debe usarse la curva de 4%. También el valor de K debe ajustarse si existen fragmentos gruesos sobre la superficie del suelo.

Para determinar la erosionabilidad del suelo se han utilizado métodos directos, indirectos y la combinación de estos. Se considera como métodos directos los llevados a cabo en campo y condiciones naturales. Como métodos indirectos se consideran los realizados en el laboratorio, ya sea mediante la evaluación de algunas condiciones físicas y/o químicas del suelo o mediante simuladores de lluvia. Los primeros intentos para evaluar los índices de erosionabilidad del suelo, se basan en algunas propiedades físicas del mismo. Posteriormente se han desarrollado otros índices basados en condiciones físicas y/o químicas del suelo realizadas en campo y laboratorio. Sin embargo, para tener seguridad en cuanto a la exactitud de los índices de erosionabilidad obtenidos en forma indirecta es necesario la determinación de los parámetros en forma directa.

Factor R.

Es el factor de lluvia y escurrimiento y se define como el número de unidades de índice de erosividad de la lluvia o un factor de escurrimiento que lo sustituye cuando este es muy significativo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



El factor evalúa la pérdida de suelo causada por la lluvia. Está posee una energía potencial que al llegar al suelo se convierte en energía cinética y ejerce un trabajo sobre este, agrega que a mayor diámetro, mayor masa y mayor velocidad de caída, trayendo como consecuencia una mayor acción de

trabajo en la disgregación del suelo. Posteriormente Wischmeier (1986) propuso que la pérdida de suelo se estimaba mejor mediante el producto de la energía cinética de la lluvia y máxima intensidad en 30 min. estableciendo la siguiente ecuación:

$$R = (0.119 + 0.083 \log I) I_{30}$$

Donde :

R = Índice de erosividad de la lluvia.

I = Intensidad de la lluvia (mm/h)

I₃₀ = Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (mm/h).

Para calcular el factor R con esta ecuación se requiere un registro pluviográfico diario donde se tomaran las lecturas para el cálculo de la intensidad de la lluvia (Rey, 1986).

Otra manera de calcular el factor R es a través del índice pluvial de Fournier (1969) que se define como la relación entre el cuadrado de la precipitación máxima mensual o anual expresada en mm. ocurrida en un período dado y la precipitación total en el mismo período, quedando la siguiente ecuación:

$$F = p^2/P$$

Donde :

F = Índice de Fournier

p² = Precipitación máxima mensual o anual para el período dado (mm).

P = Precipitación total (mm).

El valor resultante se utiliza para calcular la agresividad de la lluvia, usando las siguientes fórmulas

$$1) A = F/70$$

$$2) = F/100$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Donde:

A= Agresividad de la lluvia

F= Índice de Fournier

La ecuación 1 se utiliza cuando se tiene un registro pluviométrico menor de 10 años; la ecuación 2 se utiliza en los casos en que el registro pluviométrico es mayor de 10 años (Aguilar, 1982).

Factor LS.

La longitud de la pendiente se define como la distancia que hay desde el punto de origen del escurrimiento hasta el punto donde la pendiente disminuye en modo tal que, comience el depósito o el punto donde el agua de escurrimiento penetra en un canal bien definido; puede pertenecer a una terraza, o a un cause de desviación o a un drenaje natural. (Koolhaas, 1977).

La evaluación de la longitud para el caso de la EUPS.

$$L = (x/22.13)^m$$

Donde:

L= Factor de la longitud de la pendiente

x= longitud de la pendiente en metros.

m= es un exponente que puede tomar los siguientes valores.

m= 0.5 si la pendiente es mayor o igual a 5%

m= 0.4 si la pendiente es mayor de 3% hasta 5%

m= 0.3 si la pendiente es mayor de 1% hasta 3%

m= 0.2 si la pendiente es menor de 1%

(Morgan y Kirby, 1984)

El gradiente de la pendiente es la inclinación que presenta el terreno, expresado en porcentaje, para la EUPS se denomina con la siguiente formula:

$$S = 0.065 - 0.045s + 0.0065s^2$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Donde:

S= Factor del gradiente de la pendiente

s= El gradiente de la pendiente en %

De tal forma que el factor topográfico LS se determina de la siguiente forma:

$$LS = (\times/22.13)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Pendiente del área.

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. La pendiente del terreno afecta los escurrimientos superficiales imprimiendo le velocidad según la ley de caída de cuerpos, modificada de

acuerdo a las condiciones del ambiente, así como la cantidad del material que el agua puede arrastrar y/o llevar en suspensión, está en función de la velocidad con que esta fluye sobre la superficie. A su vez la velocidad depende del grado y longitud de la pendiente (Ríos, 1987).

Grado de la pendiente.

Análisis de estudios teóricos, de 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). 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 de infiltración del agua al suelo es menor.

Longitud de la pendiente.

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Factor P.

En general los suelos con pendiente y expuestos al efecto erosivo de la lluvia, requieren que la protección brindada al suelo por la vegetación sea respaldada por las prácticas mecánicas que retardan el escurrimiento reduciendo la cantidad de suelo que éste puede transportar.

También es necesaria la estabilización de los cauces que desalojan los excesos de escurrimiento ya que complementan las prácticas mecánicas.

Por definición el factor P de la EUPS es la relación de las pérdidas de suelo con una práctica determinada y las pérdidas correspondientes a un terreno cultivado en sentido de la pendiente.

Para cada una de las prácticas se han generado cuadros de valores del factor P en función de la longitud y la magnitud de la pendiente del terreno.

Factor C.

Este factor se definió primero, como la pérdida de suelo a partir de una condición específica de cobertura, después, como la pérdida de suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo; influye los efectos de la cubierta vegetal, la secuencia de cultivo y el nivel de productividad.

El factor C representa el factor atenuante de mayor importancia en la reducción de la erosión, a pesar de ser el factor más fácil.

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

- % de suelo sin vegetación
- Cobertura forestal.
- Resistencia del suelo a ser disgregado
- Contenido de materia orgánica
- Residuos de la deforestación.
- Sitios de depositación.
- Prácticas de conservación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cada uno de estos factores se expresan 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.

El efecto benéfico de las coberturas en la reducción del proceso erosivo es incuestionable, ya que, se han estudiado los cambios en las pérdidas de suelo y los escurrimientos superficiales que se presentan al quitar la vegetación natural en un área determinada. Las coberturas vivas (vegetación) y las coberturas no vivas (residuos), brindan protección al suelo contra los agentes erosivos. Esta protección es proporcional a la biomasa, de tal forma que, considera a las coberturas vegetales como la mejor defensa natural del suelo contra la erosión.

La cobertura vegetal reduce la erosión hídrica en dos formas principalmente, que son: a través del efecto de protección al suelo contra el impacto directo de las gotas de lluvia, las cuales producen el salpicado y por los efectos sobre la estructura del suelo. La protección incluye: la intersección, dispersión y evaporación de las gotas de lluvia que no alcanzan a llegar al suelo; el efecto sujetador del sistema radicular sobre las partículas en el perfil del suelo, el cual produce mejoras en la estructura de éste, que también es favorecida al descomponerse las raíces, incrementando el contenido de materia orgánica y dejando cavidades tubulares que mejoran el movimiento de aire y agua en el suelo; incremento de la rugosidad hidráulica del escurrimiento superficial, lo cual aumenta la fricción y disminuye la velocidad de flujo, que como consecuencia, incrementa el tiempo de oportunidad para la infiltración, y por último; creando una mejora en la calidad del volumen infiltrado al llevar estos pocos sedimentos en suspensión (Wischmeier y Smith, 1965).

2.3. LA EROSIÓN EN SUELOS FORESTALES

El problema de la erosión en terrenos forestales es usualmente menos severo que en terrenos cultivados. El dosel protector de la vegetación es generalmente bueno y muy a menudo proporciona una completa protección porque además existe una acumulación de residuos orgánicos sobre la superficie del suelo que se conoce como el piso forestal o mantillo. El resultado de todo esto es una más baja tasa de erosión y un menor escurrimiento máximo de las avenidas comparado con terrenos similares bajo otros usos. Sin embargo, esto no significa que cualquier bosque se encuentra bajo estas condiciones (Hudson, 1982).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



La vegetación forestal suprime prácticamente la erosión debido a que elimina la energía cinética de las gotas de lluvia, la vegetación forestal y los pastos disminuyen las pérdidas de suelo en un 80 y 90 % respectivamente en comparación con un suelo desnudo (Ronquillo, 1983).

Aun la vegetación forestal pobre, sirve mejor que cualquier otro uso de la tierra en las cuencas para regular la lluvia y el escurrimiento. A pesar de que en los bosques hay bastante material de arrastre por el escurrimiento, si no se les perturba con caminos, arrastraderos de troncos, incendios,

pastoreo o agricultura, no hay ningún riesgo de arrastre o erosión de este material detrítico (Gutiérrez, 1969).

Los suelos forestales son intolerantes a la erosión. La cobertura forestal densa tiene un efecto altamente significativo en la reducción de la erosión. Por ejemplo cuando la cobertura vegetal sobre el terreno se incrementa de 16 a 40 %, las pérdidas de suelo por erosión se reducen en 56 %.

Las diferencias en erosionabilidad entre los tipos de cobertura pueden ser el reflejo del efecto de la cobertura vegetal sobre la génesis del suelo causadas por la diferencias en la composición química, pH y cantidad de materia orgánica (Klock, 1982).

La erosión rara vez ocurre de manera uniforme en una cuenca acuifera arbolada. La mayor parte de la superficie no se altera por las operaciones de extracción de la madera, pero como la erosión es localizada, a menudo es profunda y abarca grandes proporciones del subsuelo. En consecuencia la degradación del terreno podría ser menor de la que sería si la erosión fuera más o menos uniforme sobre toda la superficie, aunque pueda parecer mucho peor. Debido a la diversidad de las especies dentro de un ecosistema forestal natural, las zonas desnudas son fácilmente invadidas por especies pioneras y las altas iniciales de producción de sedimentos disminuyen con rapidez (Pritchett, 1986).

La efectividad de los bosques naturales en la reducción de las pérdidas de suelo y la regulación de algunos procesos del ciclo hidrológico como la precipitación y el escurrimiento queda demostrado con una gran cantidad de estudios hechos al respecto.

Dada esta situación del bosque con relación a la erosión, la promoción de la vegetación o el enfoque "biológico" tiene mucho que ofrecer con una estrategia para la planeación de la conservación del suelo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



La vegetación es el factor más importante, manipulable para un manejo cuidadoso más allá del crecimiento vegetal y su protección al suelo contra la erosión, siempre proporciona beneficios económicos directos en términos de producción.

Hawley y Dymon (1988), a partir de un estudio para calcular la efectividad de los árboles en la reducción de la incidencia de deslizamiento de capas delgadas en laderas, concluyeron que después de una gran tormenta que provocó que un 20.9 % del área de estudio resultará improductiva para el crecimiento de pastos cuando había árboles y 24.2 % sin la presencia de árboles, reduciendo estos últimos el área dañada en un 3% y aumentando su eficiencia mientras más cercanos estaban unos de otros.

La remoción de los bosques en muchas condiciones litológicas causan un incremento en los deslizamientos del suelo por lo que se requiere de estudios para determinar un espaciamiento racional para la conservación del suelo en laderas.

La disminución en el escurrimiento superficial como resultado de la reforestación tiende a ser más grande durante los años secos que durante los húmedos.

Pero, el primero y principal efecto protector del suelo en contra de la erosión, por parte de la vegetación, es la captación de las gotas de lluvia y la absorción de su energía cinética. Alguna de esta agua puede ser evaporada de la hojas pero la mayor parte alcanza el suelo ya sea fluyendo por los tallos o a través del dosel. La captación de las gotas de lluvia es la principal forma en que la vegetación reduce la erosión (Stocking, 1988).

Las hojas y ramas de la vegetación que no están en contacto con el suelo directamente tienen un efecto pequeño sobre la cantidad y velocidad del escurrimiento de lluvias prolongadas pero reducen la energía efectiva de la lluvia por la intercepción de las gotas. Las gotas de lluvia que caen desde el dosel pueden alcanzar un velocidad apreciable, pero usualmente es menor que la velocidad terminal de las gotas con caída libre, aunque esto depende de la altura y densidad del dosel (Wischmeier y Smith, 1978).

Los residuos vegetales depositados sobre la superficie del suelo son los más efectivos agentes protectores contra la erosión que los porcentajes equivalentes de cobertura aérea.

La capa de residuos intercepta las gotas muy cerca de la superficie del suelo por lo que no alcanza velocidad de caída, además de que también obstruye el flujo del escurrimiento superficial y por lo tanto reduce su velocidad y capacidad de transporte.



Si una cobertura incluye dosel y residuos superficiales, los dos no son completamente aditivos, la energía del impacto de las gotas en la cobertura es disipada independientemente de que el dosel reduce la velocidad de las gotas (Wischmeier y Smith, 1978).

2.4. Las pérdidas de suelo en el bosque y el aprovechamiento forestales.

Los bosques proporcionan bienes y servicios que incluyen madera, recreación, estética, fauna silvestre y protección a las cuencas, pero como esos recursos no pueden obtenerse simultáneamente se han presentado una controversia sobre como usar mejor los recursos forestales (Hornbeck *et al.*, 1989).

Para los que mejoran el bosque los aclareos totales es un atractivo método silvícola porque es económico y fácil de mecanizar, además de que favorece la formación de nuevos rodales con altas proporciones de especies comercialmente valiosas. Por otro lado se ha incrementado la conciencia de los posibles efectos adversos de este tipo de aclareo sobre los nutrimentos del suelo, la calidad del agua, la vida silvestre y la regeneración misma de lo rodales.

Para evaluar el efecto de las actividades de manejo sobre los ecosistemas forestales se deben incluir tanto los ecosistemas acuáticos como los terrestres y los materiales transferidos por el ciclo de nutrimentos y la erosión.

Las pérdidas de suelo en terrenos forestales normalmente son mínimas, se incrementan debido a la construcción de caminos y otras actividades que exponen excesivas cantidades de suelo o concentran las aguas superficiales. En la mayoría de las actividades de extracción la trocería es movida hacia puntos específicos a lo largo de los caminos por maquinaria pesada que causan muchos disturbios sobre la cobertura superficial del suelo.

Si se establece una comparación entre los terrenos forestales y otros bajo diferentes usos, desde el punto de vista de las pérdidas de suelo, los primeros son más eficientes en la reducción de la erosión.

En general, la erosión geológica se torna en erosión acelerada debido fundamentalmente al mal manejo de la cobertura vegetal y del suelo mismo. Este problema se presenta tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo, agudizándose más en estos últimos.



2.5. PERCEPCIÓN REMOTA

La exploración del planeta Tierra ha sido una de las principales inquietudes del hombre desde la época prehistórica. Su atención se ha visto atraída por una poderosa necesidad de saber qué se encuentra más allá de sus dominios. Al principio exploró el medio ambiente únicamente con sus sentidos, utilizando en primera instancia aquéllos que no requerían de un contacto físico con el objeto estudiado, para posteriormente continuar con un análisis directo por medio del contacto principalmente. En todo este proceder, el hombre ha empleado una serie de elementos que lo identifican no nada más como una criatura llena de interés por la investigación, sino también como un ser deseoso de dominar la naturaleza que lo rodea.

Así, su curiosidad y su afán de conocer el territorio donde habita lo condujo primero a encaramarse en la copa de un árbol y posteriormente a subir a una colina o a una montaña para tener de esta manera una visión de conjunto o lo que es lo mismo, una visión sinóptica del paisaje. Aun en esta reseña esquemática de las actividades primitivas de exploración del hombre pueden distinguirse los elementos básicos que hoy componen la moderna ciencia de la percepción remota: la fuente de iluminación, formada en este caso por el sol que emite luz o radiación solar; el paisaje, configurado por todos los objetos presentes en el territorio explorado por el hombre. tales como ríos, colinas,

vegetación o rocas; la escena, o sea aquella acción o superficie del paisaje donde enfoca su interés, pudiendo ser la superficie de una roca o un valle completo; el sensor remoto, con el que se captura la luz proveniente de la escena y que en este caso, permite obtener una representación visual de aquella región del paisaje que ha sido enfocada por el iris y el cristalino del ojo; la plataforma, que es lugar donde se coloca o monta el sensor remoto para obtener una visión de conjunto de la escena; el sistema de procesamiento, compuesto por el dispositivo para procesar cualitativamente o cuantitativamente los datos proporcionados por el sensor remoto acerca de la escena, los cuales, analizados e interpretados en este ejemplo por el cerebro del hombre, producen información valiosa en relación al paisaje, la que es útil en la toma eventual de decisiones sobre el medio ambiente, y el apoyo al campo, que consiste en la inspección directa, en varios puntos selectos de la escena, de diferentes atributos de los objetos que se encuentran en el terreno, con el fin de evaluar los datos obtenidos previamente a distancia.



Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación electrónica digital se ha dado un auge importante a la percepción remota, pues la disponibilidad de esas herramientas permite la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos. Así, en una simbiosis muy estrecha las ciencias de la computación han impulsado el desarrollo de la percepción remota, y ésta a su vez, a generando nuevos sistemas de procesamiento digital con propósitos específicos.

A su vez, el desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido incorporar nuevos métodos y dispositivos de captura de datos a distancia, lo que ha hecho que la percepción remota extienda su campo de acción a fenómenos muy diversos, ya no solo en el mundo macroscópico. Vemos ahora desde esta perspectiva cómo se identifican de nuevo sus elementos básicos.

La fuente de iluminación: hay sistemas en percepción remota que utilizan una fuente de iluminación externa, sobre la cual no se puede tener control. Estos sistemas, llamados sistemas pasivos, pueden utilizar el sol o bien una estrella lejana como fuente de iluminación.

Por otro lado hay sistemas en percepción remota que utilizan su propia fuente de iluminación, de la que por tanto, se tiene control. Este tipo de sistemas llamados **sistemas activos**, son los que han permitido extender el campo de estudio de la percepción remota a una diversidad de fenómenos donde la fuente de iluminación ya no emite luz visible para "iluminar" la escena. En este caso la fuente puede ser ultravioleta o infrarroja, rayos gamma o rayos X.

El paisaje: éste es el elemento de la percepción remota que más retos da al investigador. Esto es así porque, primero el paisaje constituye el sistema físico objeto de su estudio; segundo, porque

generalmente es una parte muy compleja donde intervienen muchos factores, algunos de ellos ajenos al propósito de la investigación, y tercero, porque sucede con frecuencia que el investigador no controla una parte o, en algunos casos, todos los aspectos que compone en el paisaje (Soria *et al.*, 1998).

La escena: es probable que ésta sea uno de los elementos básicos de la percepción remota más difíciles de entender, pues implica el manejo de conceptos lógicos, es decir de entidades no físicas.

El sensor remoto; el desarrollo tan importante que ha tenido la tecnología en esta área de la percepción remota ha permitido al hombre ampliar su capacidad visual. Nuevos y modernos detectores permiten ahora capturar luz invisible como la ultravioleta o la infrarroja, y detectar radiaciones como



los rayos X. Todos estos detectores han ampliado enormemente la capacidad de observación en percepción remota y pueden proporcionar actualmente imágenes de gran calidad.

El nombre de percepción remota aparece inicialmente durante las primeras misiones interplanetarias de sondas espaciales no tripuladas, abordo de las cuales se instalaron cámaras de televisión para la captura y envío a la tierra de imágenes correspondientes a regiones selectas de la superficie de otros planetas. De ahí que la percepción remota se halla definido en su desarrollo histórico como la obtención de información acerca de una superficie o escena, utilizando luz visible o invisible, por medio del análisis automatizado de datos obtenidos a distancia por un sensor remoto. Esto se ha hecho, en general, con el fin de evaluar el medio ambiente y en muchas ocasiones, con el objeto de apoyar las labores de prospección de los recursos terrestres, por lo que se ha convertido en

una herramienta valiosa para el bienestar de la humanidad. De hecho el avance tan grande que ha tenido la tecnología asociada a la percepción remota ha traído como consecuencia que el método propio de esta moderna ciencia sea aplicable a una gran variedad de escenas y paisajes, y que la evaluación ya no restrinja solamente al medio ambiente, sino que se pueda realizar en una gran diversidad de sistemas físicos.

Componentes de un sistema de percepción remota.

Para que la percepción remota sea posible, es necesario que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción. Los tres elementos de un sistema de percepción remota son: el sensor (el ojo), el objeto observado y el flujo energético, el cual permite poner a ambos en relación. En el caso del ojo, ese flujo precede del objeto por reflexión de la luz solar. En algunos casos podría también tratarse de un tipo de energía emitida por el propio objeto, o incluso por el sensor remoto son: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión.

La reflexión es la forma más común y sencilla, ya que se deriva directamente de la luz solar, principal fuente de energía del planeta. El sol ilumina la superficie terrestre, esta energía es reflejada en función del tipo de cubierta presente sobre ella. El flujo reflejado es recogido por el sensor, y es transmitido posteriormente a las estaciones receptoras. Entre la superficie terrestre y el sensor del satélite se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original.

El flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. La energía térmica se transfiere de un lugar a otro por tres procesos: convección, conducción y radiación, de ellos el último constituye la base de los sistemas de percepción remota (Soria *et al*, 1998).



El esquema operativo de un satélite de observación.

FUNDAMENTO DE LA PERCEPCION REMOTA

La percepción remota, es una metodología que permite la captación de información de cuerpos lejanos, mediante el uso de sensores, los cuales sin estar en contacto físico con dichos cuerpos, pueden generar información de las condiciones prevalecientes que estos presentan. Lo anterior es factible, debido a la detección de energía electromagnética que reflejan los diferentes cuerpos, por medio de la velocidad de la luz que hace que determine las longitudes de ondas electromagnéticas para cada uno de estos recursos. La aplicación de estos sensores a los recursos naturales es muy amplia, entre los cuales se encuentran los estudios de erosión (Uvalle, 1983).

Desde un inicio los sensores remotos han sido considerados como una importante herramienta para cartografías de suelos, iniciando su uso con el levantamiento de suelos realizados en el condado de Jenning, Indiana en 1929 (Tracey *et al*, 1989).



La utilidad de las fotografías aéreas en estudios de erosión han sido consideradas como herramientas básicas y necesarias para el manejo y planeación del recurso suelo. Aunque según Trustrum (1982), la identificación de los diferentes tipos de erosión, depende ampliamente de la capacidad del foto interprete para analizar las foto-características de forma, tamaño, textura, tono (color), sombras y patrón del sitio. Esta estabilidad depende también, la familiaridad en el área de estudio.

Dada la gran cantidad de información contenida en la fotografías aéreas Fenton (1982), menciona que el método más común de sensores remotos que ha sido usado extensivamente para incrementar la rapidez y precisión en la cartografía de suelos, son precisamente las fotografías aéreas y que los mapas de suelos originados con ellas, muestran la distribución geográfica de diferentes suelos, el gradiente del área y la condición que guarda la cubierta vegetal en relación la erosión.

Una definición de percepción remota es: " La utilización de sensores para la adquisición de informaciones sobre objetos o fenómenos sin que haya contacto directo entre el sensor y los objetos" (Soria *et al*, 1998).

Sensores: son equipos capaces de coleccionar energía proveniente del objeto, convirtiéndola en una señal posible de ser registrada y presentándola en forma adecuada para la extracción de información.

Energía: la mayoría de las veces se refiere a la energía electromagnética o radiación electromagnética.

Un concepto más específico es: "Es el conjunto de las actividades relacionadas con la adquisición y el análisis de datos de sensores remotos", donde:

Sensores Remotos: son sistemas fotográficos u óptico-electrónicos capaces de detectar y registrar, en forma de imágenes o no, el flujo de energía radiante reflejado o emitido por objetos distantes.

Un flujo de radiación electromagnética al propagarse por el espacio puede interactuar con superficies u objetos, siendo reflejado, absorbido o emitido por dichas superficies u objetos. Las variaciones que estas interacciones producen en el flujo considerado, dependen fuertemente de las propiedades físico-químicas de los elementos en la superficie.

Todo en la naturaleza está en constante vibración, emitiendo o modificando ondas electromagnéticas (energía) y presentando "perturbaciones" de los campos magnéticos y gravimétricos de la Tierra. Todos los instrumentos que captan y transforman esa energía pueden ser clasificados como sensores: radio, televisión, máquina fotográfica, por sólo citar algunos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Durante la fase de adquisición de datos por los sensores, se pueden distinguir los siguientes elementos básicos: energía radiante, fuente de radiación, objeto trayectoria y sensor (sistema de imagen óptica y detector). La figura siguiente presenta estos elementos y ejemplifica los diferentes caminos que la radiación electromagnética puede tomar antes de ser captada por el sistema sensor.

Una cámara fotográfica con flash puede servir como ejemplo de un sistema sensor: "cuando el sistema de la cámara es activado, el flash es accionado y emite radiación. La radiación fluye para la

iluminación y es reflejada para el sistema óptico de la cámara. Entonces la radiación reflejada es registrada sobre el plano de la película, que constituye un detector fotoquímico de ésta".(Ref.1*).

Satélites

Los sensores remotos a bordo de satélites, con su visión sinóptica repetitiva, han complementado los datos obtenidos por técnicas tradicionales ayudando a superar diversos inconvenientes espacio-temporales que se presentaban. Muchos de los avances en la técnica y aplicación de esta tecnología, han sido logrados usando sensores experimentales y no como parte de un sistema operacional, por lo que se puede decir que todavía se trabaja en una etapa de investigación. El éxito de la información obtenida por satélites es sólo, en la mayoría de los casos, cualitativo. Algunos pocos experimentos han podido entregar información cuantificada más o menos exacta. Las características de la órbita de los satélites y de los sensores a bordo, han sido diseñadas para que un determinado estudio obtenga información cíclica del globo terráqueo completo, cada cierto tiempo. La importante contribución en programas mundiales, que están realizando los datos provenientes de sensores remotos a bordo de satélites, es cada vez más evidente. Para un estudio global del planeta es imprescindible una alta frecuencia de observaciones, característica que es satisfecha por satélites que obtienen datos, incluso varias veces por día. Estos satélites, si bien fueron originalmente diseñados para observaciones meteorológicas globales, han producido información que se está utilizando en una gama inmensa de aplicaciones a escala local, jamás soñadas por sus diseñadores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Sensores Activos

Los sensores activos, se basan en que proveen su propia fuente de energía que emiten hacia los cuerpos y reciben la señal de retorno. Entre los sensores activos más comunes están los que, pueden trabajar bajo cualquier condición atmosférica, tanto de día como de noche. Estos sensores trabajan principalmente en la región de las microondas.

Sensores pasivos

Los sensores pasivos de teledetección reciben la señal de una fuente de luz o energía externa reflejada por la superficie de los cuerpos. Estos sensores están incluidos sobre la mayoría de los satélites que manejan las bandas del espectro visible. (Ref. 2*)

El Espectro Electro-magnético.

Se define totalmente cualquier tipo de energía dando su longitud de onda (o frecuencia). El espectro electromagnético es la sucesión continua de esos valores de frecuencia, aunque conceptualmente se divide en bandas, en las que la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia se denomina. Comprende desde longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta las kilométricas (tele-comunicaciones). Las unidades de medida más comunes se relacionan con la longitud de onda. Para las más cortas se utilizan micrómetros, mientras que las más largas se miden en

centímetros o metros. Normalmente a estas últimas (denominadas micro-ondas) se las designa también por valores de frecuencia (en Gigahertzios = 10^9 Hz).

Desde el punto de vista de la teledetección, conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas con la tecnología actual. Su denominación y amplitud varían según distintos autores, si bien la terminología más común es la siguiente:

El (0.4 a 0.7 mm). Es la única radiación electromagnética perceptible por el ojo humano (de ahí su nombre). Coincide con la longitud de onda donde es máxima la radiación solar. Podemos localizar los distintos colores en las longitudes:

Azul: 0.4 - 0.5 mm Verde: 0.5 - 0.6 mm Rojo: 0.6 - 0.7 mm

Suelen distinguirse tres bandas o elementales, que se denominan:

Azul: 0.446 - 0.500 mm

Verde: 0.500 - 0.60 mm

Rojo: 0.600 - 0.70 mm

Los colores elementales están asociados a estas longitudes de onda.

Infrarrojo próximo (0.7 a 1.3 mm). A veces se les denomina también infrarrojo reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de filmes dotados de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

Infrarrojo cercano (1.3 a 8 mm), en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. Resulta Idóneo para estimar contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.

Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 mm), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres. Micro-ondas (a partir de 1 mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa. Se trata de las mayores longitudes de onda utilizadas en teledetección. La observación de esta banda es compleja, y todavía no muy común. Pero el interés está creciendo debido a que en estas frecuencias la atmósfera es transparente y no existe el problema de que las cubiertas nubosas oculten la superficie



terrestre. Como la emitancia de los objetos es muy baja en esta banda, es muy difícil detectar flujo. Los aparatos que lo hacen se llaman radiómetros de microondas. Por lo tanto, se construyen sensores para esta banda que emiten su propio haz de microondas, del que posteriormente recogerán su reflexión (teledetección activa).

En este tipo de sistemas, tiene mucha importancia la rugosidad de la superficie para cómo sea la señal de retorno. Por ejemplo los suelos rugosos y secos tendrán un mayor coeficiente de retro-difusión, y por tanto, aparecerán en tonos más claros en las imágenes radar.

La interpretación de imágenes

Definiendo el término imagen como una abstracción del terreno en la que los aspectos fisiográficos (topografía, vegetación, drenaje, etc.) aparecen diferenciados por tono, color, textura y patrón. Siendo esta el producto de un sensor que recoge el haz de rayos de luz, proveniente de los objetos y lo guía hacia el plano imagen, donde teóricamente se forma la imagen.

El proceso de interpretación de imágenes se puede explicar como la acción de identificar objetos y recopilar información acerca del mundo físico que nos rodea mediante el análisis de imágenes fotográficas o de satélite. La interpretación de imágenes es considerada como un proceso sistemático, cuyos cambios y avances a través del tiempo son originados por el desarrollo de las nuevas técnicas de percepción remota, así como del surgimiento de la computación, aunada a las exigencias cada vez mayores de las diversas disciplinas que se ocupan del estudio de los recursos naturales.

Imágenes de satélite en estudios de erosión.

A finales de la década de los 60's la agencia espacial norteamericana diseñó un proyecto dedicado exclusivamente a la observación de los recursos terrestres. Fruto de estos trabajos fue la puesta en órbita del primer satélite ERTS (Earth Resource Technology), el 23 de julio de 1972. Esta serie de satélites fue denominada LANDSAT, a partir del segundo lanzamiento, en 1975, se han lanzado un total de cinco al espacio. Los tres primeros incorporan un equipo de barrido multispectral denominado MSS (MultiSpectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras de vidicon (RBV, Return Beam Vidicon) los dos últimos eliminan las cámaras y las sustituyen por un nuevo explorador de barrido denominado TM (Thematic Mapper), que proporciona mayor resolución espacial y espectral que el MSS (Chuvicco, 1990)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Imágenes LANDSAT MSS.

Con el lanzamiento del satélite artificial LANDSAT 1 en 1972, se inicia una nueva era en la forma de captar información sobre los recursos terrestres, ya que ésta tecnología permite obtener información más detallada acerca de las propiedades y condiciones del suelo. Sin embargo el principal problema fue, la amplitud de la resolución espacial (79 m/píxel) para los datos del barredor multispectral MSS. (Tracey et al, 1989); por lo que solamente pocos investigadores (Wischmeier et al, 1977; Weismeyer y Kaminsky, 1978), realizaron estudios detallados de levantamientos de suelos usando LANDSAT MSS mientras que, los estudios y evaluación de los recursos naturales usando imágenes de satélites han sido más frecuentes, incluyendo a los estudios sobre erosión de suelos (López, 1994).

El uso más común de datos LANDSAT MSS, en mapas de suelos, ha sido para interpretar asociaciones de suelos, encontrando una precisión al diferenciar suelos a nivel de familia de 42% (Thompson *et al.* 1981; citado por su Haiping, 1989), y 58% a nivel suborden. Donde uno de los principales problemas en el uso de datos de MSS para cartografiar suelos, es que el valor digital de un píxel de LANDSAT es una mezcla de propiedades espectrales de vegetación y de suelos (Kyoosook and Tyler, 1988).

Se han usado también en trabajos empleando la corrección geométrica de las imágenes digitales (LANDSAT TM) utilizadas en la realización del Inventario Nacional Forestal de México, recientemente efectuado por el Instituto de Geografía de la UNAM. (Coriés et al, 1996).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Establecer una clasificación de tipos de erosión, empleando la Ecuación de la Pérdida de Suelo (EUPS). Aplicando además el sistema de procesamiento de imágenes de satélites Landsat ETM+

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Determinar el grado de erosión presente en cada una de las zonas de muestreo.
2. Determinar la clase de erosión para cada una de las microcuencas muestreadas.
3. Determinar si el proceso de clasificación es adecuado para la detección de tipos de erosión
4. Determinar la reflectancia espectral del sistema forestal a través de imágenes de satélite Landsat ETM+, y estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica.

4. HIPÓTESIS:

1. La erosión está en función de los factores físicos y biológicos entre los que se contemplan el uso, conservación y manejo del suelo, viéndose afectado los usos humanos.
2. Mediante la interpretación automática del sistema de procesamiento de imágenes de satélite se detectan y evalúan tipos de erosión en forma precisa.
3. Si los valores obtenidos de la EUPS, se asocian con las firmas espectrales se podrá extrapolar las diferentes clases de erosión en una mayor superficie.
4. A partir de una imagen digitalizada es posible realizar interpretación y mapas de tipos de erosión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



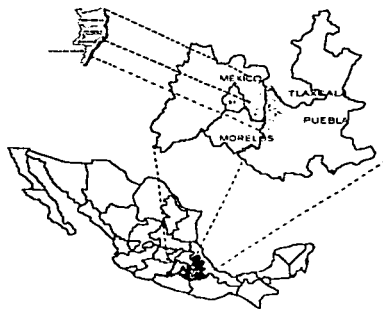
5. ZONA DE ESTUDIO

Ubicación.

EL Parque Nacional Izta-popo se encuentra ubicado en la Sierra Nevada correspondiente al eje neovolcánico mexicano, esta región abarca parte de los estados de México, Puebla y Morelos; estados en donde se encuentran parte de las faldas de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, desde una cota de 2500 msnm el cual es un promedio de altitud a la que inician los valles altos de México y Puebla. Dentro de los tres estados se ubican 18 municipios; en Puebla, Tlahuapan, San Felipe Teotlaltzingo, Chiautzingo, San Salvador el Verde, San Andrés Calpan, Huejotzingo, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos, San Juan Tianguismanaleco y Tochimilco; en el Estado de México, Amecameca, Chalco, Atlautla, Ecatzingo, Ixtapaluca y Tlalmanalco y en Morelos Tétela del Volcán.

El área perteneciente al parque Nacional Izta-popo inicia a partir de la cota de los 3600 msnm la cual se contempla dentro del estudio.

Esta situado en el cuadrante 14u (Latitud $N19^{\circ}10.7'$; Longitud $98^{\circ}38.5'$)



Ubicación de la región volcánica Izta-Popo



5.1 CARACTERIZACIÓN

Clima.

Según Martínez (1994) en el parque se presentan diferentes climas: Templado; el más húmedo con periodo de lluvias en verano, temperatura media anual de 5 a 12 °C, el porcentaje de lluvias es menor que el 5% anual, con verano fresco y temperatura del mes más caliente entre 9.5 y 22 °C. Isoyeta de 1200 milímetros. $C(w^{**2})(w)cig$.

Frío: se presenta en la parte alta de los volcanes por arriba de los 4000 msnm, con temperaturas de -8 a -5 °C, temperatura del mes más frío menor de 0° C y del más caliente entre 0 y 6 °C.

Muy frío (ETH): se presentan lluvias en verano, con una temperatura media anual de -2°C, la temperatura del mes más caliente menor de 0°C.

Existen factores que determinan el clima en la región, entre los cuales se encuentran la: Latitud, esta zona se localiza en la región intertropical del hemisferio norte, en donde influyen los vientos Alisios del noreste durante el verano y los vientos del oeste durante el invierno, así como la presencia de masas de aire polar durante el mismo periodo. Esta ubicación geográfica tiene influencia sobre el calentamiento e iluminación y por lo tanto en las características térmicas de la región.

El Relieve es otra de las características que modifican al clima, encontrándose un gradiente que va de los 2200 a los 5452 msnm. La región es un parte aguas y por lo tanto tiene una gran influencia en la modificación del viento, que a su vez afecta los procesos físicos del aire como son las fuertes corrientes, sus desviaciones, su encañonamiento, así como los efectos de ascenso orográfico en el que el aire, al encontrar una barrera montañosa asciende y se enfría adiabáticamente, liberando su humedad en las laderas montañosas, fenómeno que ocasiona abundantes precipitaciones en la región.

Geología y Geomorfología.

Los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl son los principales macizos montañosos de la Sierra Nevada del Sistema Volcánico Transversal Mexicano, modificados por emisiones de lava que surgieron a través de calizas plegadas compuestas básicamente de andesitas y basaltos. Las erupciones que formaron esta región, iniciaron en el mioceno, continuaron en el pleistoceno y hasta nuestros días aunque en menor proporción e intensidad, pero que ha influenciado en la formación del relieve (Dominguez y Olivares, 1997).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El volcán Iztaccihuatl está situado al extremo norte de la sierra, siendo la tercera montaña más alta de México, originada por varias etapas de erupción y alargado de norte a sur presentando 3 cimas principales: cabeza (5140 msnm), Pecho (5280 msnm) y pies (5000 msnm); en sus laderas se llevan a cabo intensos procesos de erosión (Dominguez y Olivares, 1997).

El material no consolidado, ha permitido intensos procesos erosivos, que se han visto también influenciados por los procesos glaciares, la pendiente del terreno, el clima de la región y la presencia o no de vegetación. Los glaciares, con sus límites inferiores a los 4900 msnm, son el tipo de los volcanes de climas tropicales, que presentan periodos de avances y retrocesos de acuerdo a la estacionalidad, conformando el relieve y contribuyendo a la infiltración.

Suelo

Se ha encontrado que los suelos de los bosques templados fríos son muy variables, debido posiblemente al muy variado origen de la roca madre (ígnea, sedimentaria o metamórfica) sumado a la amplia variación pluviométrica anual en la que se encuentran. Son a menudo muy superficiales, ácidos y con alto porcentaje de materia orgánica, como los andisoles vítricos de origen volcánico predominantes en la meseta neovolcánica del centro de México. Son suelos de regular a muy baja fertilidad, ante todo por la fuerte fijación a que esta sujeto el fósforo en ellos, por delgados y ácidos y de mucha facilidad de erosión, por lo cual son de franca vocación forestal.

El material parental de los suelos de la sierra nevada es cenizas volcánicas y piedra pómez (tetras), lo que ejerce un efecto sobre el desarrollo de los suelos andisoles que ocupan una gran superficie en la región. La formación depende de la edad del material parental, de las propiedades de los tetras y del clima. En las tobas andesíticas del Popocatepetl y del Iztaccihuatl se encuentra una gran cantidad de hipersteno y augita. (Werner, 1978, citado por Dominguez y Olivares, 1997).

En la región se han realizado varios estudios de suelo, en los cuales se han detectado las siguientes características: en la parte del Estado de México, desde Tlamacas hasta San Pedro Nexapa, se encontró que en el páramo de altura, el suelo es de cenizas volcánicas y pómez, color negro, textura arenosa, friable y fácilmente arrastrable. En el bosque de pino, el suelo es de color negro, textura arena migajosa y migajón arenoso, en el bosque de *Abies*, el color del suelo va de gris a café; textura migajón arenoso y arena migajosa.

En la parte del estado de Puebla, de Paso de Cortes hasta San Nicolás de los Ranchos; los suelos presentan un proceso de andosolización y son jóvenes con acumulación reciente de cenizas volcánicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



En la parte del estado de Morelos, los suelos son derivados de cenizas volcánicas, existen presencia de alófano, aloisita, caolinita, gibsita y cristo- balita. En el declive occidental del Iztaccihuatl, desde el cerro Tlacachelo hasta el poblado de San Rafael, se encuentran suelos derivados de cenizas volcánicas y rocas andesíticas, presentan horizontes orgánicos superficiales y minerales; textura franca, franca limosa y franca limosa. Contenido de materia orgánica alto y muy alto disminuyendo con la profundidad.

También existen otras unidades de suelo los cuales se dividen en **Regosoles** que se identifica como el material suelo que cubre al material parental, tanto éutricos (suelo de fertilidad moderada a alta) como distrícos (suelos ácidos e infértiles), asociado con suelo de litosol en la parte alta del volcán, en la parte media con andisoles, litosoles y cambisoles en algunas de sus modalidades. También predominan los **Cambisoles** los cuales son suelos jóvenes y poco desarrollados principalmente éutricos (suelos de rendimiento moderado a alto) y se distribuyen en la parte media. los **Litosoles** los cuales son los suelos limitados en profundidad por rocas, este último se distribuye en la parte alta del Iztaccihuatl y en la parte media (faldas) asociado con regosol, hacia el pedregal de Río frío se asocia con andisol y regosol. (Quiroz, 1994).

Hidrología.

Los recursos que proporcionan los volcanes, provienen de los deshielos y de las precipitaciones pluviales, encontrando corrientes superficiales tanto perennes como intermitentes, predominando estas últimas, aunque existen algunas corrientes perennes de importancia.

Se han definido zonas altitudinales relacionadas con la distribución de los recursos hídricos y se ha descrito las cuencas y subcuencas que forman los escurrimientos de los volcanes.

- I. Zona de Glaciación: Desde la cima de los volcanes hasta los 4,500 msnm abarca las áreas cubierta por nieve perennes y glaciares, la precipitación cae en forma de nieve o granizo, acumulándose para formar los glaciares y que mediante el proceso de fusión alimentan una serie de pequeñas cuencas en ambas vertientes. La cota de los 4,500 metros es el límite inferior de esta zona porque a esta altitud, el volumen de nieve o hielo, que depende de la precipitación, la temperatura y la humedad, es más abundante.
- II. Zona de Intemperismo y erosión glacio-pluvial: Abarca de los 4,500 a los 4,000 msnm, donde las aguas pluviales escurren inmediatamente, previa saturación de los

- suelos, los escurrimientos son incipientes y aparecen algunos manantiales. Los escurrimientos perennes son alimentados por el deshielo y los escurrimientos temporales por las lluvias. Las cuencas toman importancia en estas zonas.
- III. Zona de erosión pluvial: entre los 4,000 y los 3,500 msnm, el caudal de las corrientes superficiales vienen de la ablación y de la lluvia, en la vertiente occidental del Itzacchuatl son comunes los saltos de agua. Durante la temporada de lluvias son abundantes los manantiales.
- IV. Zona de erosión intensa: De los 3,450 a los 2,500 msnm. El descenso de las aguas ejercen una intensa erosión por el aumento del volumen de agua en los arroyos de las fuertes pendientes. Estos escurrimientos provienen de la ablación superior y de las lluvias; que forman torrente violentos y profundos, manantiales y escurrimientos superficiales.
- V. Zona de depósitos proluviales: Zona de contacto con los valles, entre los 2,500 y los 2,300 msnm. Es un área de acumulación de arrastres en depósitos, estos se extienden a lo largo del frente occidental de la Sierra Nevada, con amplitudes de 4 Km. en promedio, aunque alcanzan hasta 10 Km. En algunas partes, las mayores se observan al sur del arroyo de la Cañada de Nexpayantla y cubre desde los 3,000 hasta los 2,400 a 2,500 msnm en la planicie de Amecameca, en esta zona se inician los aprovechamiento del agua para regadío, generación de energía, uso doméstico, etc.

Vegetación.

El Ixta-Popo se ubica en la zona templada subhúmeda del país, la vegetación típica de estos ecosistemas son los bosques de coníferas y encinos, de altura muy variable, entre 4 y 30 m, según las condiciones ambientales principalmente de acuerdo a la precipitación; llegan a alturas mayores cuando se trata pinares puros; la densidad varía, de bosques densos a abiertos, así como la persistencia foliar: enmarnes caducifolios y perennifolios, entre los más comunes. Burkart, Marchetti y Morello (1995).

Estas regiones montañosas son importantes por las materias primas que en un momento dado pueden proveer, por el papel ecológico que cumplen en relación con el ciclo hidrológico, la conservación de los suelos y por la riqueza biológica que contiene. Toledo (1993) menciona que dada la gran heterogeneidad ambiental que existe en la zona templada subhúmeda a la cual pertenece la zona Ixta-Popo, se encuentra un gran número de bosques diferentes, distribuidos en complejos mosaicos que alternan a manera recurrente en relativamente poca superficie; a esta gran complejidad ambiental le

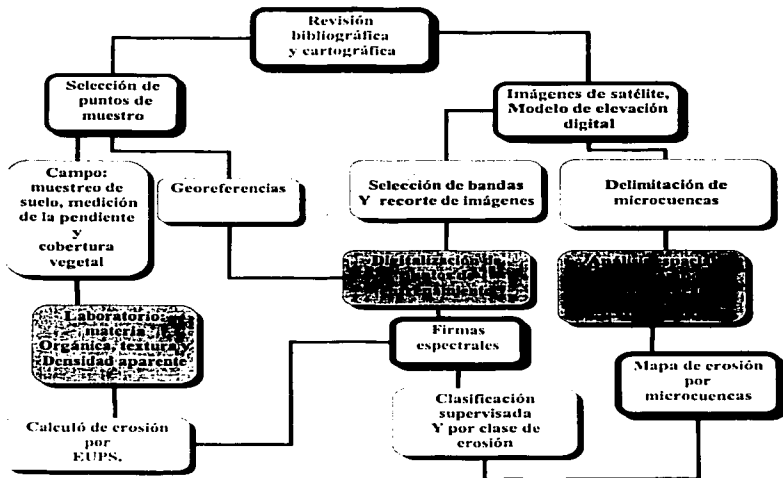


corresponde una gran variedad de especies tanto de pinos como de encinos, siendo esta zona su más importante centro de diversificación en el ámbito mundial.

A pesar de que el área de los volcanes es sólo una porción de una región biogeográfica, en ella se presenta un mosaico diverso de tipos de vegetación que en la actualidad ha sido perturbada en menor o mayor grado y sus límites de distribución varían ligeramente de la ladera este a la oeste. De acuerdo a revisión bibliográfica y de observación en las zonas se describen los diferentes tipos de vegetación de estas:

- I. Bosque de Pino: Es la comunidad vegetal más distribuida en la zona, en altitudes de 2,500 a 4,000 msnm, sobre suelos profundos o someros y a menudo rocosos. Crecen varias especies de pinos, se presenta básicamente 2 estratos; uno superior arbóreo y otro inferior con pastos amacollados, escasos arbustos y hierbas. En general encontramos bosques perennifolios del género *Pinus*, en la franja más alta predominan el *Pinus hartwegii*, seguido de *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrabus* y *Pinus rudis*; acompañado a veces por *Pinus leiophylla*. *Pinus teocote* se presentan conviviendo con *Alnus*, en suelos andisoles o litosol, (SEMARNAT-ANP, 1997).
- II. Bosque de *Abies* (Oyamel): Normalmente ocurre en los suelos andisoles ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados y con humedad todo el año. Su distribución se limita al rango de 2,700 a 3,500 msnm, en la ladera occidental y entre los 2,800 y 3,400 msnm, en la ladera oriental y en ocasiones se le localiza en algunas cañadas y depresiones altitudinales mayores. Encontramos el bosque de *Abies religiosa*, acompañado por *Pinus ayacahuite*, *Alnus forulensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Capulin* y *Cupressus lindleyi*.
- III. Bosques mixtos: El bosque de Pino-Encino se localiza principalmente entre los 2,350 y 2,600 msnm con árboles bajos, poco densos, sobre suelos andisoles y los cuales se encuentran muy perturbados por las actividades forestales, agrícolas y ganaderas, también se pueden apreciar combinaciones de bosques mixtos como los de *Pinus- Aile* y/o *Aile-Pinus*, entre los 3,350 y los 3,500.
- IV. Pastizales: Los pastizales alpinos se establecen entre los 4,000 y los 4,500 msnm; con vegetación semejante a los paramos de altura, donde las arenas volcánicas, materiales sueltos y piroclásticos son importante del suelo (Regosol). Los pastizales subalpinos o zacatales, se caracterizan por la presencia de gramíneas amacolladas, ubicados de 2,700 a 4,300 msnm; (García, 1999)..

6. MATERIAL Y METODO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Delimitación de la zona de estudio.

Para evaluar la pérdida de suelo, se usó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo propuesta por Wischmeier *et al* (1958), introduciendo valores respecto al factor C para zonas forestales empleando la clasificación FAO/UNESCO para la degradación de los suelos (FAO, 1980).

Para delimitar la zona de estudio se usaron las cartas topográficas de INEGI de Amecameca de Juárez (E14B41) y Huejotzingo (E14B42) escala 1:50,000. Con base en el análisis de las características topográficas, edáficas y vegetación de la zona de estudio se seleccionaron 40 sitios de muestreo obteniendo el mismo número de muestras de suelo superficial 0-20 cm.

Empleando el sistema de información geográfica Idrisi 32, y el programa Arc view, se digitalizaron las puntos de muestro así como los límites entre las microcuencas, vegetación correspondientes a la zona de estudio. El siguiente paso fue la identificación de estos puntos, para posteriormente sobreponerlos en los mapas digitalizados o imagen de satélite.

6.1. Trabajo de campo.

Previo a la realización del trabajo de campo y con el fin de caracterizar física y químicamente al suelo y determinar el factor de erodabilidad (K) de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, se tomaron con base a las áreas ubicadas, 40 muestras de suelo provenientes de los diferentes puntos. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20 cm. guardándolas en bolsas de plástico para su traslado.

Se obtuvo la medida del gradiente de la pendiente, expresada en porcentaje, así como la longitud del mismo, expresada en metros, tomada desde el punto en donde se origina el escurrimiento hasta el punto en donde la pendiente disminuye, de tal modo que comienza la sedimentación del suelo.

Se calculó la estabilidad de agregados de acuerdo al método propuesto por Siebe (1996) para campo.

Posteriormente se tomo nota del porcentaje de cobertura vegetal, valores que permitieron determinar el factor C que corresponde al uso del suelo, en este caso a la cobertura forestal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



6.2. Análisis de Laboratorio.

Después de tomadas las muestras de suelo se llevan al laboratorio con el objeto de determinar los parámetros físicos y químicos (textura, densidad aparente y materia orgánica) a cada una de ellas empleando los métodos adecuados.

Cada una de las muestras se secó por separado a temperatura ambiente, con el fin de eliminar la humedad sin alterar sus propiedades originales, se tamizaron con una malla de abertura de 2 mm de diámetro.

A continuación se mencionan los parámetros y métodos empleados en las muestras colectadas en cada una de las zonas.

PARAMETRO FISICOS	METODO
Densidad Aparente	De la probeta (Chapman, 1976)
Textura	Bouyoucos (Gavande, 1979)
Estabilidad de Agregados	Siebe, 1996
PARAMETROS QUIMICOS	
Materia Orgánica	Walkle y-Black (Jackson, 1982)

6.3. Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.

Se recopiló la información necesaria para la cuantificación de la erosión de acuerdo a los factores de la EUPS:

A cada una de las 40 zonas de estudio se les asignaron los valores de cada factor de la EUPS, mismos que se multiplicar para obtener el valor de pérdida de suelo (ton/ha/año). Tomando como base la cantidad de suelo perdido, se clasificaron las zonas en cuatro grados distintos de erosión (FAO-UNESCO, 1980).

**Factor R.**

Se empleó información pluviográfica de los últimos 10 años de la estación Amecameca, la cual se ubica en las coordenadas: Latitud; 19° 08' Longitud; 98° 46', a una altitud de 2479 msnm. Tomando en cuenta la precipitación anual y el uso del índice de Fournier modificado por Arnoulds (1978). Anexo 1

Factor LS.

La longitud y gradiente de la pendiente se determinaron en campo midiendo la distancia desde el punto donde se originaba el escurrimiento hasta el punto en donde disminuía la pendiente de tal modo que empezaba la sedimentación del suelo, y la inclinación de dicha pendiente expresadas en metros y porcentaje respectivamente, estos valores se integraron para obtener así, el valor del factor LS (Kirkby y Morgan, 1984).

Factor C.

La metodología empleada para determinar el Factor C en áreas forestales de la zona suroeste de la Sierra Nevada del Itzacihuatl, fue asignarle un valor que puede ser de 0 a 100% de acuerdo al porcentaje de cobertura vegetal de la superficie que ocupe de uso forestal, de matorral, pastizal y/o herbácea. porcentajes que con ayuda de las tablas configuradas por Wischmeier y Smith (1965) en las que representan los valores de C para vegetación permanente, permitieron asignarle un valor a cada una de las zonas de estudio. anexo 2

Factor P.

Este factor no se cuantifica porque no existe hasta el momento programas de conservación del suelo. En contadas ocasiones se llevan acabo reforestaciones de manera aislada e independiente por parte de la dependencia a cargo del Parque, por tal motivo se le asignó el valor de 1 a toda la zona.



Factor K.

Este factor se determinó mediante el nomograma propuesto por Siebe (1996), empleando los datos de materia orgánica, textura, densidad aparente, obtenidos en el laboratorio. Anexo 3

6.4. Clasificación de imágenes

La clasificación supervisada de imágenes, la cual consiste en el análisis por medio de los píxeles asignados a clases espectrales, de las que se tiene conocimiento explícito (INEGI, 1992), con la clasificación no se trata de establecer un modelo entre medidas digitales y parámetros físicos, solo entre medidas digitales en un momento dado y tipos de cubierta. En este sentido la clasificación supone un enfoque más cualitativo.

La clasificación supervisada requiere de campos de entrenamientos. Un campo de entrenamientos es una pequeña muestra identificada en campo, la cual es generada para usar la estadística necesaria para implementar eficientemente las reglas de decisión; por lo que, los valores de las muestras seleccionadas dependen en gran medida de la calidad de la muestra y está a su vez, de la calidad del trabajo en campo.

Selección de campos de entrenamiento.

Consistió en seleccionar una muestra de píxeles de la imagen que represente, adecuadamente a las categorías de interés. Al igual que en cualquier otro muestreo, el objetivo de esta fase es obtener los resultados más precisos.

En otras palabras, identificar debidamente las distintas categorías reduciendo a lo imprescindible los trabajos de campo. Al igual que otras aplicaciones del muestreo, las estimaciones posteriores se basan sobre la muestra seleccionada, por lo que una incorrecta selección conducirá, inevitablemente a resultados pobres en la clasificación. Varios autores han comprobado que los resultados de la clasificación, están mucho más influidos por la definición previa de las categorías, que por el criterio con el que estas áreas son posteriormente discriminadas Story y Campbell, 1986: citados por (Chuvieco, 1990). En definitiva la fase de entrenamiento constituye la columna vertebral de la clasificación numérica.



Clasificación no Supervisada.

La clasificación no supervisada de imágenes, es el método por medio del cual, los píxeles son agrupados en cúmulos (grupos de píxeles con valores de reflectancia similar), con base a la separación espectral, por tanto no se tiene conocimiento explícito de lo representado por los cúmulos formados. Se realizó una clasificación no supervisada, sobre las bandas 2,4, y 7 con la finalidad de determinar sobre que banda es posible separar el mayor número de cúmulos, que indica de manera aproximada el número de clases que es posible identificar en una clasificación supervisada, y además observar si la diferencia espectral entre cúmulos no da margen a una posible confusión.

Selección de bandas

Para seleccionar las bandas a utilizarse en la clasificación de la imagen se tomaron como base los criterios siguientes.

- a) La banda en la que existe mayor separación espectral entre cúmulos.
- b) La banda en la que se diferencian el mayor número de cúmulos.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Erosión puntual.

La descripción y análisis de los resultados se presentan en dos etapas, en la primera de ellas, son los resultados del trabajo de campo y laboratorio, (apéndice 1) la cual finaliza con la obtención de la estimación de la pérdida de suelo mediante la EUPS y las clases de erosión de acuerdo a los valores propuestos por la FAO (1980). Anexo 4.

En la segunda etapa se presentan los resultados de la interpretación de las imágenes Landsat ETM+, realizadas con el Software idrisi 32 y Arc view.

Los resultados sobre la evaluación de la Erosión Hídrica en las microcuencas de la parte suroeste del Iztaccihuatl, son presentados de acuerdo a las regiones en las cuales se muestreo, y se distribuyen en los municipios del Estado de México como son Amecameca, San Pedro Nexapa y Río frío, en Morelos Tétela del Volcán. Zonas que incluyen áreas: a) Forestales.- ubicadas en las partes bajas y medias; y b) Pastizales.- ubicadas en las partes altas, todas dentro del Parque Nacional.

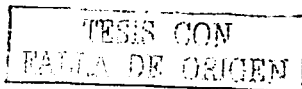
En este estudio, los resultados de la primera etapa son presentados de acuerdo a cada factor de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo y de acuerdo a los puntos de muestreo.

Factores de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.

Factor R: Erosividad

En la región se presenta una precipitación anual de 854.53 mm con un valor de R de 149.82, que de acuerdo con la escala propuesta por la FAO/UNESCO (1980), los valores obtenidos para este factor R, son de efecto moderado.

El clasificar estos valores como moderados, significa que la energía cinética de la precipitación no es suficiente para provocar graves problemas de erosión en las zonas forestales, debido también a la cubierta vegetal que amortigua la caída de las gotas de lluvia, evitando así la erosión del suelo. Como se puede apreciar en siguiente cuadro.



Valor del Factor R obtenido con los datos de Precipitación de Amecameca, para todos los puntos de muestreo.

$$R = 149.8258 \text{ mm/año}$$

Siendo este un factor constante para cada uno de los sitios. El factor se obtuvo de acuerdo a la ecuación de Fournier $F = P^2 / p$

Factor K: Erodabilidad del suelo.

Los valores más bajos de erodabilidad oscilan entre 0.08 y 0.2 debido a la cantidad de materia orgánica en el suelo.

La materia orgánica del suelo juega un papel similar a las arcillas en lo que se refiere a la retención del agua y nutrientes. También es importante para mantener la agregación del suelo, y de esta manera propiciar un suelo húmedo que permanezca con una permeabilidad alta, ya que la materia orgánica se concentra cerca de la superficie terrestre y es más susceptible a ser erosionada durante las primeras etapas del fenómeno erosivo. Sin embargo, la pérdida de materia orgánica depende mucho más de la cobertura vegetal y su manejo.

Por otra parte la Textura que presenta el suelo corresponde a Franco arenosa y Arenosa franco, donde predominan las arenas con un 76.15% en promedio. Estas partículas presentan mayor susceptibilidad a ser desprendida de la masa del suelo debido a su menor superficie de contacto y su mayor tamaño comparada con la arcilla y limos; al mismo tiempo su tamaño de partículas permite la infiltración de agua y por consiguiente disminuye la tasa de escurrimiento y el transporte de partículas.

Tabla 1. Tabla del Factor K para cada uno de los sitios.

Sitio	Textura	Conductividad hidráulica	Estabilidad de agregados	Factor k
1.-C. Amalacanco	Franco arenoso	Alta	Alta	0.52
2.-C. Amalacanco	Franco arenoso	Alta	Muy alta	0.20
3.- C. Amalacanco(3)	Arenosa franca	Alta	Alta	0.42
4.- C. Amalacanco(4)	Franco arenoso	Alta	Alta	0.56
5.- Tres cruces	Arenosa franca	Alta	Media	0.12
6.- Tres cruces	Arenosa franca	Alta	Media	0.12
7.-Ecotono Tlalpititongo	Arenosa franca	Alta	Alta	0.12
8.-Ecotono Tlalpititongo	Arenosa franca	Alta	Muy alta	0.38
9.- Paso de Cortes	Franco arenoso	Alta	Alta	0.16
10.- Paso de Cortes	Arenosa franca	Alta	Alta	0.10
11.- Apatlaco	Arenosa franca	Alta	Alta	0.10
12.- Apatlaco	Arenosa franca	Alta	Alta	0.10
13.- Atzomoni	Arenosa franca	Alta	Media	0.12
14.- Atzomoni	Arenosa franca	Alta	Media	0.12
15.- Atzomoni	Franco arenoso	Alta	Baja	0.66
16.- C. La calzada	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.53
17.- Zumpango	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.30
18.-C. El Pareje	Franco arenoso	Alta	Baja	0.42
19.-C. Yoloxochtl	Arenosa franca	Alta	Baja	0.54
20.- Ameyalco	Franco arenoso	Alta	Baja	0.60
21.- Huehucxotla	Arenosa franca	Alta	Media	0.50
22.-B. Palomas	Franco arenoso	Alta	Media	0.30
23.- Reten Coquia	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.20
24.- C. San José	Arenosa franca	Alta	Media	0.60
25.- Izmitla	Arenosa franca	Alta	Media	0.60
26.- Cerro 8	Arenosa franca	Alta	Muy alta	0.10
27.- Centinela	Franco arenoso	Alta	Alta	0.12
28.- Texcamanquilla	Franco arenoso	Alta	Baja	0.16
29.- Zumpango	Franco arenoso	Alta	Alta	0.50
30.-C. Amalacanco	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.56
31.- Rechinaco Gde.	Franco arenoso	Alta	Media	0.10
32.-C. Coyoco a	Arenosa franca	Alta	Baja	0.08
33.-C. Coyoco b	Arenosa franca	Alta	Baja	0.50
34.-C. Coyoco c	Franco arenoso	Alta	Media	0.28
35.- C. Palo rechimo	Franco arenoso	Alta	Muy baja	0.16
36.- Hueyatlasquisste	Arenosa franca	Alta	Moderada	0.42
37.- Hueyatlasquisste	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.16
38.- Camino Apat.	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.16
39.- Cascada Apat.	Franco arenoso	Alta	Moderada	0.16
40.- Río frío	Franca	Alta	Baja	0.42

Los valores del factor K fueron determinados utilizando el nomograma de Wieshneier (apendice 1) y por tablas propuestas por Siehe (manual de campo).

**Factor LS: Longitud de la pendiente y Gradiente.**

Los valores bajos de LS indican que su impacto en la pérdida de suelo es poco significativa. Al respecto la FAO/UNESCO (1980), menciona que, cuando mayor sea el factor numérico asignado a este factor, mayor será la degradación resultante.

Se considera de manera aislada el factor L, la pérdida de suelo es alta porque hay una mayor superficie de escurrimiento, por el contrario si se considera la poca inclinación de la pendiente que causa una acumulación de agua y aumenta la probabilidad de que esta se infiltre y disminuya así el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo creando así una baja pérdida de suelo, estos valores se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Valor obtenido de LS para los 40 sitios de muestreo.

SITIO	LONGITUD MTS.	PENDIENTE %	FACTOR LS
1.- C. Amalacaxco	27.5	28	7 1573
2.- C. Amalacaxco	26.5	36	11 0612
3.- Amalacaxco (3)	84.8	22	8 2235
4.- Amalacaxco (4)	28.8	28	7 3244
5.- tres cruces	49	12	2 2930
6.- Tres cruces	80	60	49 7479
7.- Eco Halpuitongo.	55	35	15 1382
8.- Eco Halpuitongo	65.5	65	82 3905
9.- Paso de Cortes	25.3	46	16 3734
10.- Paso de Cortes	41.8	22	5 7734
11.- Apatlaco	70	50	33 0178
12.- Apatlaco	92	58	50 0366
13.- Atzomoni	88	25	10 4740
14.- Atzomoni	70	38	19 8498
15.- Atzomoni	60	18	4 9082
16.- C. La calzada	128	100	167 3035
17.- Zumpango	115	29	15 8538
18.- C. El Paraje	110	18	6 6458
19.- C. Yolotechtli	40.4	24	6 6057
20.- Ameyalco	33	12	1 8817
21.- Huehuexotla	83	82	91 9147
22.- B. Palomas	115	59	15 5844
23.- C. Coahu	80	3	6 4915
24.- C. San José	71	42	24 0393
25.- Lometa	116	55	50 5334
26.- Cerro 8	41	25	7 1493
27.- Centinela	66	15	3 8036
28.- Texcananquilla	53.5	50	28 8656
29.- Zumpango	48.2	60	38 6147
30.- C. Amalacaxco	132.5	190	150 2159
31.- Rechinaco Gde	120	44	41 0654

**FALTA
PAGINA**

49



Continuación				
19.-C. Yoloxochitl	30	0	100	0.011
20.- Aneyalco	35	60	80	0.042
21.- Huehuetzotla	70	0	100	0.011
22.-B. Palomas	55	0	60	0.085
23.- C. Coagua	40	0	10	0.42
24.- C. San José	30	0	100	0.011
25.- Ixmiquilpan	10	0	90	0.011
26.- Cerro 8	80	94	95	0.003
27.- Centinela	15	5	60	0.089
28.- Texcoco	5	0	97	0.011
29.- Zumpango	45	60	90	0.042
30.-C. Amalacaxco	16	9	90	0.042
31.- Rechinac Gide	45	30	95	0.011
32.-C. Coyoco a	95	45	100	0.011
33.-C. Coyoco b	30	90	15	0.28
34.-C. Coyoco c	30	95	15	0.17
35.-C. Palo redondo	30	5	95	0.011
36.-Hueyatlaxquiste	5	90	15	0.17
37.-Hueyatlaxquiste	10	80	85	0.011
38.- Camino Apatlaco	30	1	95	0.011
39.- Cascada Apatlaco	10	0	80	0.042
40.- Río frío	25	5	80	0.042

Los valores mostrados en esta tabla fueron determinados a partir de tablas para obtener el factor C que propone Wischmeier *et al.* (Anexo 3).

Factor P: Conservación .

El valor de este factor es de 1 ya que no se aplican medidas de conservación (en los puntos observados). Esto no significa que en las microcuencas no sean necesarias las prácticas de conservación; ya que los resultados obtenidos así lo indican, pero es necesario que se presenten decrementos muy significativos en los rendimientos sobre todo ecológicos y económicos, para que las prácticas de conservación se lleven a cabo en esta zona.

Valor del Factor P para todos los sitios

$$P = 1$$

Pérdida de suelo (A)

La pérdida de suelo obtenida a través de la EUPS nos permitió visualizar que tan importante es mantener la cubierta vegetal en cualquier tipo de suelo que la requiera, no solo en zonas forestales como es el caso de nuestro estudio, sino en toda aquella área que sirva de receptor de vegetación, como son las zonas agrícolas o de pastoreo para el ganado ya que se puede considerar como el primer paso para el deterioro y pérdida de los suelos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Los valores resultantes de erosión varían de acuerdo a su cobertura vegetal, pendiente - longitud, pero sobre todo a la Erodabilidad (K) que presenta el suelo en cada una de las zonas, tal es el caso de la zona del Fraile (1) en donde su pérdida es mínima (0.2242 ton ha año) debido a su poca pendiente ($I S = 2.293$) y bajo valor de Erodabilidad ($K = 0.12$) en esta área no influye la cobertura vegetal ($C = 0.012$), considerablemente debido a los factores ya mencionados. Comparando con la zona de Cerro S donde la pérdida es de 0.3213 ton ha año un poco más que la anterior, en esta zona si influye la cobertura de ahí la variación de los resultados y de acuerdo a la clasificación ambas se consideran como erosión nula a ligera.

Por otro lado si consideramos las zonas de Hueyatlaquixte (a) y Coyoco (b) los valores que más influyen en sus resultados son los de longitud y pendiente con 74.6218 y 53.8124 respectivamente para ambas si influye la Erodabilidad (0.42 y 0.5) valores que ocasionan el incremento en la erosión con 798.27 y 270.3122, por lo cual la clasificación las considera como de erosión muy alta.

Respecto a la erosión alta se considera a las zonas de Izmetla con un valor de 51.941, Zumpango (b) con 121.495 y El Salto (Rio Frio) con 159.3777 ton ha año respectivamente, a estas zonas al igual que las anteriores y por supuesto a las demás zonas que conforman este estudio, los factores que influyen de manera positiva o negativa son los de pendiente - longitud y de cobertura vegetal, como puede apreciar en la tabla siguiente:

Tabla 4. Valores de cada uno de los Factores de la EUPS

ZONA	R	IS	K	C	P	EROSIÓN A	CLASIFICACIÓN
1. C. Amalacaxco	149.8258	7.1579	0.52	0.012	1	6.6915	Ninguna a ligera
2. C. Amalacaxco	149.8258	11.0612	0.2	0.012	1	3.9776	Ninguna a ligera
3. C. Amalacaxco(3)	149.8258	8.2234	0.42	0.011	1	5.682	Ninguna a ligera
4. C. Amalacaxco(4)	149.8258	7.3244	0.52	0.011	1	6.2774	Ninguna a ligera
5. El Fraile (tres cruces)	149.8258	2.293	0.12	0.012	1	0.4947	Ninguna a ligera
6. El Fraile (tres cruces)	149.8258	39.3478	0.12	0.012	1	10.7330	Moderada
7. Cocono Halpittongo	149.8258	18.1373	0.12	0.011	1	2.9988	Ninguna a ligera
8. Cocono Halpittongo	149.8258	52.3904	0.38	0.012	1	35.7943	Moderada
9. Paso de Cortes	149.8258	16.9885	0.16	0.011	1	4.4797	Ninguna a ligera
10. Paso de Cortes	149.8258	27.34	0.1	0.14	1	8.0402	Ninguna a ligera
11. Apatlaco	149.8258	33.0178	0.1	0.011	1	4.4797	Ninguna a ligera
12. Apatlaco	149.8258	80.0366	0.1	0.04	1	29.98752	Moderada
13. Atzomoni	149.8258	10.474	0.12	0.012	1	2.2897	Ninguna a ligera
14. Atzomoni	149.8258	19.8498	0.12	0.012	1	3.2825	Ninguna a ligera
15. Atzomoni (Halpiti)	149.8258	4.9682	0.66	0.012	1	2.276	Ninguna a ligera
16. C. De la Calzada	149.8258	167.2968	0.83	0.003	1	59.8855	Moderada
17. Zumpango	149.8258	15.8838	0.3	0.012	1	11.9082	Moderada
18. C. El paraje	149.8258	6.6458	0.41	0.011	1	1.7581	Ninguna a ligera
19. C. Yoloxochitl	149.8258	6.6055	0.54	0.011	1	2.3675	Ninguna a ligera
20. Amecalco	149.8258	1.8817	0.6	0.042	1	3.2202	Ninguna a ligera

Continuación							
21. Huehuetotla	149.8258	91.9174	0.5	0.011	1	75.7415	Alta
22. B. Las palomas	149.8258	15.5844	0.3	0.085	1	59.5411	Alta
23. C. Coquita	149.8258	0.4238	0.2	0.42	1	6.1907	Ninguna a ligera
24. C. San José	149.8258	20.0393	0.6	0.011	1	23.7712	Moderada
25. Izmetla	149.8258	50.8323	0.62	0.011	1	50.2655	Alta
26. Cerro 8	149.8258	7.1493	0.1	0.003	1	0.3213	Ninguna a ligera
27. Centinela	149.8258	3.8036	0.12	0.089	1	6.0862	Ninguna a ligera
28. Tepecananquilla (comilla)	149.8258	28.8656	0.16	0.011	1	7.6116	Ninguna a ligera
29. Zumpango (b)	149.8258	88.6147	0.5	0.042	1	121.495	Alta
30. C. Amalacaxco	149.8258	170.2189	0.56	0.042	1	599.83	Muy alta
31. Rechinaco Grande	149.8258	34.0654	0.1	0.011	1	5.6142	Ninguna a ligera
32. Cañada Coyoco (a)	149.8258	53.8124	0.08	0.011	1	7.0949	Ninguna a ligera
33. C. Coyoco (b)	149.8258	6.2010	0.5	0.28	1	130.0697	Muy Alta
34. C. Coyoco (C)	149.8258	5.8095	0.28	0.17	1	41.4316	Moderada
35. C. Palo Reclino	149.8258	29.36	0.16	0.011	1	7.742	Ninguna a ligera
36. B. Hueyatlaquixte (a)	149.8258	4.6218	0.42	0.17	1	98.27	Muy Alta
37. B. Hueyatlaquixte (b)	149.8258	32.9789	0.16	0.011	1	8.6963	Ninguna a ligera
38. Apatlaco (a)	149.8258	7.1893	0.16	0.011	1	1.8957	Ninguna a ligera
39. Apatlaco (b)	149.8258	7.5524	0.16	0.042	1	7.6039	Ninguna a ligera
40. El Salto (Río trío)	149.8258	70.3541	0.36	0.042	1	158.3140	Alta

A = ton /ha/año.

7.2 Erosión por áreas

La segunda etapa consiste en el proceso de interpretación de imágenes, en donde se detectaron los diferentes tipos de vegetación y zonas desprovistas de vegetación; esta interpretación esta dada por las tonalidades del gris así como tonalidades oscuras, debido principalmente a la presencia de algún tipo de vegetación y tonos claros para áreas sin vegetación.

Así mismo, se encontró que la de erosión ligera, presenta tonalidades oscuras, lo que indica la presencia de vegetación, este tipo de erosión se localiza en las zonas que no han sido alteradas o que no presenta alguna actividad agropecuaria o extracción de madera.

La erosión moderada presenta tonalidades poco oscuras, están localizadas en las partes medias en donde se presenta alguna actividad agropecuaria y también de extracción de madera.

Interpretación automática a través del software Idrisi 32

El análisis de imágenes permitió determinar la frecuencia y distribución de los valores de reflectancia de los píxeles de una banda contra otra, la clase espectral está constituida por objetos de



diferente forma, la de la vegetación y la del suelo, y sus diferentes densidades implican una variación en la proporción de estos objetos desde el punto de vista del área que ocupan en cada píxel de la imagen. Al agregar más bandas, hasta considerar todas las que componen una imagen satelital, es posible que las clases de cobertura se separen. Esto se debe a que de banda en banda un mismo objeto presenta diferentes tonalidades de gris, y que si una banda se confunde con otros objetos en otra tal vez pueda diferenciarse, de tal manera que al considerarse la imagen en su conjunto se puede distinguir una mayor variedad de objetos que si únicamente se considerara una banda por separado donde se puede apreciar la tendencia de los píxel a agruparse en cúmulos. Se realizaron combinaciones de bandas originales, 4,5 y 7 en las cuales al analizar los píxeles se observan agrupaciones que no permiten distinguir diferentes clases de erosión, esto es debido a los traslapes entre las bandas 4 y 5. En el histograma realizado a la imagen se observó que al hacer un corte con una incertidumbre de 0.95 muchos grumos que no permitían distinguir adecuadamente las clases de erosión en la zona de estudio, principalmente la nula-ligera con la muy alta, y al aumentar el grado de incertidumbre a 0.97 se perdía más información, quedando pocos puntos para cada clase. Es por ello que se optó por utilizar las bandas 2,4 y 7, la bibliografía reporta que el trabajar con estas bandas disminuyen considerablemente los traslapes, pudiendo distinguir claramente las diferentes clases de erosión, en la imagen Landsat ETM+. La combinación de las bandas están en función del rango espectral de cada una de ellas; conforme se incrementa el rango espectral se incrementan los valores de reflectancia, por lo que, la separación entre cúmulos aumenta.

En el caso de la erosión muy alta presenta tonalidades claras, lo que indica escasa vegetación o parcialmente cubiertas como ocurre a los 3900 msnm y sobre todo en las zonas bajas donde hay una gran afluencia de actividades agropecuarias principalmente en las zonas cercanas a las poblaciones.

El área de estudio abarca 11 microcuencas con una superficie de (23,621.52 ha), encontrando cuatro clases de erosión: La erosión Nula abarca una superficie 12937.25 ha, la erosión ligera 2731.35 ha, erosión moderada 975.42 y la erosión Muy Alta 1635.38 ha, que se distribuyen de la siguiente manera .

Selección de Campos de Entrenamiento.

La clasificación no supervisada de imágenes consistió en agrupar los tonos de píxel (con valores de reflectancia similar), coincidiendo a la separación espectral. Se realizó una clasificación no supervisada sobre las bandas 2,4 y 7, las cuales presentan una separación entre las agrupaciones, indican

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de manera aproximada el número de clases a asignar y que es posible identificar en una clasificación supervisada, además se observa si la diferencia espectral entre cúmulos no da margen a una posible confusión

Procesamiento de la imagen por tipo de erosión

De manera general, las clases de erosión presentes en el área de estudio, se distribuyen siguiendo como patrón principal la cubierta vegetal y la pendiente, que son los elementos que de alguna manera determinan las condiciones en que se encuentran los suelos, de tal forma que: las diferentes clases de erosión, se presentan en zonas que se encuentran cubiertas por vegetación arbórea, arbustiva, herbácea o por pastizal alpino.

La magnitud del efecto de la destrucción de la masa arbolada, respecto a la erosión se explica mediante la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo. En esta, cada factor tiene un valor unitario, la mayoría de los sitios presenta un valor C bajo (0.011) debido a la densidad arbórea, ya que esta reduce la energía cinética de la lluvia, la cual llega al suelos sin agresividad y la gran infiltración que tienen estos suelos reducen el escurrimiento.

Como resultado de la interpretación de imagen de satélite Landsat ETM+, de cartas topográficas, E14B41, Escala 1:50 000, recorridos de campo del área de estudio, se elaboro un mapa con las clases de erosión; nula, ligera, moderada, alta - muy alta, que se obtuvo a partir de una generalización realizada sobre la imagen (apéndice 1).

La erosión ligera se presentó, en alturas de 3000-3500 msnm y en zonas con amplia cobertura vegetal, las pendientes no fueron un factor para el deterioro del terreno. La vegetación forestal disminuyen las pérdidas de suelo, entre más densa la erosión tiene un efecto alarmante significativo en la reducción de la erosión.

La erosión moderada y muy alta se localiza en altitudes de 2500-3000 msnm principalmente en las zonas con mayor actividad agropecuaria, se presentan también en las partes altas las cuales carecen de vegetación arbórea, solamente están cubiertos por pastos y pocos arbustos, sin que en conjunto cubran más allá de 30 % de la superficie. A los 2500 msnm se observaron que las actividades agropecuarias han superado la tasa de formación del suelo y sobre todo ha desaparecido de la vegetación, cambiando totalmente el uso del suelo.

A partir del mapa de erosión obtenido mediante los sistemas de Información Geográfica, se realizó una generalización de estos, para obtener un mapa en las que se representen las tres clases de erosión.

Clasificación no supervisada.

La clasificación no supervisada de imágenes, se utilizó con la finalidad de determinar que banda presenta la mayor probabilidad de separar el mayor número de clases de erosión, con base a la diferencia espectral entre traslapes que se forman. Este tipo de clasificación no supervisada se trabajó para las bandas 2, 4 y 7. Al realizar esta clasificación, se asignaron 3 clases de erosión, tomando como base las características identificadas durante la fase de campo y los valores obtenidos mediante la EUPS.

Clasificación Supervisada.

Para la clasificación supervisada de la imagen, fue necesario seleccionar campos de entrenamiento, considerando las categorías de la imagen que representen adecuadamente a las clases. El objetivo de ésta fase es obtener los resultados lo más reales posibles, en otras palabras, se identificaron debidamente las distintas categorías.

El estudio presenta cuatro clases de erosión en las microcuencas, los valores obtenidos en el caso de erosión nula considerando 77% y de la erosión ligera 12% la erosión moderada 4.0% y de la erosión muy alta 7.0%, lo que significa que el estado actual del parque se encuentra en condiciones aptas, sin embargo, hay que realizar propuestas de rehabilitación para aquellas zonas en donde la erosión es alta y medidas de conservación para aquellas zonas con erosión incipiente, de acuerdo a la FAO (UNESCO, 1980) no hay una pérdida significativa de suelo.

El comportamiento de los factores de la EUPS que establecen los valores de erosión es el siguiente:

El valor promedio de C es de 0.026, ya que se trata de zonas forestales en donde la mayoría son densas, protegiendo al suelo de ser erosionada, el dosel de la vegetación atenúa el efecto de las gotas de lluvia, cuando ocurre la precipitación esta cae primero sobre los árboles lo que hace disminuir el impacto de las gotas de lluvia, cuando el agua llega al suelo da inicio la escorrentía que también es determinada por la inclinación y la longitud de la pendiente, en este caso el factor LS presenta valores que varían desde 5.7 hasta 74.6, lo que indica un alto riesgo si la vegetación desapareciera debido a la inclinación que presenta, estas zonas presentan un gran contenido de materia orgánica lo que significa una gran cantidad de cementantes para mantener estables los agregados del suelo. Aún cuando los valores del factor LS muestran un riesgo muy alto de erosión, este es disminuido por la cantidad de materia orgánica aportada por la vegetación que se presenta en los sitios.

Esto lo confirma los valores obtenidos respecto a la clasificación de erosión alta - muy alta se encontró una distribución de 1635.38 ha en toda la superficie de estudios lo que representa un 6.92 % principalmente se muestra en las regiones alta debido a la escasa vegetación y sobre todo en las partes bajas por los usos y abusos de actividades agropecuarias.

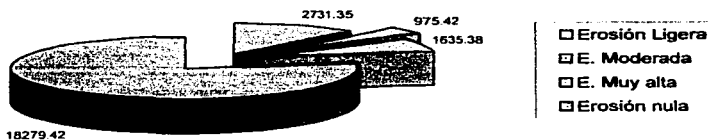


Figura 1. Distribución de las superficies de las clases de erosión

A continuación en la tabla se resume la cantidad de superficie de suelo afectado por unidad de área es decir 5342.1 hectáreas de suelos afectadas.

TABLA CLASES DE EROSIÓN POR MICROCUENCA.

N° de cuenca	Erosión nula	Erosión ligera	Erosión moderada	Erosión Muy alta	Superficie afectada	Superficie total*
1	512.82	79.38	2.61	52.38	134.37	647.19
2	777.15	10.26	19.17	26.82	56.25	833.4
3	1218.78	110.97	25.11	105.84	241.92	1460.7
4	1668.09	139.05	35.28	109.17	283.5	1951.59
5	1695.24	393.84	160.74	136.26	690.84	2386.08
6	2706.21	273.87	193.95	376.92	844.74	3550.95
7	302.53	21.24	14.76	55.08	91.04	393.57
8	1701.18	258.84	193.59	94.23	546.66	2247.84
9	2698.11	284.49	123.3	175.59	583.38	3281.49
10	3301.44	693.3	120.69	277.29	1091.28	4392.72
11	1697.87	466.11	86.22	225.8	778.12	2475.99

* Datos expresados en hectáreas



Los datos contenidos en la primera columna de la tabla nos indican que las pérdidas de suelo en las superficies mencionadas no existen y que se registran en zonas cubiertas de vegetación en terrenos poco pronunciados, o con una gran densidad arbórea alta lo que genera retención de suelo.

Como se observa el valor corresponde a la microcuencua 10 (3301.44 ha) lo cual resulta evidente, debido a que la superficie donde se encuentra es la parte media - alta de la zona de estudio presentando el mayor grado de conservación.

Superficie Total de Clases de Erosión.

Es el estado actual de cada microcuencua, las que presentan mayor superficie son: la 10, con una superficie de clase de erosión nula de 3301.4 ha que representa un 75.15 %. La microcuencua 9 tiene 2698.11 ha con este tipo de erosión, lo que representa el 82.22 % la que se considera la microcuencua más conservada de toda la zona de estudio, por la cubierta protectora de la vegetación que suele proporcionar un excelente medio de defensa para el suelo, aparte de amortiguar el impacto de la gota de lluvia. La microcuencua 6 presenta un número importante de hectáreas sin erosión, con 2706.21 y 76.21 % de esta área. Estos datos muestran que el problema de la erosión de suelos en territorios cubiertos por bosque es normalmente muy bajos.

Por otro lado, la microcuencua 6 con una superficie total de 3550.95 en donde el 76.21 % es de erosión nula, lo que quiere decir que en 2706.21 ha no hay erosión, sin embargo, esta microcuencua es la que aporta la mayor superficie de erosión muy alta con 376.92 ha lo que equivale al 10 % para esta área y para la superficie total de la zona de estudio es de 23.04 %. Claramente se nota que el exceso de las actividades agropecuarias, principalmente la tala inmoderada provoca la remoción de los bosques, cambiando muchas condiciones naturales, además, un incremento en los deslizamientos y escurrimientos superficiales, perdiendo también los nutrientes liberados en la descomposición de residuos vegetales. En otras palabras al acelerarse el proceso erosivo por efecto de los aprovechamientos forestales produce cambios en las propiedades de los suelos que tiene influencia negativa sobre su productividad.

En cuanto a la erosión ligera las microcuencuas más conservadas son: la microcuencua 1 con 79.38 ha dañadas que equivale al 57.07 % de superficie, la microcuencua 2 tiene una área afectada de 10.26 ha lo que representa el 18.24 % de superficie y la microcuencua 7 tiene una extensión afectada con erosión de 91.04 ha, de las cuales 21.24 ha corresponden a erosión ligera correspondiendo al 23.33 % de esta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



clase, lo que significa en las microcuencas con esta clase de erosión se pierden menos de 10 toneladas de suelo al año por hectárea.

Las 11 microcuencas comprenden en la zona de estudio 23,621.52 hectáreas. la erosión muy alta, es de 1635.38 ha que representa el 6.92 % donde se pierde más de 200 ton/ha/año, debido a los malos manejos y excesos de tala de árboles. aunque el porcentaje aparentemente es bajo, el bosque proporciona bienes y servicios que incluyen madera, recreación, estética, fauna silvestre y protección a las cuencas. Sin embargo los malos manejos han rebasado los niveles de extracción de madera para estas hectáreas afectadas, es por ello que existe un peligro de erosión superficial por transporte y arrastre de árboles; debido al movimiento del piso forestal, a la exposición de la superficie del suelo, a una alteración profunda y a la compactación del mismo. Esto puede traer como consecuencia una reducción en la penetración del agua y producir canales que fomenten a la erosión por cárcavas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES.**Imagen de Satélite.**

Se utilizó una imagen de satélite Landsat TM+ de las bandas 2, 4 y 7 contenida en el Software Arc view a una escala de 1: 20,000. La delimitación del área de estudio quedó supeditada al cubrimiento de la imagen del satélite TM+ disponible.

La imagen abarca zonas del Estado de Morelos (Tétela del Volcán) en su parte norte, así como zonas del Estado de México (Amecameca, Río frío, San Pedro Nexapan). El área seleccionada comprende una superficie aproximada de 23,621.52 ha .

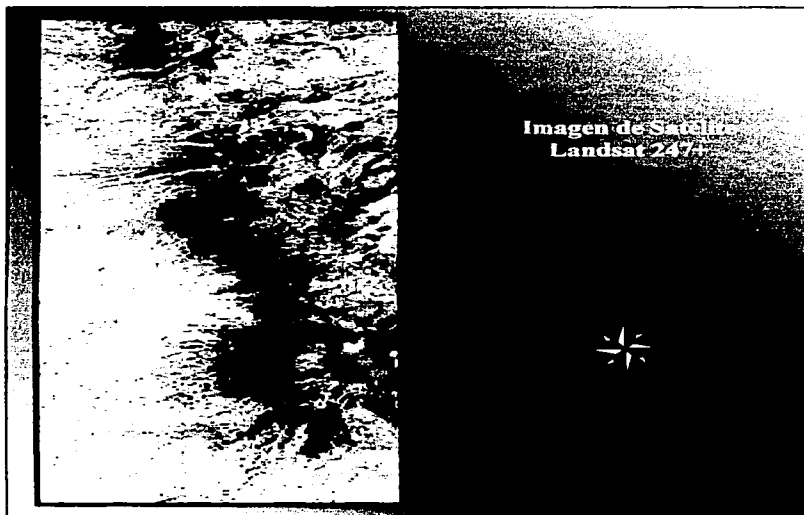


Fig. 2 Imagen de satélite landsat TM+ (Bandas 2,4 y 7)

Clasificación no supervisada.

La clasificación no supervisada de imágenes, se empleó con la finalidad de determinar que banda presenta la mayor probabilidad de separar el mayor número de clases de erosión, con base a la diferencia espectral entre traslapes que se forman. La clasificación no supervisada se realizó para las bandas 2, 4 y 7. Al realizar esta clasificación, se asignaron 3 clases de erosión, tomando como base las características identificadas durante la fase de campo y los valores obtenidos mediante la EUPS.

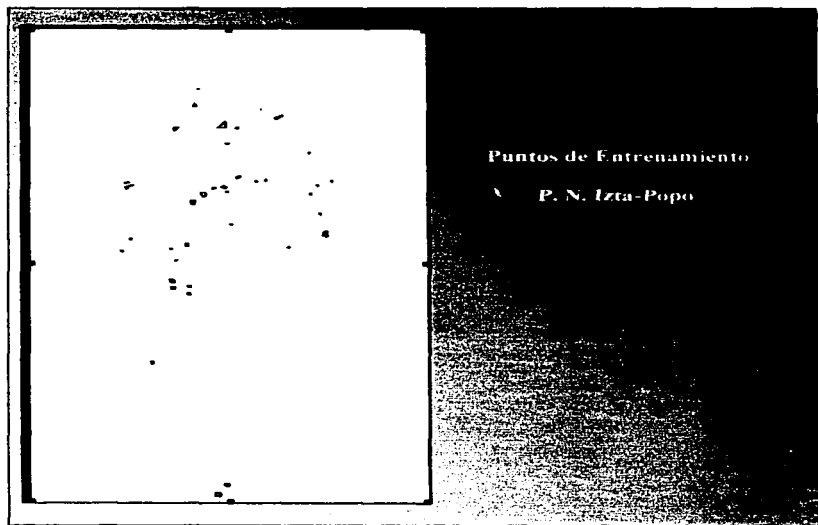


Fig. 3. Puntos de entrenamiento.

Clasificación Supervisada.

Para la clasificación supervisada de la imagen, fue necesario seleccionar campos de entrenamiento, considerando las categorías de la imagen que representen adecuadamente a las clases. El objetivo de ésta fase es obtener los resultados de una forma precisa.

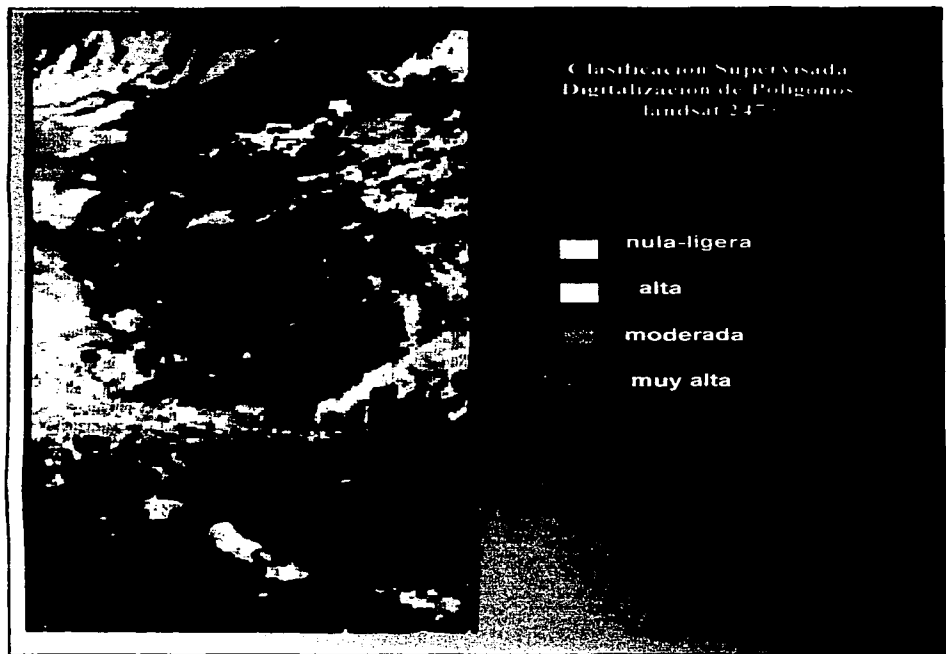


Fig. 4. Clasificación supervisada (Digitalización de polígonos)

Clasificación de incertidumbre.

Este método considera que los niveles digitales de cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto permitió describir las clases de erosión a través de una función de probabilidad. La función asemeja la distribución real de los niveles digitalizados de esas clases y sirve para calcular la probabilidad de que un píxel (con un determinado nivel de digitalizado) sea miembro de ella. El cálculo se realizó para todas las clases que intervinieron en la clasificación, asignándoles el color a aquella que maximicen la erosión.

La figura presenta la clasificación de incertidumbre para cada una de las clases de erosión.

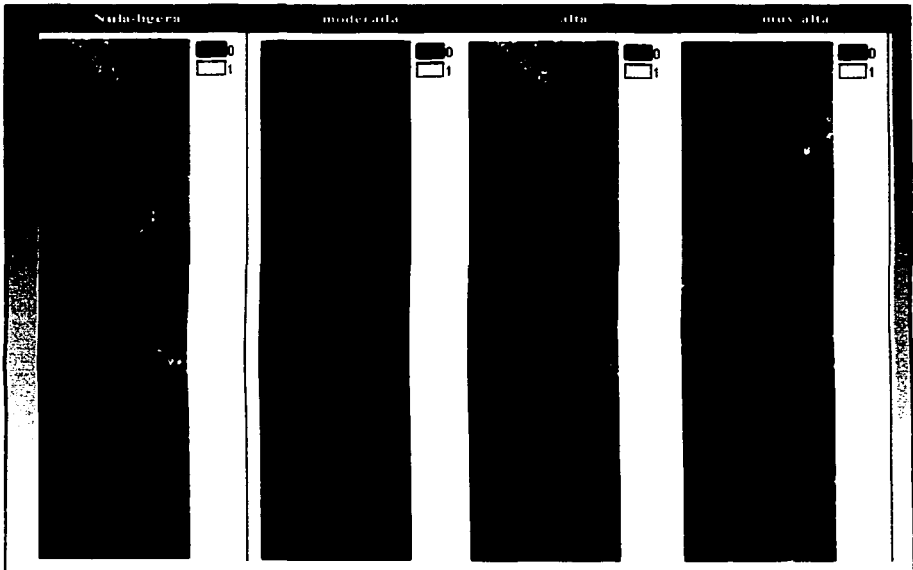


Fig. 5 Incertidumbre por clase de erosión

Comparación de Firmas Espectrales.

Al utilizar las bandas 4,5 y 7 y analizar los píxeles, estas bandas no reflejaban la situación de la erosión, existía traslape para dos clases de suelo como lo fue para nula – ligera y moderada al hacer un corte en incertidumbre de 0.95 y 0.97 en este último se reduce considerablemente el traslape pero sigue persistiendo (6a).

Por tal motivo fue necesario seleccionar otro tipo de bandas que pudieran no reflejar traslape, estas fueron la 2,4 y 7, con estas bandas se determinaron las reflectancias en cada forma y clase de erosión, con el objeto de determinar en forma aproximada las clases que pudieran presentar confusión (traslape) para su identificación (6b).

Fig. 6a. Comparación de firmas

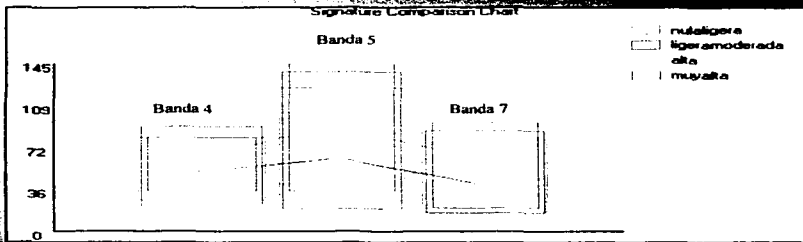
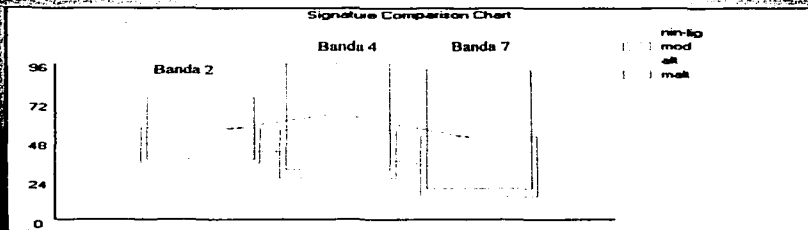


Fig.6b. Comparación de firmas espectrales (bandas 2,4,7)



Procesamiento de la imagen por tipo de erosión

De manera general, las clases de erosión presentes en el área de estudio, se distribuyen siguiendo como patrón principal la cubierta vegetal y la pendiente, que son los elementos que de alguna manera determinan las condiciones en que se encuentran los suelos, de tal forma que: las diferentes clases de erosión, se presentan en zonas que se encuentran cubiertas por vegetación arbórea, arbustiva, herbácea o por pastizal alpino.

La magnitud del efecto de la destrucción de la masa arbolada, respecto a la erosión se explica mediante la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo. En esta, cada factor tiene un valor unitario, la mayoría de los sitios presenta un valor C bajo (0.011) debido a la densidad arbórea, ya que esta reduce la energía cinética de la lluvia, la cual llega al suelos sin agresividad y la gran infiltración que tienen estos suelos reducen el escurrimiento.

Como resultado de la interpretación de imagen de satélite Landsat ETM+, de cartas topográficas, E14B41, Escala 1:50 000, recorridos de campo del área de estudio, se elaboró un mapa con las clases de erosión; nula, ligera, moderada, alta - muy alta, que se obtuvo a partir de una generalización realizada sobre la imagen (apéndice 1).

La erosión Ligera se presentó, en alturas de 3000-3500 y en zonas con amplia cobertura vegetal, las pendientes no fueron un factor para el deterioro del terreno. La vegetación forestal disminuyen las pérdidas de suelo, entre más densa la erosión tiene un efecto alarmante significativo en la reducción de la erosión.

La erosión Moderada y Muy Alta se localiza en altitudes de 2500-3000, principalmente en las zonas con mayor actividad agropecuaria, se presentan también en las partes altas las cuales carecen de vegetación arbórea, solamente están cubiertos por pastos y pocos arbustos, sin que en conjunto cubran más allá de 30 % de la superficie. A los 2500 se observaron que las actividades agropecuarias han superado la tasa de formación del suelo y sobre todo ha desaparecido de la vegetación, cambiando totalmente el uso del suelo.

A partir del mapa de erosión obtenido mediante los sistemas de Información Geográfica, se realizó una generalización de estos, para obtener un mapa en las que se representen las tres clases de erosión.

Las clases de erosión presentes en el área de estudio se distribuyen siguiendo principalmente el patrón de cubierta vegetal, pendiente y uso de suelo, que son los elementos que de manera indirecta determinan las condiciones en que se encuentran los suelos de tal manera que: las clases de erosión nula y ligera se ubican en zonas que se encuentran cubiertas de vegetación arbórea, pertenecientes a las áreas de bosques.

La clase moderada se encontró en zonas que ya han sido alteradas con actividades varias como es la tala de árboles. La erosión con clase alta y muy alta se ubica en las partes altas y bajas de las zonas de estudio, las cuales presentan áreas de pastizales, de agricultura y de sobre pastoreos respectivamente, además de deforestación (en las zonas agrícolas).

A partir del mapa de clases de erosión se realizó una generalización de las mismas para obtener una imagen con solamente las 3(4) clases de erosión, que finalmente fueron Nula - Ligera, Moderada y Muy alta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Clases de erosión

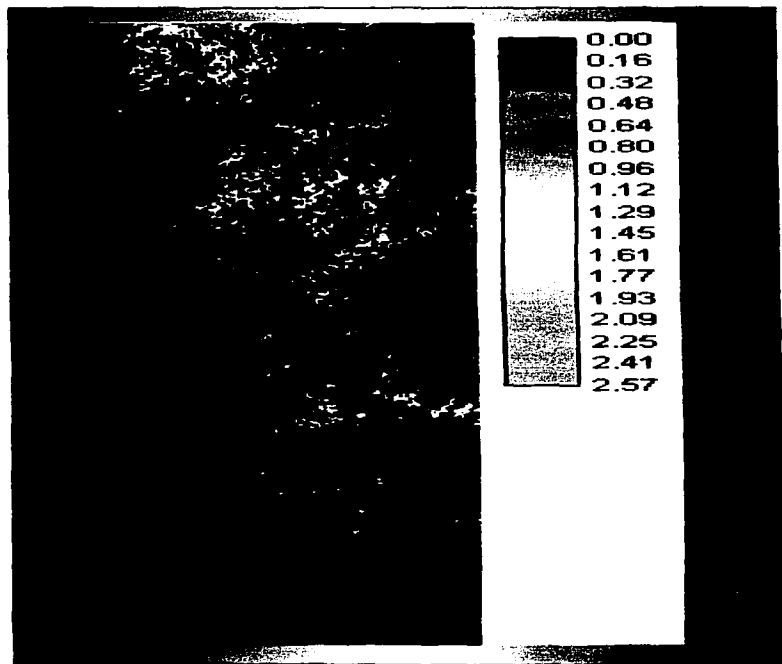


Fig. 7. Clases de erosión (integración de incertidumbre).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Definición de las Clases de Erosión.

Se distinguieron tres clases de erosión basados en un criterio de pérdida de suelo combinado con el tipo de erosión predominante (erosión hídrica) en cada clase (ver apéndice 6).

Teniendo en cuenta que la información contenida en la imagen es el resultado de radiación reflejada y emitida por la superficie terrestre, inferimos que diferentes condiciones de uso-cobertura del suelo se expresan mediante variaciones producidas en la radiación captada por un barredor multiespectral. Por lo anterior a cada clase de erosión le corresponde un determinado color o tono en la imagen, verde para la erosión ligera, azul a la erosión moderada y amarilla a la erosión muy alta, el negro corresponde a donde no existe una clase de erosión (nula).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 8 Imagen de erosión de la zona de estudio por microcuenca.



8. CONCLUSIONES

Con base en el análisis de los resultados obtenidos con respecto a la pérdida de suelo en el presente estudio se concluye que:

- Y Para el año de estudio en que se determinó la mayor pérdida de suelo corresponde a la zona 36 denominada B. Hueyatlaquixte en el cual se obtuvo una pérdida de 798.27 ton/ ha / año clasificándose esta cantidad como un nivel de erosión muy alta.
- Y Las zonas 5 y 26 presentan una erosión de ninguna a ligera obteniendo pérdidas de suelo de 0.2224 y 0.3213 ton / ha / año respectivamente.
- Y Con lo anterior se confirma que la disminución de la pérdida de suelo con respecto a las distintas zonas de estudio es atribuida a la presencia de cobertura vegetal que disminuye la longitud de la pendiente y con ello la escorrentía y acarreo de las partículas del suelo.
- Y Las imágenes de satélite LANDSAT presentan una buena resolución espacial, por lo que con esta imagen es posible obtener mejores resultados.
- Y Las bandas espectrales que mayor relación guardan son las bandas 2,4 y 7 para la imagen LANDSAT.
- Y Las clases de erosión que fue posible identificar con el software Idrisi 32 y Arc view para la imagen LANDSAT son; la clase nula - ligera, moderada, alta y muy alta, las cuales se diferencian en todo el mapa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



9. SUGERENCIAS

Con el fin de completar el estudio en el futuro se sugiere:

1. Afinar metodologías empleadas en estos trabajos de investigación y realizarlos en otras regiones con el fin de obtener mayor información de las obras de conservación y hacerlas más eficientes para el beneficio del hombre y de la conservación del suelo.
2. Continuar empleando la percepción remota como herramienta para un estudio continuo de las superficies no solo de esta región sino de todo el país, con una cobertura forestal y agrícola, con el propósito de obtener series de tiempo de la dinámica de la cubierta edáfica, de las áreas forestales, etc.
3. Emplear otras combinaciones de bandas, en donde se pueda observar características que no fueron detectadas por las bandas 2,4 y 7.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



10. LITERATURA CITADA.

1. Aguilar, G.S. 1982. "Metodología para obtener y aplicar factores de la Ecuación Universal de Pérdida para condiciones de México" Tesis U.A.CH Chapingo, México 213.
2. Ayres, Q.C. 1960. La erosión del suelo y su control. Traducción de la edición Inglesa. Ed. 41.
3. Becerra, M. A. 1999. Erosión de Suelos (apuntes de la primera parte del curso de "Conservación de Suelos"). Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de suelos. Área de Recursos Naturales.
4. Burkart, R., Marchetti, B. y Morello, J. 1995. Grandes ecosistemas de México y de Centroamérica. In: Gallopin, G. C. (Comp.) El futuro ecológico de un continente. Lecturas del Trimestre Económico 79. ONU-FCE. Vol. 1, México, 101-163.
5. Capó, M.A. y Sánchez, A.S. 1991. "Las actividades forestales, su impacto en el ecosistema". Memorias del primer Simposio Nacional de Agricultura Sostenible. Una opción para el desarrollo sin deterioro ambiental. Comisión de Estudios Ambientales. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 29-36.
6. Chuvieco, S.E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp. Madrid, España, 451.
7. Cihlar, J. 1997. A methodology for mapping and monitoring cropland soil erosion. Canadian Journal Soil Science. 67: 433- 444.
8. 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.
9. Domínguez, R. y Olivares, A. C. 1997. Suelo. In: Acuña et al. Programa de manejo para el parque Nacional Iztaccíhuatl - Popocatepetl. UAM - X. Departamento de El hombre y su Ambiente. Área de Ecología y Planeación de Recursos Naturales. Mimeo. 18-22.
10. Diamond, J.R. and Hicks, D.L. 1986. Stepland erosion measured from historical aerial photographs. Journal of soil and water conservation. Jul-Aug 252-255.
11. FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. UNESCO, Roma.
12. FAO. 1983. Mantengamos viva la tierra: causas y remedios de la erosión del suelo." Boletín No. 50 FAO/UNESCO. Roma. Italia. 77.
13. Fenton, T.E. 1982. Estimating soil erosion by remote sensing techniques. Remote sensing for resource management. Edit by Chriss J. Johannansen and James L. Sanders. Soil Conservation Society of America. Remote Sensing- Congress. 217-231.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



14. Foster, G.R., D.K. McCool, K.G. Renard, and W.C. Moldenhauer. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation (USLE) TO SI metric units. *J. Soil and Water Cons.* 36: 355-359.
15. García, C. J. M. 1999. Estrategia de desarrollo rural, integral sustentable en la Región volcánica Iztapopo. Tesis de Maestría en Ciencias, Puebla, Colegio de Postgraduados. 200.
16. Gavande, S.A. 1972. Física de suelos. Centro regional de ayuda técnica. (ADI). Ed. Limusa Wiley, S.A. México.
17. Gill, T. 1951. La crisis de la tierra en México. Traducción del inglés por Gonzalo Blanco. Talleres Gráficos de la Nación. México. 79.
18. Gutiérrez, V. J. 1969. Algunas observaciones sobre suelos forestales degradados en México. IICA. Costa Rica.
19. Hawley, J.G., Dymond, J.R. 1988. How much do trees reduce landsliding P. *Journal of Soil and Water Conservation.* 43 (6), 495-498.
20. Holy, M. 1980. Erosion and Environment. Pergamon Press. Oxford-New York-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt. 225.
21. Hornbeck, J. W., Martin, C.W., Pierce, R.S., Borman, F.H., Linkens, G.E., Eaton, J.S. 1986. Clearcutting Northern Hardwoods: effects on hydrologic and nutrient ion budget. *Forest science.* 32 (3), 667.
22. Hudson, N. 1982. Conservación de suelo. Editorial Reverté, Barcelona, España.
23. Hudson, N.W. and Jackson D.C. 1959 "Results achived in the measurement of erosion and runoff in Southern Rhodesia." In proceeding of 3rd Inter-Africa soils conference Dalaba. Ministry of Agriculture.
24. Kirkby, M. J. y Morgan, R.P. 1984. Erosión de suelos. Editorial Limusa, México.
25. Klock, G.O. 1982. Some soil erosion effects on forest soil productivity. In determinants of soil loss tolerance. ASA. Publication No. 45. SSSA.
26. Koolhaas, M.H. 1977. "La Ecuación Universal de la Pérdida de suelo" Boletín 130. Universal de la República de Uruguay. Boletín 130-131.
27. Kyoo-Seock L., Lee, G.B. and Tyler, E.J. 1988. Determination of soil characteristics from Thematic Mapper data of a cropped organic-inorganic soil landscape. *Soil Science Society American Journal* 52: 1100-1104.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



25. López B. J. 1994. Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS). Tesis doctoral. Depto. De Geografía División de Estudios de Postgrados. Facultad de Filosofía. UNAM.
26. Megaanek J. O. y Richard A. M. 1981. Implicaciones de la utilización de los sensores remotos en países en desarrollo con referencia a América Latina.
27. Morgan, R. P. C. 1984. Implicaciones. En: Erosión de suelo. Ed. Limusa. México. 307-362.
31. Pritchett, W. L. 1986. Suelos Forestales. Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Editorial Limusa, México.
32. Quiroz, R. N. H. 1994. Morfopedología y erosión en los grandes estratovolcanes de la Sierra nevada. Revista de Geografía, No 7, Vol. VI.
33. Ronquillo, B. J. M. 1983. Caracterización de una cuenca, principios hidrológico-forestales y planeación de obras de control de azolves. Tesis profesional. UACH, Depto., de Bosques.
34. Sánchez, F. S. 1981. Conservación del suelo. Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía, U.A.N.L., Monterrey, México.
35. Santiago, J. J. L. 1986. Evaluación de una práctica tradicional de conservación de suelos en la comunidad de Santa María Tilttepec de la Mixteca Alta Oaxaqueña, Tesis profesional, especialista en suelos. UACH. Chapingo, México.
36. Siebe, C., J. R. y S. K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación Especial 4. Chapingo, México.
37. Soria, R. J., Oriuz, S. C., Islas G. F. y Volke, H. V. 1998. Sensores Remotos, Principios y Aplicaciones en la Evaluación de los Recursos Naturales. Experiencias en México. Primera edición. Publicación especial 7. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (S.M.C.S.). Chapingo, México.
38. Stocking, M. A. 1988. Assessing vegetative cover and management effects. In: soil erosion research methods. Lal, R. Editor. Soil and Water Conservation Society.
39. Terrazas, D. S. 1991. Interpretación automática de tipos de erosión a partir de la digitalización de ortofotografías. Tesis de Maestría, Montecillos. México.
40. Thomas, A.W. Welch R and Jordan T.R. 1986. Quantifying concentrated flow erosion and cropland with aerial photogrammetry. Journal Soil and Water conservation, Jul-Aug 249-251.
41. Toledo, T y González P. 1990. "Impacto Ambiental". Fundación Universo XXI. México. 87-115.
42. Toledo, V. M. 1997. El desarrollo sustentable de comunidades y ejidos: La utopía realizándose. In: Los caminos que dicta la naturaleza. Revista Hojarasca en la Jornada. Agosto de 1997. 3-9.

43. Tracey, L. H., Szilagy, A., Baumgardner, M.F., Chih-Chien T., landgrebe, D.A. 1989. Spectral band selection for classification of soil organic matter content. Soil Science Society American Journal 53: 1778-1784
44. Trimble, S.W. and Weirich, F.H. 1987. Reforestation reduces streamflow in the Southeastern United States. Journal of Soil and Water Conservation. 42 (4), 274
45. Trustrum, A. Noel. 1982. The use aerial photographs for soil erosion identification and assessment. Remote Sensing Workshop for Soil Conservation.
46. Uvalle, G. R. 1983. Evaluación de uso actual del suelo en el Estado de Sinaloa, por medio de imágenes de satélite LANDSAT. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León.
47. Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., and Croos, B.V. 1971. "A soil erodability nomograph for farmland and construction sites" J. Soil and Water Conservation. 26.
48. Wischmeier, W.H and Mannering J.V. 1969 "Relation of soil properties to its erodibility". Proc. Soil. Sci. Am. Proc. Vol. 33: 133-137.
49. Wischmeier, W.H, and Smith, D.D. 1965. Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains, Agriculture Handbook No. 282. United States Department of Agriculture Washington, D.C.

Referencias

- Ref. 1 http://www.dpi.ins.br/spring/usuario_spa/sensorr.htm.
- Ref. 2 <http://www.siat.sgiar.org/dtmrada/sistemas.htm>
- Ref. 3. http://www.igeografia.unam.mx/instituto/bol_96.htm

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Anexo 1. Precipitación Pluvial del Periodo 1981-1990, de la Estación Meteorológica de Amecameca

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sep.	Octubre	nov.	dic.
1981	33.2	40	24.5	39.2	64.3	223.9	238	150.2	235.5	52.8	2.5	12.5
1982	0	35.9	10.5	41	126.2	108.6	182.9	120.5	103.4	44.9	0	0
1983	23.8	23	13.2	0	23.1	193.9	198.4	185.5	164.5	57.2	9.8	0.5
1984	24.5	16.3	10.6	4.9	63.1	172	264.9	166.8	187.9	59.4	0	0
1985	0	5.5	* inap	51.5	60.6	210.2	173.2	96.8	158.1	59.6	15.9	6
1986	0	0	0	55.8	122.9	199.2	104	164.2	97.1	45.5	23.5	7.6
1987	0	1	14.9	38.7	46	219.1	173.3	238.6	76.9	0	5	0
1988	0	0	53	15.9	35.3	173.7	152.6	186.4	204.4	23.8	0	0
1989	1.5	0	0	3.8	67.7	117.1	91	184	100.4	25.9	11	17.5
1990	6.5	12	20	27.86	67.68	179.74	175.36	165.88	147.63	41.01	7.74	4.9

* Detección General de Servicio Meteorológico Nacional de México

* map lluvia inapreciable

TESIS CON
 FALLA DE CUBIERTEN

ANEXO 2

Valores de C para vegetación permanente, pastizales y terrenos sin uso agropecuario y forestal.*

Tipo de Vegetación	Altura Efectiva ^b (m)	Porcentaje de Cobertura ^c	Residuos o vegetación en la superficie del suelo						
			Porcentaje de cobertura de la superficie						
			0	20	40	60	80	95-100	
Sin vegetación			P	0.45	0.20	0.10	0.042	0.012	0.003
			H	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
Herbáceas Grandes O arbustos chicos	0.5	25	P	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
			H	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011
		50	P	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
			H	0.26	0.16	0.11	0.076	0.039	0.011
		75	P	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
			H	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
Arbustos o Matorrales	2.0	25	P	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
			H	0.40	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011
		50	P	0.34	0.16	0.085	0.038	0.012	0.003
			H	0.34	0.19	0.13	0.082	0.041	0.011
		75	P	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
			H	0.28	0.17	0.12	0.078	0.040	0.011
Árboles	4.0	25	P	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
			H	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
		50	P	0.39	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
			H	0.39	0.21	0.14	0.087	0.042	0.011
		75	P	0.36	0.17	0.09	0.039	0.013	0.003
			H	0.36	0.20	0.13	0.084	0.041	0.011

I. Todos los valores asumen una distribución al azar de los residuos y la vegetación y una profundidad significativa de los residuos.

II. Altura promedio de caída de las gotas del follaje aéreo.

III. Porcentaje total de superficie que sería oculta por el follaje en una proyección vertical.

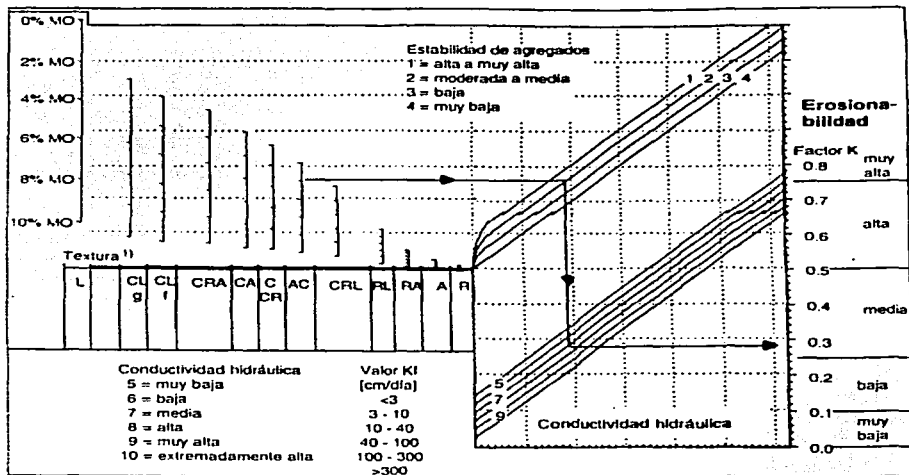
IV. P - Cobertura superficial de pastos o mantillo. H - Cobertura superficial de Herbáceas o residuos no incorporados.

(Tomado de Kirby, 1982).

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ANEXOS

ANEXO 3



1) Claves de clases texturales de la pág. 15

(fuente: Wischmeier et al., 1971, modificado)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

ANEXO 4

Clasificación de la erosión propuesta por FAO 1980.

EROSION	PÉRDIDAS DE SUELO.	
	<i>t/ha/año</i>	<i>mm/año</i>
NINGUNA LIGERA	< 10	<0.6
MODERADA	10- 50	0.6-3.3
ALTA	50-200	3.3-13.3
MUY ALTA	>200	>13.3

ANEXOS
RELACION DE VALORES UTILIZADOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE LA EUPS

CANTON	FECHA		MUNICIPIO	CATEGORIA	MUNICIPIO	CATEGORIA	INDICADORES					DETERMINACION							
	INICIO	FIN					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
							APENAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS	ARCILLAS
Cañada Amalacanco(1)	535817	2112586	1	ALTA	3.866	1.2	74.56	19.64	5.8	27.5	33	28	70	30	90				
Cañada Amalacanco(2)	536319	2112895	2	MUY ALTA	13.53	0.85	72.52	8.16	19.2	26.5	44	90	70	30	90				
Cañada Amalacanco(3)	534210	2112156	3	ALTA	6.121	1	88.56	3.8	7.64	84.8	22	22	40	0	100				
Cañada Amalacanco(4)	535212	2112733	4	ALTA	3.866	1.14	76.56	10.16	13.2	28.8	15	28	40	0	100				
Tres Cruces	536949	2116174	5	MEDIA	17.71	0.53	87.84	10.15	2	18	7	12	0	0	90				
Tres Cruces	536229	2116634	6	MEDIA	15.78	0.68	82.56	6.16	11.2	80	31	60	0	0	85				
Tiaporongo	535141	2115564	7	ALTA	9.343	0.87	81.84	4.16	14	35	19	35	25	0	95				
Tiaporongo	534640	2115703	8	MUY ALTA	6.443	1.07	75.84	7.44	16.7	25.5	34	65	70	0	90				
Paso de Cortes	538899	2109508	9	ALTA	11.27	0.79	75.7	9.04	15.2	25.3	25	46	50	0	95				
Paso de Cortes	537370	2108743	10	ALTA	19.90	0.57	81.7	5.4	12.9	41.8	13	22	50	0	45				
Apataco	538742	2110708	11	ALTA	16.91	0.71	79.7	9.4	10.9	14.7	27	50	50	0	95				
Apataco	538308	2111804	12	ALTA	12.27	0.8	80.4	5.4	14.2	19.5	30	58	40	0	90				
Apataco	539692	2113850	13	MEDIA	12.93	0.79	71.7	5.4	22.9	28	20	25	70	0	80				
Apataco	538246	2114202	14	MEDIA	12.60	0.89	90.4	8.3	1.3	10	22	38	70	0	80				
Albarran	534740	2114657	15	BAJA	0.165	1.03	64.4	13.24	22.3	60	10	18	65	0	90				
Cañada Calzada	533023	2108863	16	MODERADA	10.07	1.08	74.56	5.44	20	12.8	45	100	80	50	95	50			
Cañada Zumpango	533360	2111304	17	MODERADA	7.4	0.91	72.56	7.44	20	21.5	16	29	10	30	100				
Cañada el paraíso	534939	2110074	18	BAJA	5.5	0.96	80.2	12.18	7.62	38.8	10	18	40	0	100				
Cañada Yelcosochití	532315	2108658	19	BAJA	3.52	0.97	77.84	8.16	14	40.4	14	24	30	0	100				
Arroyo Colorado	532515	2108658	20	BAJA	24.99	0.93	63.84	14.44	20.7	33	7	12	35	60	80				
Huetaochochití	531555	2102208	21	MEDIA	3.61	1.85	77.12	5.21	17.6	13	40	82	70	0	100				
Barranca las palomas	530240	2108542	22	MEDIA	7.4	1.18	73.84	14	12.1	14	16	29	55	0	60				
Cañada Coque	530642	2109156	23	MODERADA	8.51	1.32	69.84	8.52	21.6	20	3	3	40	0	10				
Cañada San José	530000	2110200	24	MEDIA	1.27	1.2	85.12	7.16	7.72	71	23	42	30	0	100				
Izmetha	530498	2101210	25	MEDIA	1.61	1.03	85.84	6.16	8.06	16.4	27	55	10	0	90				

TESIS CON
FAMILIA DE
ALBARRAN

CONTINUACION APENDICE I

Cerro B	532644	2115597	26	MUY ALTA	9.952	0.81	76.2	7.8	16	16	20	25	80	94	95	35	
Centinea	533455	2116802	27	ALTA	10.61	0.88	72.84	8.16	14	66	15	15	15	5	60	80	
Coronia	533552	2117782	28	BAJA	12.27	0.73	72.2	11.44	16.3	53.5		27	50	5	0	97	45
Zumpango	533785	2111786	29	ALTA	3.980	0.94	74.2	11.8	14	28.2		31	60	45	60	90	35
C. Amalisco	534603	2112205	30	MODERADA	5.307	0.7	71.84	9.44	18.7	132.5		45	100	16	9	90	80
Rechinacogde	533085	2106584	31	MEDIA	19.62	0.58	70.2	5.8	24	120		24	44	45	30	95	
CARACIA COYUCOCHIA	533121	2106124	32	BAJA	21.66	0.63	76.2	5.8	18	130		29	55	95	45	100	
Cañada Coyote (B)	532932	2106452	33	BAJA	3.591	1.39	78.2	3.8	18	116		17	26	30	90	15	
Cañada Coyote (C)	532351	2106898	34	MEDIA	7.578	1.01	78.2	9.8	12	70		11	19	30	95	15	
Cañada Palo Redondo	534716	2111918	35	MUY BAJA	10.36	0.8	74.2	7.08	18	82		24	45	30	5	95	9
Hueyelaquint	534309	2094875	36	MODERADA	5.588	1.03	78.56	7.56	13.8	180		30	60	5	90	15	
Hueyelaquint	534645	2095350	37	MODERADA	11.00	1.14	74.44	11.56	14	160		21	40	10	50	85	
Cañada Apalato	538600	2112310	38	MODERADA	11.80	0.93	72.36	9.28	18.3	90		12	20	30	1	95	
Cascaza Apalato	539251	2112574	39	MODERADA	10.53	1.03	74.72	9.28	16	84		12	21	10	0	80	
El salto Frio	534610	2142094	40	BAJA	5.903	0.91	56.72	11.28	32	160		32	60	25	5	80	

FALLA DE
TESIS CON
CUIGEN