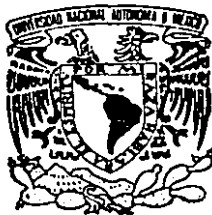


10361
17
2ej

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias



Erosión y su relación con algunas características
morfogenéticas de los suelos de la Serranía de
Actopan, Hgo.

Tesis que para obtener el grado de
Maestría en Ciencias (Biología)
presenta:

Verónica González Kladiano

México, D. F.

1989

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Página
Resumen	
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	3
2. Revisión Bibliográfica	
2.1. Morfogénesis	4
2.1.1. Generalidades	4
2.1.2. Clima e Intemperismo en función de las arcillas	7
2.1.3. Antecedentes sobre Morfogénesis y Erodabilidad	9
2.2. Antecedentes sobre Erosión	12
2.2.1. Erosividad	16
2.2.2. Erodabilidad del suelo	21
2.2.3. Pendiente	27
2.2.4. Longitud	29
2.2.5. Cobertura Vegetal	31
2.3. Análisis Estadístico.	
2.3.1. Análisis Multivariado	34
2.3.2. Análisis Discriminante	34
3. Descripción del Area de Estudio.	
3.1. Localización	38
3.2. Geología	38
3.3. Hidrografía	39
3.4. Fisiografía	39
3.5. Clima	39
3.6. Vegetación	39
3.7. Suelos	40
3.8. Criaderos Metalíferos	40
4. Materiales y Métodos.	
4.1. Trabajo de Gabinete	42
4.2. Trabajo de Campo	45

4.3. Análisis de Laboratorio	45
4.4. Análisis Estadístico	49
5. Discusión de Resultados.	
5.1. Características Morfogenéticas de los suelos	50
5.2. Pérdida de suelo	57
5.3. Análisis Estadístico de la Información	68
5.4. Discusión del Análisis Estadístico	69
6. Conclusiones	76
7. Bibliografía.	
8. Apéndice.	

Resumen

El trabajo consistió en el análisis de diversas características morfológicas y su relación con algunos factores relacionados con el proceso erosivo.

Se realizó una cuantificación empírica de la pérdida de suelo por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, agrupando la zona en sitios con tres intervalos de erosión dados por FAO (1980). Esta diferenciación se apoyo haciendo uso de la técnica estadística " análisis discriminante ".

De los análisis realizados se obtuvieron los siguientes resultados :

El material parental predominante es de tipo ígneo (andesitas, riolitas, dacitas) y un área muy escasa es de tipo sedimentario (caliza). Este tipo de material dió origen a suelos poco evolucionados con predominancia de perfiles A-C los cuales sustentan una vegetación de matorral; en los perfiles más evolucionados (con horizontes B) resalta la presencia de bosque de encino.

-Los análisis mineralógicos reflejan una distribución intercalada de montmorillonita y de material caolínico, mostrando variaciones y predominancia de unas y otras motivadas por variables relacionadas con el intemperismo. Además, se muestra en algunos sitios, la dominancia de plagioclasa sobre ortoclasa, biotita y cuarzo. Los óxidos de hierro están presentes, pero en muy baja proporción.

-De la cuantificación de la erosión, resultó la agrupación de los sitios en tres intervalos: Erosión nula a ligera (0-10 ton/ha) los sitios 5, 13 y 17; erosión ligera a moderada (10-50 ton/ha) los sitios 4,8,10,11,14,19,20 y erosión moderada a alta (50-200 ton/ha) correspondieron los sitios 1,2,3,6,7,9,12,15,16 y 18.

Se concluyó de manera general que los datos obtenidos a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo son sólo una aproximación. El índice K (erodabilidad) es un parámetro difícil de predecir sin embargo se observó que éste aumenta con la profundidad y disminuye en relación al aumento de materia orgánica.

-Finalmente se concluyo a través del análisis discriminante que de las 14 variables incluidas solo 4 de ellas (arena fina, porosidad, permeabilidad y los agregados de 2.0 mm de diámetro)proporcionaron mayor información para la discriminación. Por otro lado se logró una diferenciación aceptable entre los tres intervalos.

1. Introducción.

Los ecosistemas forestales naturales, poseen determinadas propiedades químicas, físicas y biológicas que son únicas para las condiciones en las cuales se han desarrollado. Por lo general se trata de entidades normalmente estables y solo se alteran temporalmente, por la acción del fuego, la fuerza del viento u otros fenómenos naturales (Pritchett, 1986)

Por otro lado la acción del hombre ha aumentado los riesgos de degradación debido a los efectos de las perturbaciones asociadas con el manejo intensivo de los suelos sin un conocimiento adecuado de su dinámica llevando consigo a un deterioro del ecosistema.

Se sabe que parte de la degradación de los suelos forestales se debe a el empleo de ellos en cultivos agrícolas, al pastoreo excesivo y a su incorporación a sistemas de explotación que puede originar : pérdida de materia orgánica, aumento del pH, disminución de la capacidad de intercambio catiónico, disminución de la capacidad de retención de humedad, cambio de estructura y en muchos casos, pérdida total del suelo por efectos de erosión.

La erosión se define como el proceso físico que consiste en el desprendimiento individual de las partículas de la masa del suelo, transporte y depositación de ellas por los agentes erosivos (Morgan, 1979).

A su vez, el proceso erosivo se lleva a cabo por una interacción de diversos factores como serian : condiciones topográficas (pendiente y longitud), cubierta vegetal, características del suelo (morfogénesis), susceptibilidad del suelo a erosionarse (erodabilidad) y erosividad (efecto de la lluvia sobre el suelo), formas de manejo y conservación; todo esto genera diferentes grados de erosión.

Bajo este análisis podemos evaluar cada uno de estos

factores (de manera indirecta) y conocer los rangos de erosión en la zona de estudio, lo que a futuro ayudará a planear obras de conservación de suelo y agua.

Ahora bien, la morfogénesis es una parte importante de la ciencia del suelo, ya que constituye una pieza fundamental de los factores y procesos formadores del suelo; por ello es básica en la interpretación de la evolución de los suelos.

Por un lado, la morfología nos indica la ordenación de las capas en horizontes y sus características inherentes; por otro, la génesis manifiesta el origen y evolución de un suelo a partir de materiales geológicos, incluyendo el intemperismo de la roca superficial y la alteración de los componentes orgánicos, aunados a otros factores como clima, vegetación, organismos, tiempo, etc.

Para esta investigación, el aspecto del material parental y su relación con la mineralogía cobra especial relevancia, ya que la resistencia de los diferentes componentes del suelo a la erosión, permite la formación de minerales intemperizables, que a la vez son sintetizados en arcilla.

El estudio morfogenético de un suelo, puede enfocarse de diferentes maneras; por ejemplo, para determinar que tan expuestos están a la erosión; dicho de otra manera: enfocar las características del suelo hacia el estudio de los factores implicados en el proceso erosivo (erodabilidad, erosividad, etc).

La erodabilidad (K) es el índice de erosión mas comunmente usado, el cual representa la susceptibilidad del suelo a la erosión y puede estimarse si se conocen el tamaño y la distribución de las partículas, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad; estos valores se concentran en el nomograma propuesto por Wischmeier et al, (1971).

Este factor (K) es solo uno de los componentes de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo, la cual es la

herramienta mas utilizada para la predicción de la erosión, ya que conjunta todos los factores relacionados con este proceso.

En muchas ocasiones, mediciones o predicciones indirectas de estos factores, solo pueden aplicarse parcialmente y el problema estriba en darle el peso apropiado a cada uno de ellos para obtener resultados satisfactorios.

El conocimiento de algunas características morfogenéticas y su relación con los procesos de erosión han sido poco estudiados en nuestro país y requieren de un entendimiento mas acucioso. Las investigaciones en este sentido contribuyen a un mejor manejo del recurso, lo que redundará en la conservación del mismo.

1.1. Objetivos.

Por todo lo mencionado anteriormente se plantearon los siguientes objetivos:

- a) Caracterizar algunas propiedades morfogenéticas de los suelos estudiados.
- b) Aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo adecuando cada uno de los factores con la información y condiciones existentes en la zona.
- c) Determinar las características morfogenéticas que se encuentran relacionadas o asociadas con los aspectos de erosión.
- d) Determinar a través de análisis estadístico las variables que nos ayudan a discriminar entre los grupos dados.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1. Morfogénesis.

2.1.1. Generalidades.

El suelo es un cuerpo natural constituido por materia mineral y orgánica que cambia en respuesta al clima, organismos y relieve; a estos cambios se les llama génesis; la morfología está dada por la presencia, características y secuencia de los horizontes en un perfil. Dicho de otra manera, la morfogénesis de un suelo se expresa en su perfil; refleja los efectos combinados de una serie de factores que son responsables de su desarrollo, permitiendo ver una expresión íntegra y completa de todos los factores formadores de un suelo.

Los procesos de formación constituyen una secuencia de eventos, que incluye reacciones complejas y rearrreglos comparativamente simples de materia que afectan al suelo en el que operan. Los procesos morfogenéticos del suelo incluyen ganancias y pérdidas de materiales de un suelo en función de mecanismos de degradación, agregación, translocación, etc.

Las características del suelo y la cubierta vegetal modifican los procesos de degradación del mismo; los tejidos orgánicos en la superficie del suelo contrarrestan los procesos de lavado para proteger al suelo contra los agentes de erosión.

El intemperismo es uno de los agentes fundamentales y dinámicos en la formación de los suelos; cuando éste aumenta la evolución del perfil de un suelo y el contenido de arcilla se incrementan.

Las arcillas y el humus constituyen las fracciones químicamente más activas en el suelo. Las arcillas de un suelo dado, están formadas por una mezcla de diferentes minerales y coloides; la mezcla puede variar de un horizonte a otro; esto se debe no sólo a la influencia climática y al material parental, sino también a las condiciones, naturaleza y grado de evolución

del perfil.

Los minerales arcillosos proceden de silicatos primarios como los feldspatos (plagioclasa, ortoclasa) biotita, etc. anfibolas (hornblenda), piroxenos (olivino, augita, hiperstena) serpentina y magnetita .

La formación de arcilla en los suelos puede resultar de dos procesos opuestos:

- 1) Un proceso lento y progresivo de evolución de los minerales preexistentes en la roca madre que, conservando su estructura, se modifican por sustracción de elementos; estos procesos lentos son norma general en clima templado.
- 2) Y un proceso mas drástico que produce una destrucción total del mineral por procesos de alteración, con la consecuente liberación de sus elementos constitutivos por lo general en estado soluble; éstos pueden ser lavados por las aguas de drenaje o cristalizar *in situ* directamente por ordenación y acomodo de los iones en red cristalina o indirectamente, pasando por una fase amorfa insoluble; éste es el origen de las arcillas por neoformación. La mayoría de los autores optan por esta segunda hipótesis (Duchaufour, 1978).

Los minerales arcillosos provienen de una serie de procesos complejos. Los iones o átomos en la red cristalina tienen una relación espacial definida, conocida como látice, el cual se construye a partir de tetraedros de silicio y octaedros de aluminio. Su fórmula general es $n\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; y pueden distinguirse 3 grupos:

La caolinita : $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, es la que presenta menor contenido de sílice, sus propiedades coloidales son muy ligeras, los estratos (1:1) están más o menos fijos unos con relación a otros y no pueden retener ni agua, ni cationes entre ellos, por lo que las posibilidades de hinchamiento y el poder absorbente de las bases, están reducidas.

La caolinita generalmente predomina en suelos que están mas intemperizados, inclinados hacia la acidéz y mas lixiviados que en aquellos suelos en los que predomina la montmorillonita, por lo tanto, su proporción es baja en materiales poco intemperizados. Se forman por la descomposición de silicatos bajo condiciones de intemperismo de moderada a fuertemente ácida, resultante de una remoción de materiales alcalinos y alcalinotérreos.

La montmorillonita $4SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$, es más rica en sílice, sus estratos están más espaciados (2:1) que los de la caolinita, por lo que las propiedades coloidales, absorción de agua y fijación de cationes, son muy marcadas.

La presencia de la montmorillonita y la caolinita se relaciona con el grado de intemperismo y la naturaleza química del complejo intemperizante. La montmorillonita es un componente importante del suelo que ha sido intemperizado ligera o moderadamente. En ocasiones coincide con valores relativamente elevados de pH y materia orgánica. (Duchaufour, 1978).

La illita comprende varios tipos de arcillas, ofrece caracteres y propiedades semejantes a las de las micas, sus características son intermedias entre las 2 anteriores (2 :1), como se puede observar en el siguiente cuadro.

Arcilla	Relación	Tamaño de Partículas	C I C meq/100g	Substitución isomórfica
Caolinita	1:1	Grande	8	poco o nada
Montmorillonita	2:1	Pequeño	100	Mg por Al
Illita	2:1	Intermedio	30	Al por Si

También como parte importante de los complejos coloidales

están los óxidos de hierro y aluminio, ya que se encuentran en cantidades apreciables en regiones templadas y mayormente en regiones tropicales y subtropicales.

Como ya se mencionó, la naturaleza del medio juega un papel muy importante en la intemperización y determinación de cuando un material que será formado.

Así, la formación de montmorillonita requiere un abastecimiento abundante de magnesio y un medio neutro o ligeramente ácido. La illita se ha formado aparentemente de minerales originarios, como feldespatos potásicos, por recristalización bajo condiciones de abundante K^+ , la illita puede ser formada de la montmorillonita si ésta está en contacto con abundante K^+ . Por el contrario, desprendiéndose de su K^+ la illita pasa a ser montmorillonita.

Por otro lado, un lavado excesivo del suelo en el cual se ha formado la montmorillonita puede conducir al desarrollo de una alta acidéz y condiciones favorables para la alteración o destrucción de la montmorillonita y la formación de caolinita. La caolinita es formada frecuentemente a partir de minerales primarios en los suelos de las regiones calido-húmedas. A pesar de ser muy estable, puede intemperizarse y formar gibsita ($Al(OH)_3$). También puede formarse por la resilicatación de óxidos de aluminio, si la zona de intemperización es rica en silicio (Millar C.E. *et al*, 1971).

2.1.2. Clima e Intemperismo en función de las arcillas.

Los factores ecológicos tienen una gran influencia sobre los procesos de migración, así, el drenaje climático principalmente en lo concerniente a las bases y la arcilla, está regido por el factor clima, esto es ; la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración. Henin y Aubert 1945 (citados por Duchaufour, 1978) definen el drenaje calculado con una fórmula climática que incluye la temperatura media anual y

la precipitación.

Por medio de gráficas (Gráfica No. 2) se pueden definir los periodos del año durante los cuales se favorece el "drenaje", evidentemente se refiere a los periodos en los que la precipitación, sobrepasa la evapotranspiración, es decir los periodos de balance positivo.

En lugares en los cuales las lluvias son principalmente estivales, el drenaje será limitado; por el contrario en climas húmedos, los procesos de lavado favorecerán el drenaje de manera importante.

Se puede deducir a gran escala, que la aridez del clima es el factor que condiciona la importancia relativa de los procesos de arrastre de los diferentes elementos en función de su movilidad.

De esta manera, los factores climáticos desempeñan un papel preponderante en la edafogénesis. Siendo los factores locales (relieve, roca madre, vegetación, organismos, tiempo) los que permiten explicar la diferenciación de los horizontes en los perfiles así como su composición.

La pendiente favorece el arrastre oblicuo y disminuye el lavado vertical; las pequeñas depresiones recogen las aguas y son en definitiva más regadas que las zonas en relieve.

La permeabilidad de la roca es fundamental: las migraciones son más importantes sobre las rocas con textura gruesa (arenas, gravas) que sobre las rocas con textura fina.

La vegetación actúa en diferentes formas ya que el microclima favorece. Por ejemplo un bosque protege el humus por el ambiente húmedo y la sombra; cuando el bosque es destruido, la descomposición del humus es acelerada. Ahora bien, la vegetación forma el humus del suelo, agente fundamental en la

morfogénesis, no sólo por la naturaleza de los restos que incorpora al suelo, sino también por la microflora y la microfauna que alberga. Por otro lado, la protección que ejerce un bosque en contra de la erosión es importante a diferencia de los suelos cultivados ya que son los más expuestos a la erosión (Duchaufour, 1978).

Generalmente, es en el bosque donde se encuentran los suelos mas evolucionados.

2.1.3. Antecedentes sobre morfogénesis y erodabilidad

La erosión es, dentro del fenómeno de la degradación de suelos, uno de los procesos más importantes y está en función no sólo de las propiedades del suelo, sino también de las características bióticas del medio. La erosividad y la erodabilidad de un suelo, son índices de relevancia en estudios sobre erosión. En este contexto, estos índices guardan una estrecha correspondencia con las características morfogenéticas del suelo; en consecuencia, ¿cuáles son los parámetros más importante para determinar la erodabilidad de los suelos de la zona de estudio ?

Los suelos tienen una distribución asociada a los diferentes materiales parentales, vegetación, organismos, geofoma, vertiente clima y microclima característicos de una región. De ahí que la erosividad, es decir la influencia de la lluvia, sea importante en el desarrollo del suelo y por lo tanto está directamente relacionada con su susceptibilidad a erosionarse (erodabilidad).

Existe una fuerte relación entre los componentes mineralógicos del suelo y lapresencia y tipo del material parental en función de la erodabilidad (Keneth et al, 1983).

Por otro lado Wischmeier y Mannering (1969), demostraron que la textura, el porcentaje de materia orgánica, la estructura y el pH son propiedades relacionadas con la estabilidad de los agregados, además, señalan que no obstante el porcentaje de limo, arcilla y arena, debe considerarse en la relación con los niveles existentes de otras propiedades físicas y químicas, cuando se toma en cuenta esto, se observa que la erodabilidad es muy sensible a pequeños cambios en la distribución del tamaño de partícula. También afirman que para un suelo con alto contenido de limo y un incremento en el pH, aumentan la erodabilidad, si la estructura es muy fina o granular fina. Si la estructura es media, granular gruesa, subangular o angular, la erodabilidad disminuye al incrementarse el pH.

Trott y Singer (1983), mencionan que en los suelos con mas de 4% de materia orgánica los efectos de la erodabilidad disminuyen o se estabilizan.

Otros investigadores han encontrado que el contenido mineralógico está intimamente relacionado con la erodabilidad del suelo. La densidad aparente y la estabilidad de los agregados afectan directamente a la erodabilidad; la textura, la permeabilidad, materia orgánica y contenido de caolinita mostraron también una correlación significativa (Wischmeier y Mannering, 1969).

Algunos estudios han reportado efectos negativos y positivos de arcillas 2:1 en la estabilidad de los agregados (Emerson, 1967). Sin embargo, bajo condiciones de campo, en suelos ácidos la arcilla 2:1 tiende a hincharse más que las arcillas 1:1, resultando de ello, una mayor dispersión y erosión

Krishna M. *et al* (1974), trabajaron con suelos ácidos y ferruginosos, concluyendo que en suelo cuyas arcillas son dominadas por la caolinita, las interacciones arcilla- Fe producen fuerzas cohesivas que son decisivas en la agregación, mientras aquellas arcillas que son predominantemente 2:1, la agregación se

debe a una interacción más débil arcilla-arcilla.

Swaify y Dangler (1977), encontraron que el significado mineralógico fué un reflejo de tendencias moderadas de la montmorillonita así como los efectos de la agregación de la caolinita que se correlacionaron bien con la pérdida de suelos. Estudios de suelos que se llevaron a cabo en las montañas del Medio Oeste de los Estados Unidos de Norteamérica, mostraron incrementos en la agregación y resistencia a la erosión con el incremento de Smectita (arcillas 2:1).

El medio ambiente del suelo es importante para determinar cómo afectan las arcillas a la erodabilidad. En un medio básico por ejemplo dominado por cationes divalentes, las propiedades de expandibilidad de las arcillas 2:1 descienden aumentando en consecuencia la agregación; en cambio, en un medio ácido donde predominan los cationes monovalentes y el hidrógeno, las arcillas 2:1 están sujetas a una mayor expandibilidad y dispersión.

2.2. Antecedentes sobre erosión

Las primeras investigaciones sobre erosión, las realizó Wollny a finales del siglo XIX, utilizando lotes experimentales para medir efectos de la vegetación y la hojarasca sobre la interceptación de lluvia y el deterioro de la estructura del suelo. Evaluó a su vez los efectos de la pendiente y el tipo de suelo sobre la escorrentía y la erosión.

En 1917, Miller (Sommers, 1978) comenzó un estudio en parcelas acerca del efecto de los cultivos y las rotaciones sobre el escurrimiento y la erosión.

En la década de los años 20 y principios de los 30's, se creó un interés particular sobre los peligros de la erosión y esto dió por resultado una mayor investigación científica sobre este proceso. (Morgan, 1979).

Posteriormente empezaron a idear ecuaciones empíricas para la predicción de la erosión debido al interés de numerosos científicos. La primera de ellas propuesta por Zingg, en 1940 (Solana, 1982) relacionaba la pérdida del suelo con el grado de inclinación y con la longitud de la pendiente, la cual se hizo utilizando parcelas con simulación de lluvia, demostró que si se duplicaba el grado de pendiente, la pérdida de suelo aumentaba de 2.6 a 2.8 veces; y si se duplicaba la longitud horizontal de la pendiente, la pérdida de suelo por escurrimiento, aumentaba 3 veces, expresándose de la siguiente manera:

$$A = C S^{1.4} L^{1.6} \quad \text{donde :}$$

A = pérdida de suelo promedio por unidad de área

C = constante de variación

S = grado de pendiente del terreno

L = longitud de la pendiente

Los exponentes se refieren al grado y longitud de la pendiente.

Esta ecuación representó el primer intento de relacionar la erosión del suelo con efectos topográficos.

Un año más tarde Smith, incluyó el efecto de las prácticas de conservación mecánica para cuatro combinaciones de rotación de cultivo y tratamiento de suelos como una guía con fines de conservación. Se construyeron curvas para facilitar la evaluación de las prácticas mecánicas en cada uno de los tipos de manejo del cultivo con una pérdida permitida de suelos de : 0.9 kg/m^2 al año (Hudson, 1982).

Alrededor de estos años, O.E.Hays, descubrió la relación que existía entre la cantidad de lluvia dentro de un periodo de 30 minutos de una tormenta y la erosión total del suelo durante la tormenta completa. Este experimento fue corroborado más tarde en diferentes estaciones experimentales y fue de gran importancia para separar los efectos de la lluvia de aquellos relacionados con el tipo de suelo .

En el año de 1947, la importancia del descubrimiento de Hays, llevó a la obtención de nuevos valores para muchas de las variables que hasta entonces se habían utilizado y se vió la necesidad de conocer las variaciones de la lluvia. Además, se presentó un procedimiento para calcular la pérdida de suelo para algunas zonas de la región centro-oriental de los Estados Unidos con la ecuación propuesta por Musgrave (Sommers, 1978):

$$A = R^{1.75} S^{1.35} L^{0.35} CP \quad \text{en donde :}$$

A = pérdida de suelo por unidad de área

R = factor de precipitación

S = grado de pendiente

L = longitud de la pendiente

C = rotación de cultivo/manejo (factor cubierta vegetal)

P = prácticas de conservación

El gran acervo de datos analizado en este tiempo, indicó que los exponentes factoriales de inclinación y longitud de la pendiente debían ser 1.35 y 0.35, respectivamente. Así, esta ecuación fué la primera expresión del factor suelo relativo a condiciones estandar de topografía y lluvia. La ecuación de Musgrave fué muy reconocida y ampliamente usada en muchas partes de Estados Unidos entre 1950 y 1965. (Hudson,1982).

En 1948, se trató de simplificar la computación de las pérdidas de suelo en el campo; se formuló un sistema de factores las prácticas de conservación, el cultivo, la pendiente y el suelo fueron los multiplicadores adimensionales. Se incluyó un factor de lluvia en los casos en los que el área se caracterizara por una variación significativa en la intensidad de la precipitación. El método estimaba la pérdida de suelo en panes arcillosos de Missouri, haciéndó uso de los efectos de la inclinación y longitud de la pendiente, rotación de cultivos prácticas de conservación y grupos de suelos. La ecuación presentada fué:

$$A = C S L K P \quad \text{en donde:}$$

A = pérdida anual promedio de suelo

C = pérdida promedio de suelo por rotación anual de las parcelas

S,L,K,P, son los multiplicadores para ajustar la pérdida de suelos de las parcelas; S para la inclinación de la pendiente;L longitud; K grupo de suelo, así como P práctica de apoyo para la conservación (Smith y Whith,1948 citados por Sommers, 1978).

La ecuación anterior es muy similar en forma a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, que se adoptara 11 años después, solamente que en la ecuación anterior no existe un factor de precipitación pluvial.

Las ecuaciones de predicción fueron formuladas por una necesidad evolutiva. Los trabajos de orden cualitativo condujeron a la evaluación de uno de los factores que podían cuantificarse con datos de una región o área dada. El

desarrollo prosiguió con factores adicionales, los que se fueron cuantificando a medida que se obtuvieron más datos.

Los investigadores fueron utilizando los datos y fueron generando ecuaciones predictivas para suelos de varias zonas o regiones, pero estaban limitadas por las características que imponían los datos de los cuales se habían formulado; por lo tanto, sólo eran útiles para áreas específicas ó para determinados tipos de suelo (Kirkby y Morgan, 1984).

Poco a poco se obtuvieron mayor número de datos a partir de los cuales fué posible hacer estimaciones con base en un mayor número de condiciones y por lo tanto se fué ampliando el área de aplicación. Se compilaron datos de más de 8,000 parcelas/año en 36 localidades de 21 Estados y se reordenaron los factores que afectaban la pérdida de suelos (Wischmeier y Smith , 1960). Todo esto condujo a una ecuación ampliamente aceptada en los Estados Unidos y que ha sido adoptada mundialmente.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es el método de predicción de suelo de mayor uso, cuya expresión es :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad \text{en donde:}$$

A = pérdida de suelo

R = erosividad, basada en el índice EI_{30}

K = erodabilidad, refleja la susceptibilidad de un tipo de suelo a la erosión.

LS = factor de longitud y grado de la pendiente

C = manejo de cultivos

P = práctica de conservación.

Los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada la parcela estandar. Una parcela estandar se refiere a una

longitud de 22.13m sobre una pendiente uniforme de 9% en sentido longitudinal. La parcela se labró de arriba hacia abajo de la pendiente y estuvo bajo barbecho continuo durante por lo menos 2 años.

La parcela estandar es simplemente el resultado del desarrollo histórico de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Los datos básicos a menudo se obtenían de parcelas de 40.5 m² de tamaño. Para una anchura adecuada de 1.83 m se requería una longitud de parcela de 22.13 m. Esta parcela se tomó como base para definir la variación de L,S,C,y P. (Kirkby y Morgan, 1984).

A continuación se definen cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, dándole mayor énfasis al factor R y K.

2.2.1. Erosividad.

La erosividad es la capacidad que posee la lluvia para producir erosión (Rey, 1979). Se sabe que una tormenta puede causar mayor erosión que otra en el mismo suelo; este efecto de la lluvia es conocido como erosividad. Si se mide la erosión producida durante cada tormenta, la proporción de suelo que se erosiona estará influenciada solamente por la naturaleza de la lluvia.

Existen ciertas características de la lluvia que están directamente relacionadas con el proceso erosivo de los suelos (Hudson, 1971, citado por Solana, 1982)

Las interacciones del tamaño, velocidad y forma de las gotas de lluvia, la duración de la tormenta y la velocidad del viento controlan la fuerza erosiva de la precipitación pluvial.

La cantidad de lluvia es un fenómeno importante y está directamente relacionada con la erosión; sin embargo, su medición

generalmente no obedece a una precisión deseada, ya que se necesitarían "n" pluviógrafos para un número determinado de hectáreas. La densidad de pluviómetros de una región que se considere bien distribuida debería ser de 1 cada 25 Km² (Hudson, 1982) ; esta posibilidad para un país como México es muy remota, tomando en cuenta el costoso mantenimiento que requiere una red de esta naturaleza.

Por estudios realizados por Wischmeier en 1959, sabemos que, por sí misma, la cantidad de lluvia no es el mejor indicador del proceso erosivo, ya que estadísticamente no es significativa, a pesar de que existe una relación directa entre la cantidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado.

La intensidad de la lluvia se define como la relación que existe entre la cantidad y duración de la lluvia y es importante como un parámetro potencial de la erosividad; además, junto con la cantidad de agua caída, constituyen los parámetros que suelen registrarse en las estaciones meteorológicas convencionales (Hudson, 1971)

Según Hudson, la intensidad de la precipitación puede calcularse a partir de la variación en la cantidad de la lluvia registrada en los pluviógrafos, es decir, a partir de la pendiente de la gráfica resultante. Esta medida indirecta es adecuada para promediar la intensidad durante periodos más bien largos (Hudson, 1982).

Gómez y Alarcón, 1975 (citados por Rey, 1979) mencionan la importancia de la frecuencia de la lluvia en el proceso erosivo. Si los intervalos entre lluvias son cortos, el contenido de humedad del suelo es alto y aumenta la posibilidad de que se origine la escorrentía, aún en lluvias de baja intensidad.

La lluvia está compuesta por gotas de todos los tamaños; además es necesario conocer la proporción de gotas grandes y pequeñas, es decir, su distribución por tamaños.

La energía cinética de la precipitación pluvial, es la energía del número total de gotas de lluvia a una intensidad determinada.

Se calcula a partir de la distribución del tamaño de las gotas para una intensidad dada, de ahí la importancia de conocer este tipo de mediciones.

Debido a que la erosión del suelo es un trabajo mecánico que equivale a un gasto de energía y ésta se consume en todas las fases del proceso, se han hecho numerosos estudios para tratar de correlacionar la pérdida de suelo con la energía cinética de la lluvia (Hudson, 1982).

Wischmeier (1959) , demostró después de cuantiosas mediciones, que el mejor estimador de la pérdida de suelo, es un parámetro compuesto por el producto de la energía cinética de la tormenta por su intensidad en 30 minutos. Este producto se multiplica por dos para medirlo igual que la intensidad, es decir, en mm/h o plg/h.

Como el trabajo para calcular la erosividad (R) es mucho, diferentes autores reportan métodos aproximados. Wischmeier 1962 (citado por Arnouldus, 1980) reporta una buena correlación entre el EI_{30} y varios parámetros de la lluvia.

$$EI_{30} = f(P \cdot I_1^{2yr} \times I_{24}^{2yr}) \text{ en las que :}$$

P = precipitación pluvial

I_1^{2yr} = cantidad de lluvia en 1 h con periodo de retorno de dos años

I_{24}^{2yr} = cantidad de lluvia en 24 hs con periodo de retorno de dos años

Evidentemente la erosividad puede obtenerse de los datos pluviométricos y del índice EI_{30} ; sin embargo Wischmeier encontró que en Africa este índice no era tan eficaz como en América.

Se realizaron diversos experimentos para conocer si

existía algún punto identificable por debajo del cual la intensidad de la lluvia no provocara erosión; se observó que la mayor parte de la lluvia que cae a intensidades bajas no era erosiva, debiéndose la casi totalidad de la erosión a la lluvia caída a intensidades superiores al nivel crítico.

Esta estimación de la erosividad se le conoció como $KE > 1$; significa que la energía cinética total de la lluvia cae a intensidades de más de 1 plg por hora. El índice puede emplearse exactamente igual que el EI_{30} , pero parece más adecuado para las lluvias tropicales y subtropicales.

Por otro lado Lal, 1976 (citado por Arnouldus, 1980) propuso otro índice: El AI_m . Este difiere del EI_{30} en que en vez de energía cinética, se usa la cantidad de lluvia de la tormenta y se multiplica por la intensidad máxima de la misma a los 7.5 min.

Ambos índices: el $KE > 1$ y el AI_m necesitan el mismo tipo de datos muy específicos que en realidad es difícil obtenerlos, ya que son escasas las estaciones meteorológicas que cuentan con ellos.

Fournier (citado por Gómez Alarcón, en Rey, 1979) encontró una estrecha relación entre lo que él llamó degradación específica o erosión anual total y el coeficiente C de distribución de la lluvia expresado como :

$$C = \frac{p^2}{P} \text{ donde :}$$

p = precipitación media mensual del mes más lluvioso.

P = precipitación media anual.

Este índice, es empírico y demanda muy pocos datos, por lo que puede calcularse fácilmente.

Debido a su simplicidad y para comprobar su utilidad, se hicieron correlaciones entre el índice de Fournier y valores conocidos de " R " para 164 estaciones en Estados Unidos y 14 en el Oeste de Africa.

Primeramente se vió que no podía aproximarse al valor de "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, por lo que el índice se modificó, quedando :

$$\sum_{1}^{12} \frac{p^2}{P} \quad \text{donde :}$$

p = precipitación mensual

P = precipitación media anual

De esta manera los meses que recibían alta precipitación incrementaron el valor del índice. Con el mismo grupo de datos se probó esta nueva forma, resultando con coeficientes de correlación satisfactorios (Arnouldus, 1980).

El índice de Fournier provee una manera rápida de aproximarse al valor del factor lluvia, cuando se carece de infraestructura para obtenerlo de manera precisa.

2.2.2 Erodabilidad del suelo

Trott y Singer (1983), definen la erodabilidad como la tendencia inherente de los suelos a erosionarse a diferentes rangos debido principalmente a la diferencia misma de los suelos.

Según Wischmeier y Mannering (1969), se trata de un factor dimensional que puede determinarse directamente por datos de pérdida de suelo.

La erodabilidad del suelo es " su vulnerabilidad ó susceptibilidad a la erosión; es decir, la inversa de la resistencia a la erosión ". Un suelo con erodabilidad elevada sufrirá más erosión que un suelo con erodabilidad más baja, si ambos están expuestos al mismo tipo de lluvia (Hudson, 1982).

Según Solana (1982), la erodabilidad del suelo se define como " la susceptibilidad del suelo a ser erosionado y es una función de las propiedades físicas y químicas del mismo ".

Bryan (1968), afirma que la erodabilidad puede determinarse por mediciones actuales de pérdida de suelo bajo condiciones controladas o bien por el aislamiento de ciertas propiedades del suelo, como " índice de erodabilidad ".

Con base en lo anterior, se puede hacer notar que la erodabilidad es una medición compleja, difícil de cuantificar, ya que en función de ella, existen diversas propiedades, no sólo del suelo sino también externas.

A continuación se mencionarán brevemente algunos de los principales trabajos pioneros que dieron lugar a una mayor investigación en relación a las principales características del suelo, involucradas en el factor " K " de erodabilidad.

En la década de 1930 se iniciaron los primeros trabajos sobre erodabilidad, cuando se intentó explicar los resultados de los experimentos iniciales sobre erosión del suelo en función de

las propiedades de éste.

Middleton en 1932 fué el primero en realizar análisis detallados de laboratorio; trabajó con muestras de suelos con características conocidas en relación al proceso erosivo, a partir de observaciones preliminares en campo. Las muestras eran de suelos " erodibles " y de suelos " no erodibles " de diferentes regiones; concluyó que éstas podían distinguirse por la facilidad con la que el suelo se dispersaba y por la facilidad para la transmisión de humedad. Los trabajos posteriores se basan en la subdivisión mencionada anteriormente.

2.2.2.1. Índices basados en las propiedades que afectan la dispersión del suelo.

a) Índice de dispersión

Una propiedad que se correlacionó con la erodabilidad fué la cantidad de limo + arcilla presente en estado disperso, comparándose con el limo + arcilla en muestras no dispersas (Middleton, 1932).

El autor se basó en la suposición teórica de que sólo el material que está en condición dispersa, puede ser erodado; además separó los suelos con base en valores del índice mayores a 15% considerándolos erodibles y valores menores a 15% no erodibles. Lo anterior se consideró incorrecto ya que sería más conveniente hacer una distinción entre aquellos suelos que requerirían manejo y aquellos que no. (Bryan, 1968).

b) Índice de arcilla

Bouyoucos trató de aproximarse a Middleton y sugirió que

la proporción entre la arena y el limo + arcilla, tenían relación proporcional con la erodabilidad. Esta afirmación la probó para un amplio rango de suelos.

A pesar de ser un índice simple y que se podía derivar de datos analíticos básicos, se le criticó al no tomar en cuenta también a la materia orgánica como un importante agente en la cementación y como promovedor de la agregación (Middleton, 1930; Bryan, 1968).

c) Índice de agregación superficial

Se refiere a la relación entre la superficie total de partículas mayores de 0.05 mm de diámetro y la cantidad de limo + arcilla en agregación. Este se consideró una extensión del de Bouyoucos y su validez como índice de erodabilidad se pone en duda ya que el autor consideró que todas las partículas eran esféricas y asignó diámetros medios y densidades medias a las diferentes fracciones; sin embargo, el error más grande fué que consideró al limo como una fracción aglutinadora (esto provino de Bouyoucos); también ignoró a la materia orgánica en esta fracción.

d) Estabilidad de agregados como índice de erodabilidad

Adams 1958, (citado por Kirkby y Morgan, 1984) usó el índice de dispersión y la estabilidad de agregados en estudios de erosión. Comparó los resultados con relaciones de infiltración y escorrentía y valores de erosión obtenidos bajo lluvia simulada en campo. Encontró que el porcentaje en peso de los agregados estables al agua mayores de 2 mm, fueron significativos al correlacionarlos con las pérdidas de suelo.

Dos medidas de agregación, la distribución en el tamaño y estabilidad de los agregados, son medidas que un gran número de autores han usado como índices de erodabilidad.

2.2.2.2. Índices basados en las propiedades del suelo que afectan la transmisión de agua.

Debido a que la erosión es causada principalmente por la escorrentía y a la vez ésta se relaciona con la habilidad del suelo para transmitir agua, Middleton (1930), encontró que la relación entre el contenido coloidal y el equivalente de humedad podía considerarse como un índice de erodabilidad, ya que cuando el valor de ésta relación era bajo, se infería que el coloide en cuestión estaba absorbiendo agua con mayor eficacia que cuando el valor era alto; por lo tanto, se trataba de una medida del grado de asociación de agua por unidad coloidal e indirectamente, del efecto relativo en la escorrentía producido por los coloides.

Se combinó esta relación con el índice de dispersión mencionado anteriormente y se obtuvo:

$$I. \text{ erosión} = \frac{I. \text{ dispersión}}{\text{contenido coloidal/equivalente de humedad}}$$

El índice de dispersión es independiente de la textura del suelo, pero es dependiente de la movilidad de esas partículas removidas más fácilmente por movimientos de agua en el suelo.

Por otro lado, el índice de coloide/equivalente de humedad, no es independiente de la textura, ya que el equivalente de humedad es en gran medida dependiente de las dimensiones espaciales, que a su vez están determinadas por el tamaño de las partículas del suelo (Middleton, 1932).

Este índice analizado posteriormente fué invalidado ya que no podía considerarse la relación coloide/equivalente de humedad, como un índice de transmisión de agua. El mismo autor reconoció que hubiera sido preferible una medida más directa de permeabilidad; además ambas medidas relacionan propiedades más cercanas, por lo que no es fácil comprender cómo su relación debía ser un índice del estatus de transmisión de agua (Bryan, 1968).

Posteriormente se fueron tomando en cuenta otras características que pudieran darnos valores más confiables relacionados con el comportamiento erosivo de los suelos, de ahí que Baver, en 1933 (citado por Bryan, 1968), desarrolló una expresión para la determinación de la pérdida de suelo:

$$E = KD / AP_p \quad \text{donde :}$$

- E = erosión del suelo
- K = una constante
- D = facilidad de dispersión
- A = absorción
- P = permeabilidad
- p = tamaño de las partículas

Aún no se tenía un índice de erodabilidad per se, pero se sugería ya con base en un gran acervo de datos no publicados, que existía una relación muy fuerte entre la erodabilidad y el estado de agregación, por lo que Lutz, 1934 (citado por Bryan, 1968) examinando suelos de Carolina del Norte, encontró que diferían en sus características de agregación. Los agregados de aquellas muestras " erodables " eran pequeños, densos e impermeables, mientras que aquellas " no erodables " eran grandes y porosos.

La agregación de los suelos como característica a considerar, fué cobrando importancia dentro de los estudios que se fueron realizando. Yoder, 1936, (citado por Hudson, 1982) desarrolló una técnica que más tarde se modificó y adaptó a los estudios de estructura de suelos, para medir la estabilidad de los agregados y partículas cuando son agitados mecánicamente en agua; esta técnica es utilizada actualmente.

Otros métodos basados esencialmente en el análisis mecánico se han utilizado en Rusia por Voznesensky y Arstruui, en 1940 (Bryan, 1968 ; Hudson, 1982). Ellos desarrollaron una fórmula para determinar la erodabilidad basándose en mediciones de dispersión, agregación y capacidad de retención de humedad.

Para probar la certeza de los índices mencionados se realizaron pruebas estadísticas de todos ellos y en algunos casos se tomaron otras características que no eran propiedades usadas como índices y se concluyó con base en estas pruebas, que el índice de erodabilidad más real y eficiente de todos los examinados, fué el porcentaje en peso de los agregados estables al agua mayores de 3 mm.

Describir valores de K, en términos de ciertas características medibles del suelo fué difícil pero no imposible. La variabilidad de los constituyentes físicos, químicos y biológicos es grande, al igual que sus interacciones; además en ocasiones es factible que se presenten diversos mecanismos de erosión. Asumiendo que el valor de K estaba relacionado básicamente con propiedades del suelo, se realizaron muchos estudios, como los de Wischmeier y Mannering (1969). Estos autores iniciaron a partir de 1961, un estudio interregional, en el que se seleccionaron 53 suelos, ésto con el fin de tener un mayor entendimiento de cómo y hasta donde varias propiedades del suelo afectaban su erodabilidad.

La investigación incluyó el uso de simuladores de lluvia en varios Estados de la Unión Americana, para obtener medidas comparativas de escorrentía y pérdida de suelo; además, se hicieron pruebas de laboratorio con investigación de fenómenos específicos, así como la instalación de parcelas bajo lluvia natural; todo con el fin de corroborar la validez de las estaciones de K.

El estudio involucró 24 variables independientes que constituían la interacción entre las fracciones del tamaño de partícula, la materia orgánica, estructura e índice de agregación, estableciéndose que existía correlación entre ellas. De esta interacción se planteó que la proporción de arcilla produce un decremento en valores de K; la magnitud del decremento depende de las propiedades interactuantes como la materia orgánica

y el índice de agregación. Un incremento de K puede producirse por un aumento en el contenido de limo; la magnitud del cambio se debe al contenido de materia orgánica, pH, y la fracción arenosa y arcillosa (Romkens, 1977).

De este hallazgo, que fué confirmado por análisis subsecuentes con los mismos datos base, Wischmeier et al (1971), llegaron a la formulación del nomograma de erodabilidad de suelos, ahora ampliamente aceptado. El nomograma hace posible predecir valores de campo de perfiles estandar y por medio de determinaciones de laboratorio de 5 parámetros : porcentaje de limo + arena fina (0.002 - 0.1 mm), porcentaje de arena (0.1 - 2.0 mm), porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad. El término de limo fino, se refleja en el nomograma a través del parámetro $M = \text{porcentaje de limo fino} (\% \text{ limo fino} + \text{arena fina})$. M sirvió para explicar el 85% de la variación de los valores de K.

2.2.3. Pendiente.

Las pérdidas de suelo se ven afectadas por la pendiente; probablemente fué uno de los primeros factores externos que se consideraron en el proceso erosivo. Las características principales son : pendiente, longitud y forma.

En cuanto a la influencia de la pendiente en la pérdida de suelo, se sabe por estudios realizados por Zingg, en 1940, (Solana, 1982) que la cantidad de erosión no es estrictamente proporcional al grado de la pendiente pero aumenta rápidamente al aumentar ésta.

No es de sorprender, el que la cantidad de erosión no sea simplemente proporcional a la pendiente, sino que aumente más de prisa que la propia pendiente (Fig. 1).

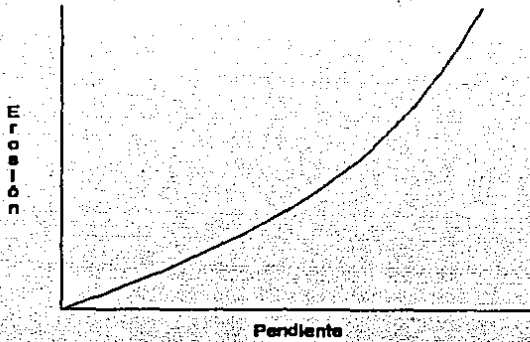


Fig. 1 Relación entre erosión y pendiente (Solana, 1982).

La relación del grado de la pendiente con la erosión se expresa:

$$\text{Erosión} \propto \text{pendiente}^2$$

Zingg, concluyó después de analizar resultados de experimentos en campo y laboratorio, que las pérdidas de suelo variaban a la potencia 1.4 del porcentaje de pendiente.

Smith y Whitt (1947), (citados por Hudson, 1982) propusieron la ecuación:

$$R = 0.10 + 0.21 S^{4/3}$$

R = pérdida de suelo relativa con respecto a la pérdida unitaria de una pendiente al 3%

S = por ciento de pendiente

Musgrave en 1946, recomendó el uso de la potencia 1.35 de la pendiente en porcentaje. Las ecuaciones exponenciales que se han utilizado muestran variaciones desde 1.2 hasta 1.6 en el exponente de la pendiente en por ciento (Figueroa, 1975).

Meyer et al, 1972 (citado por Solana, 1982) observaron que aún en suelos a nivel, se presentan grados bastante

altos de erosión y que ésta no aumenta notablemente al incrementarse la inclinación de la pendiente. Observaron también que la cantidad de suelo erosionado se duplica al aumentar la pendiente del 2 al 20 % ; a partir de esta inclinación, la pérdida de suelo tiende a ser constante.

Otro efecto importante con respecto a la inclinación de la pendiente, es su efecto en la capacidad de transporte de flujo. El flujo superficial no obstruido, tiene una línea de energía que es aproximadamente igual a la pendiente del terreno. De manera que al aumentar la pendiente, la capacidad de transporte se incrementa rápidamente y al disminuir la pendiente, la capacidad de transporte disminuye grandemente, a tal grado que puede ocurrir deposición (Figueroa, 1975).

2.2.4 Longitud

La longitud de la pendiente tiene un efecto sobre la pérdida de suelo. En una pendiente larga la escorrentía tenderá a una acumulación creciente y alcanzará velocidades mayores que provocarían una erosión abrasiva, que no se daría en una pendiente más corta. De ahí que si se expresa la erosión en función de la longitud de la pendiente, se debe distinguir en pérdida total de suelo y pérdida de suelo por unidad de superficie.

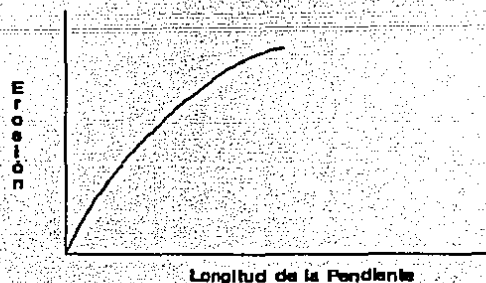


Fig. 2 Relación entre erosión y longitud de la pendiente.

(Solana, 1982)

Una pendiente más larga resultará en una mayor pérdida de suelo ya que corresponde a una mayor superficie (Solana, 1982) su expresión es :

$$\text{Erosión} \propto \text{Longitud}^n$$

Por análisis de los datos existentes (Wischmeier et al, 1958, citados por Figueroa, 1975) se sabe que el valor de n puede variar desde 0 a 0.9.

2.2.4.1. Forma.

La forma de la pendiente combinada con la inclinación y la longitud tiene gran influencia en la cantidad de erosión que se produce. Si la longitud y la inclinación son grandes se debe de esperar una erosión fuerte; si ambas son pequeñas, la erosión será moderada (Figueroa, 1975).

La erosión en pendientes uniformes aumenta gradualmente. En pendientes convexas las pérdidas se incrementan a todo lo largo de la pendiente. Una pendiente cóncava es susceptible a la erosión en su parte superior, a diferencia de la inferior en donde hay muy poca, tanto así que puede llegar a haber deposición del suelo acarreado (Sommers, 1978).

Para las pendientes complejas, con la parte superior convexa y su parte inferior cóncava, la carga de sedimentos aumenta hasta un punto cercano a la inflexión de la pendiente y de ahí en adelante puede ocurrir deposición. La magnitud de la erosión y la localización del punto donde comienza la deposición, están en función de varios factores que incluyen: la susceptibilidad del suelo a la erosión, la curvatura de la pendiente y la cantidad de escorrentía. En el caso de pendientes complejas, pueden medirse por separado y por lo tanto tener valores independientes para cada segmento.

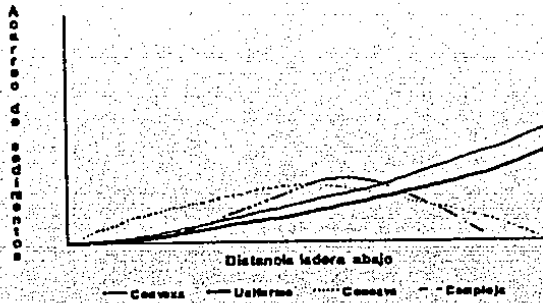


Fig. 3 Influencia del tipo de pendiente. (Hudson, 1982)

2.2.5 Cobertura vegetal

Los efectos de la vegetación y de los cultivos (cobertura) en la reducción de la erosión, ya han sido estudiados ampliamente, ya que constituyen la base de técnicas agronómicas para el control de la erosión. La mayoría de los estudios se han concentrado en la medición de las pérdidas de suelo bajo diferentes coberturas de planta, comparándolas con aquellas medidas en suelo sin cobertura.

Los principales efectos ya han sido señalados por diversos autores (Morgan, 1981; Hudson, 1982) los cuales se pueden agrupar principalmente en :

- 1.- Reducción en el impacto de la caída de las gotas de lluvia como resultado de la intercepción.
- 2.- Aumento en la resistencia al aire y al agua a través de una mayor aspereza.

- 3.- Deposition de sedimentos debidos a la reduccion en la velocidad de flujo.
- 4.- Incremento en la capacidad de infiltracion.
- 5.- Aumento en la estabilidad estructural que coincide con un incremento en el contenido organico del suelo.
- 6.- Reduccion de la escorrentia como resultado de un aumento en la intercepcion, infiltracion y evapotranspiracion de superficies con vegetacion, comparado con superficies sin ella.

Chapman, en 1948 (citado por Figueroa, 1975) menciona el efecto de la cobertura del bosque sobre las caracteristicas de la lluvia. El efecto fue mayor bajo la cobertura del bosque de pino en comparacion con un campo desprovisto de vegetacion para intensidades menores de 5 cm/hora. De esta investigacion se concluyo que es mas importante la capa de material organico que cubre la superficie del suelo en un bosque y no la cobertura aerea del mismo.

Smith y Stamey, 1965 (citados por Figueroa, 1975), indican que los bosques en condiciones naturales, pierden desde 4 hasta 111 kg/ha/año. Sin embargo, cuando llegan a perder su capa de material organico por la quema o por alguna otra circunstancia, las perdidas aumentan hasta 6.8 ton/ha/año.

La proteccion del suelo por la parte aerea de los cultivos no solo depende del tipo de vegetacion, varia tambien con las estaciones o con los meses.

Se ha demostrado que una diferencia en el manejo agricola provoca enormes diferencias en el proceso erosivo, de tal forma que, un mal manejo agropecuario, puede aumentar las perdidas de nutrimentos por lavado, asi como la escorrentia superficial, en varias ordenes de magnitud, reduciendo enormemente la capacidad productiva del ecosistema.

En Mexico se han realizado estudios a pequena escala en zonas montañosas de la costa de Jalisco, donde se practica la agricultura de ladera. Se establecieron parcelas entre 20 y

40 m² con una pendiente promedio de 40%, con diferentes tratamientos: maíz intercalado con liter del bosque como protección, pasto Guinea (Panicum maximun Jacq.) y pasto buffel (Cenchrus ciliaris L.); el bosque fué considerado como punto de control.

Las pérdidas de suelo de las parcelas control fueron de menos de 0.20 ton/ha/año; éstas son insignificantes comparadas con las pérdidas en los tratamientos de maíz y pasto Guinea, las cuales produjeron pérdidas de 130 ton/ha/año. Estas cifras se consideraron preocupantes ya que estos tratamientos van más allá de los límites tolerables reportados en la literatura (Mass y Sarukhan ,1986).

Por otro lado Sancholuz, 1984 (citado por Mass,1986) estima valores entre 62 y 492 ton/ha/año en cultivos de maíz con pendientes entre el 1% y el 25% en el Estado de Veracruz.

Ahora bien, no todos los tipos de vegetación actúan en la misma forma, esta diferencia radica principalmente en las características del sistema radical de los vegetales.

Según Fournier (citado por Palacios, 1980) la cobertura herbácea es el tipo de vegetación con mayor capacidad protectora; constituye una cubierta inmejorable para controlar e incluso evitar la erosión provocada por el impacto de las gotas de lluvia; la acción de su sistema radical no constituye como en el caso de la cubierta arbórea, una infiltración de gran envergadura ni fija al suelo en forma tan eficaz, pues sus raíces no son lo suficientemente profundas.

2.3 Análisis Estadístico

2.3.1 Análisis Multivariado

El análisis multivariado en términos muy amplios, se refiere a todos los métodos estadísticos que analicen simultáneamente diversas mediciones. Cualquier análisis simultáneo de más de 2 variables puede ser considerado análisis multivariado. Para algunos investigadores "multivariado" simplemente significa examinar la relación entre más de 2 variables.

El objetivo del análisis multivariado es el de simplificar y ordenar un conjunto complejo de datos, de tal forma que el modelo resultante muestre las relaciones existentes entre las variables (Hair *et al.*, 1980).

Existen técnicas específicas : regresión y correlación múltiple, análisis discriminante, análisis de componentes principales, A. de factores, A. de cúmulos, A. de correlación canónica, etc.

En este caso se utilizó el análisis discriminante que se explicará a continuación.

2.3.2. Análisis Discriminante

Este análisis involucra la derivación de combinaciones lineales de 2 ó más variables independientes que discriminarán mejor entre los grupos definidos a priori. Esto se consigue por la regla estadística de maximizar la varianza entre los grupos y minimizando la varianza que pudiera existir dentro de los grupos.

Para poder derivar las funciones discriminantes se usan dos métodos; el simultáneo y el stepwise. Si el investigador

se encuentra con la situación en la cual hay más variables discriminantes que las necesarias para lograr una discriminación satisfactoria y lo que desea es seleccionar las más útiles, el procedimiento adecuado es el stepwise.

Este método involucra la entrada de las variables independientes en la función discriminante una por una con la base de su poder discriminante. Como primer paso, escoge la mejor variable discriminante, la cual es apareada con cada una de las otras variables hasta encontrar aquella que incrementa el poder discriminante de la función en combinación con la primer variable. De esta manera se seleccionan la tercera variable y las subsecuentes.

Inicialmente, todas las variables independientes son incluidas en la función. Las variables que posteriormente no contribuyen significativamente a una discriminación, son eliminadas por selección secuencial (Nie et al 1975).

La combinación lineal para un análisis discriminante, se deriva de una ecuación que toma la siguiente forma :

$$Z = W_1 X_1 + W_2 X_2 + W_3 X_3 + \dots + W_n X_n \quad \text{donde :}$$

Z = es el score discriminante

W = peso discriminante

X_{1,2,3...n} = son las variables independientes

De acuerdo con la ecuación anterior, se multiplica cada variable independiente por su peso correspondiente y se suman estos productos, obteniéndose un valor llamado "score" discriminante ó puntaje para cada uno de los individuos en el análisis. Si se promedian estos "scores" para una población ó grupo, se tendrá la media grupal o centroide. Este indica la localización de un individuo para un grupo en particular.

Para conocer la distancia que separa a los centroides de los grupos, se aplica una prueba de significancia estadística de

las funciones discriminantes, la cual calcula la distribución de los "scores" discriminantes para los 2 ó más grupos. La función separará bien los grupos si el traslape en las distribuciones es pequeño, y si éste es grande, la función será un pobre discriminador entre los grupos.

Es deseable que para la aplicación de este análisis, se cumplan los siguientes supuestos:

- 1) Que las variables se distribuyan de manera normal y multivariada.
- 2) Que la estructura de covarianzas y dispersión sean iguales para los grupos (aunque desconocida)
- 3) Costos iguales en caso de errores en la clasificación.

El análisis discriminante no es muy sensible a la violación de estos supuestos, a menos que sean extremos. (Flores, 1987)

El análisis discriminante ha sido utilizado ya en el área de suelos hace algunos años. Pavlik y Hole, 1977 (citado por Flores ,1987) discriminaron entre dos tipos de suelo, uno sobre pequeñas colinas y el otro en una planicie. Para esto, utilizaron variables del suelo relacionadas con la geofoma como : estructura , contenido de materia orgánica en el A1, el color del suelo en los horizontes A1 y A2, profundidad del lecho rocoso, profundidad de la zona de moteado y la relación de arcilla en los horizontes A1/ B2.

Berg, 1980 (citado por Flores , 1987) utilizó el análisis para determinar qué variables pedogenéticas discriminaban mejor para diferenciar suelos de diferente edad.

3. Descripción del área de estudio.

3.1. Localización.

El área de estudio se encuentra situada al NE de la Ciudad de Actopan en el estado de Hidalgo. Esta localizada entre los $20^{\circ} 12'$ y $20^{\circ} 23'$ de latitud norte y de los $98^{\circ} 47'$ a los $98^{\circ} 57'$ de longitud oeste. (fig. 3A); la mayor parte se ubica dentro de la sierra de Pachuca, localmente se le conoce como serranía de Actopan.

Comprende la mayor parte de los municipios de El Arenal, Actopan, Mineral del Chico y Atotonilco el Grande (carta topográfica SPP, 1983).

3.2. Geología.

La zona comprende varios grupos y formaciones geológicas. Está representada por el grupo Pachuca; se trata de rocas volcánicas de diferentes edades, de composición que va desde riolita a basalto con predominancia de andesita y dacita, localmente contiene arcilla, limo y caliza lacustre. Incluye las formaciones : El Doctor, Atotonilco el Grande, Zumate, las cuales se encuentran en los macizos montañosos que circunscriben el área.

Al NE de la zona de estudio y del periodo Cretácico Inferior se encuentra caliza marina en capas variables de gruesas a delgadas (formación El Doctor). En las partes altas de las sierras de Actopan y Pachuca se encuentran derrames de lava interstratificada del Plioceno con capas de brecha y toba, de composición andesítica. También del Plioceno, se encuentra material clástico predominante con lentes de caliza lacustre y ceniza volcánica integrada. Los sedimentos corresponden a la formación mencionada anteriormente, están compuestos de conglomerados, arenas, arcillas formadas por partículas erosionadas de las rocas volcánicas preexistentes (fig. 5) (Fries, 1962).

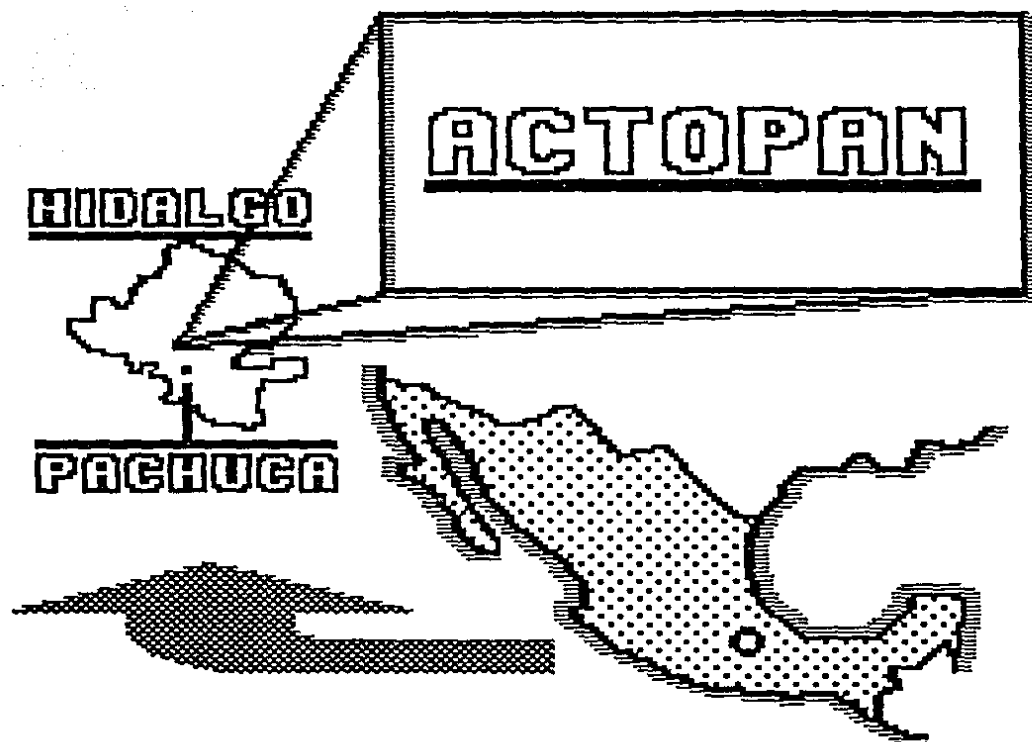


Fig. 3A. Mapa de Localizacion de la zona de estudio.

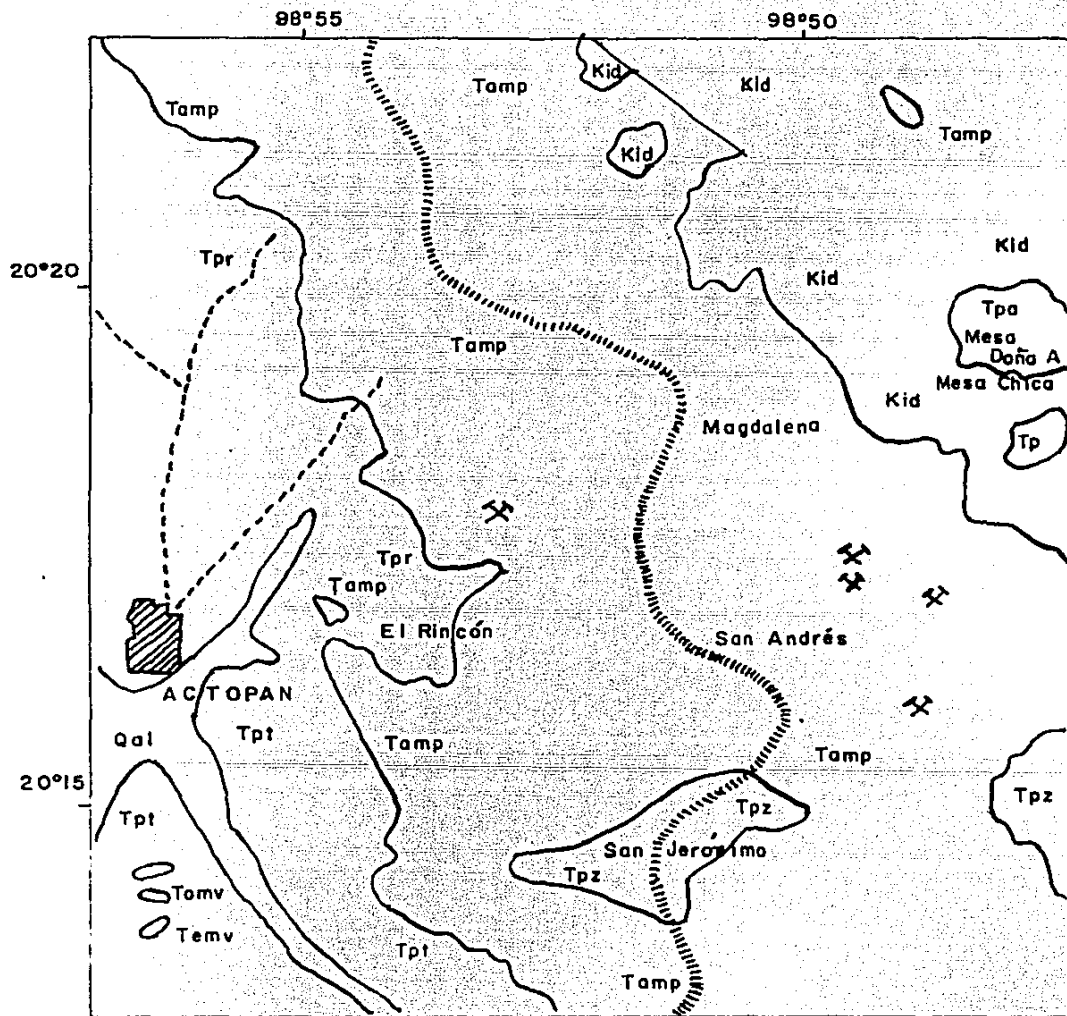


Fig. 5

Mapa Geológico de la Zona de Estudio

Esc. 1 : 100,000

Fuente: Inst. de Geología, UNAM. 1962.

Leyenda:

Qal: Rocas sedimentarias y volcánicas (aluvión y material clástico) del Pleistoceno.

Tpt: Formación Tarango. Material clástico predominante con lentes locales de caliza lacustre del Plioceno.

Tpa: Formación Atonilco el Grande. Material clástico con caliza lacustre del Plioceno.

Tpz: Formación Zumate. Derrames de lava interestratificada, con brecha y toba de composición andesítica del Plioceno.

Tamp: Grupo Pachuca. Rocas volcánicas de composición variable de riolita a basalto, con predominancia de andesita y dacita, localmente contiene arcilla, limo y caliza lacustre del Mioceno.

Kid: Formación El Doctor. Caliza marina en capas variables localmente contiene lentes y nódulos de pedernal y capas dolomíticas. Del Cretácico inferior.

Contacto. 

División hidrográfica. 

3.3 Hidrografía

La hidrología de la zona está formada por el río San Andrés, que baja de NE a SE de la zona de estudio. Por otro lado existen una serie de arroyos que forman parte del drenaje del área y que provienen de las partes más altas de la sierra. Otros cauces, son los escurrimientos que bajan hasta Actopan, de los cuales se alimentan algunos acueductos que están a las afueras y que abastecen a la zona de agua.

3.4 Fisiografía

La mesa neovolcánica, está situada por una planicie construccional localizada a más de 2,000 msnm. de la que sobresalen numerosos cerros, la mayoría de los cuales representan aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas y cenizas cuya composición litológica predominante es basáltica o andesítica.

La serranía de Actopan, forma parte de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y presenta algunas elevaciones que dentro del área de estudio, son de altura considerable: el cerro del Fraile (2,700 msnm), el cerro de San Andrés (2,500 msnm) y la zona de las Mecas (2,200 msnm), (Carta topográfica SPP, 1983).

3.5 Clima

En la mayor parte de la zona predomina el clima BS, denominado por Köeppen " clima estepario ". Por su localización y por el total de precipitación anual, el clima BS es intermedio entre los climas muy áridos BW y los húmedos A ó C con lluvias de verano con un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2. El mes mas caliente se presenta antes del solsticio de verano. La temperatura media anual es de 17.2°C y la precipitación media anual es de 458.5mm. El cociente P/T es mayor de 22.9 por lo que corresponde según la

clasificación de Koeppen modificada por García (1973) al clima BS kw''(i')g que corresponde a un clima seco, subtipo semiseco templado, con las características ya mencionadas (graficas 1 y 2).

Otro clima que se presenta en menor proporción en la parte NE de la zona de estudio es el que corresponde a las zonas más altas de la sierra. Es un clima templado húmedo (C), con temperatura media anual entre 12 y 18° C y la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm., el porcentaje de lluvia invernal oscila entre 5 y 10.2 de la anual, por lo que corresponde según la clasificación de Koeppen modificada por García (1973) al clima C (m) b i'g.

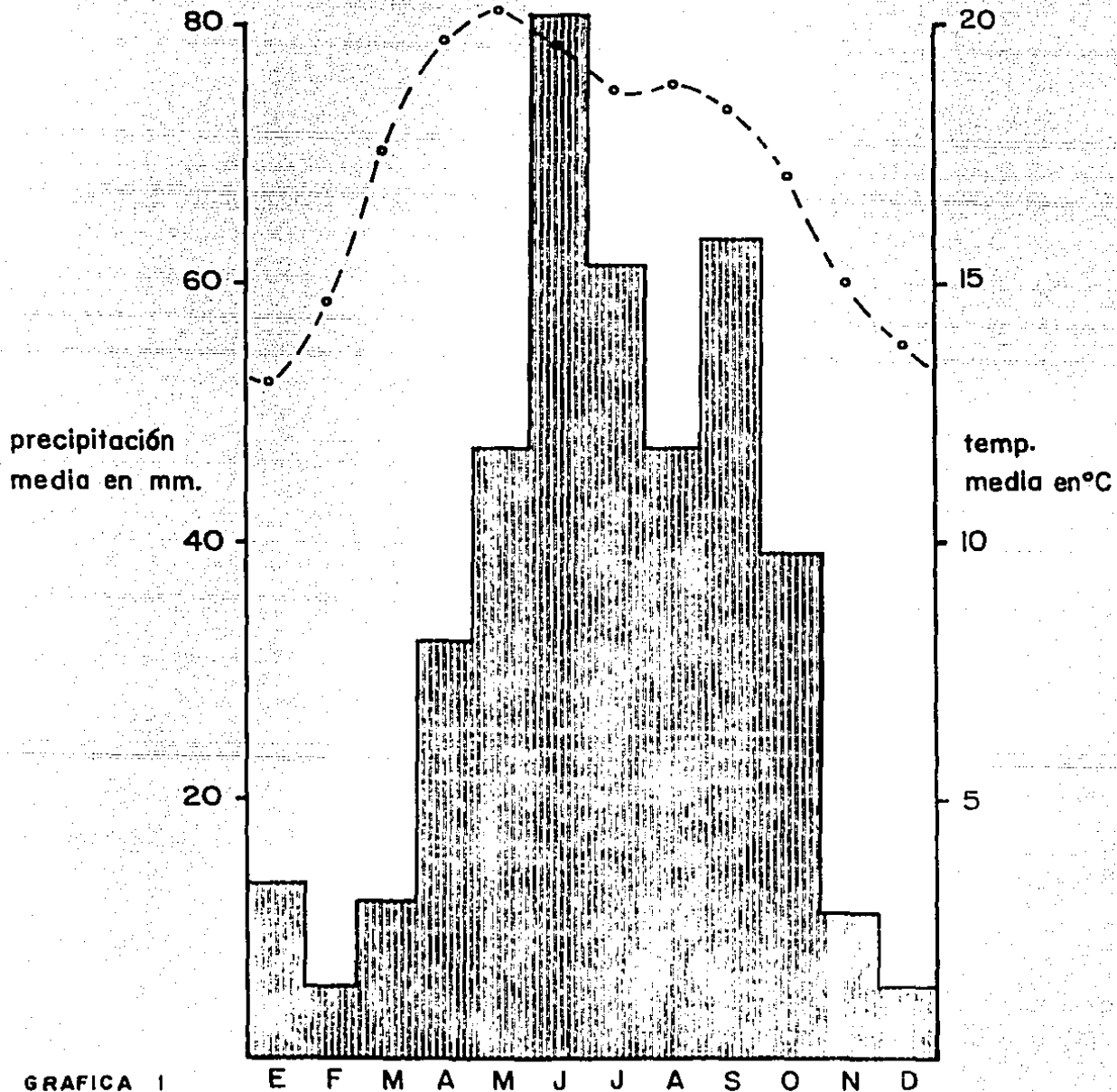
3.6 Vegetación

La vegetación de la zona comprende desde matorral hasta encinares. El matorral xerófilo cubre parte del estado de Hidalgo y en la vertiente del valle del Mezquital, forma una comunidad dominante, donde se encuentran especies como Flouencia cernua, Rhus spp, etc.

Hacia el NE de la zona de estudio y a una altitud promedio de 3,200 msnm, encontramos una comunidad arbustiva densa generalmente caducifolia de Quercus spp. (González Q.1968). Esta comunidad es característica de áreas climáticas intermedias entre los matorrales propios de clima árido y semi-árido y los bosques de clima semi-húmedo o sea en las áreas limitrofes de climas BS y Cw. Se caracteriza por ser variable en su altura, los mas bajos miden menos de 30 cm y van hasta 2.5 - 3 m de alto, por lo general la única planta leñosa de la comunidad, la constituye la especie dominante, que eneste caso se identificó como Quercus microphylla.

Dentro del área transicional entre el matorral, el bosque de Quercus y el bosque de Pinus, encontramos lo que Miranda y Hernández denominaron " bosque de escuamifolios ". Rara vez se les encuentra a menos de 1,500 msnm., son frecuentemente de

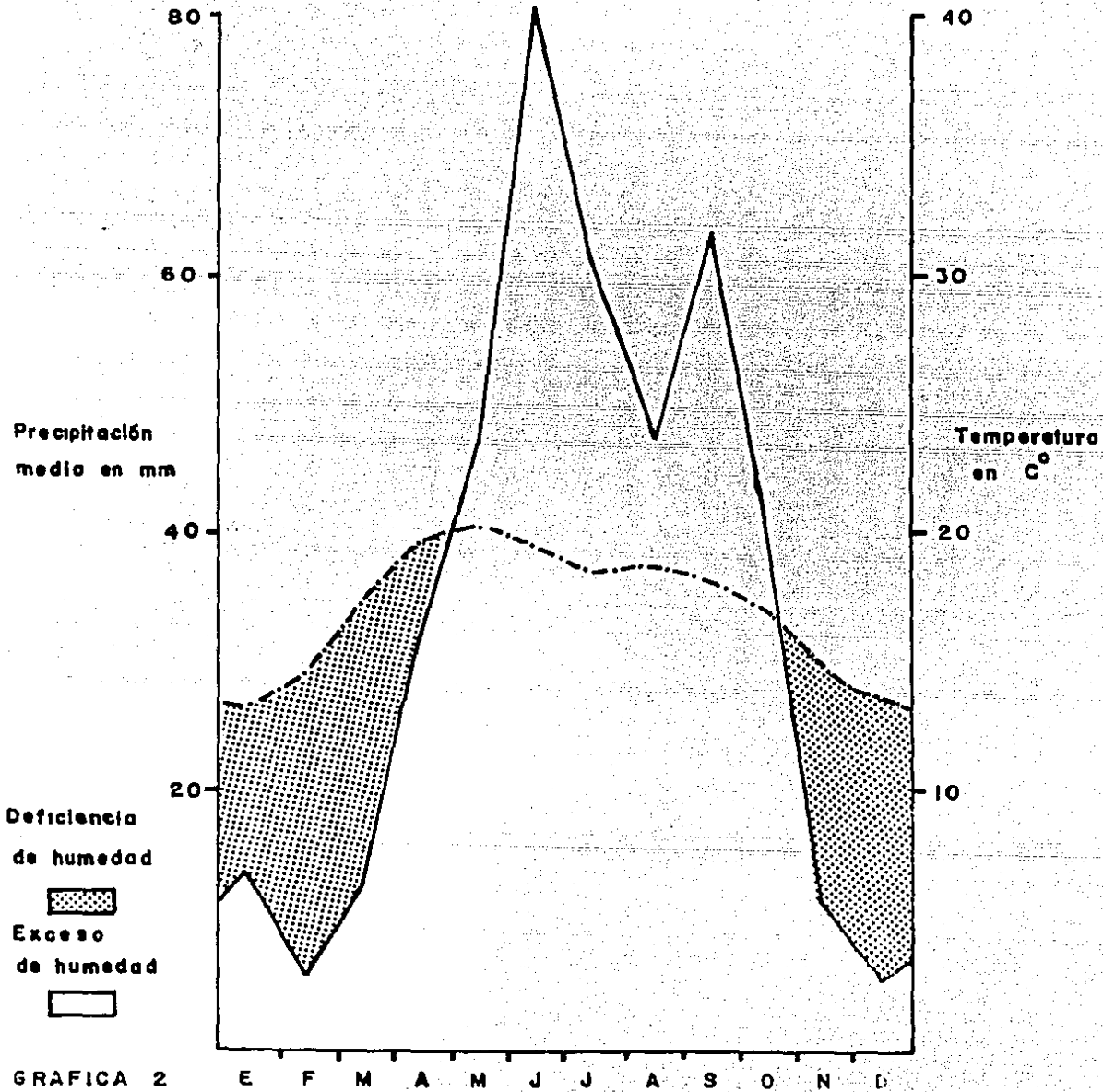
ESTACION ACTOPAN
periodo 1956 - 1986



GRAFICA 1

MARCHA ANUAL DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION

ESTACION ACTOPAN
Periodo 1956 - 1986



GRAFICA 2

CLIMOGRAMA DE LA ESTACION ACTOPAN

regiones limítrofes entre clima templado Cw y semi-árido. Muchos *Juniperus* se ven muy perturbados por el pastoreo y por la tala, como es el caso de *Juniperus flaccida* Schl y *Juniperus monticola* Martínez. forma compacta, que prosperan preferentemente por arriba del límite altitudinal de la vegetación arbórea, y que se ven muy afectados por los fenómenos mencionados anteriormente.

Finalmente se observaron algunos elementos del género *Pinus* identificándose como *Pinus cembroides* Zucc. muy cerca de los encinares (López y Muñoz, 1987).

3.7 Suelos

Los suelos de la zona de estudio comprenden: en la parte sur (San Andrés, Sn. Jerónimo y Fray Francisco), Feozem háplico y Cambisol húmico con texturas que van de gruesas a medianas. Alrededor de El Rincón: Feozem calcárico, Rendzina y Vertisol pélico, de textura arcillosa en fase dúrica profunda en interfluvios. Hacia el NE (Plomosas, Sta. Magdalena) se encuentran también Feozem háplico. Al Norte de la zona (Las Mecas, Benito Juárez) se presentan Rendzinas y Litosoles de textura media (Carta Edafológica Pachuca, SPP, 1983), (Fig. 4).

3.8 Criaderos Metalíferos

Existe un conjunto de criaderos metalíferos del Valle del Mezquital, que se localizan en su extremo NE, pues existen ahí formaciones geológicas propicias para la existencia de criaderos de esta naturaleza.

El conjunto de ellos constituye una zona mineralizada que se extiende de SE a NW en forma longitudinal a través de la sierra, situada en las inmediaciones de Tepenené, La Estancia, El Cardonal y El Santuario, siendo aproximadamente de 80 km en extensión. Esta zona forma parte de una región minera que cruza el estado de Hidalgo desde Pachuca hasta Jacala. En la

zona de estudio encontramos:

El grupo de criaderos metalíferos de Tepenené que se localizan en las faldas occidentales de la sierra conocida con el nombre de " los Organos de Actopan ". Predominan en esta zona, las rocas ígneas terciarias que están representadas por andesitas, dacitas y riolitas. Los criaderos de relleno argentífero, constituyen la prolongación hacia el oeste de las vetas del Mineral del Chico, con las que presenta notables analogías. Su rumbo general es de NW a SE con inclinación dominante al S y se encuentran abiertas en ellas pequeñas y numerosas minas que están actualmente abandonadas. Los laborios de la mayoría de las minas son superficiales y muchos de ellos se encuentran localizados en la zona de oxidación y convendría emprender exploraciones a profundidad, para conocer hasta donde se extiende esta zona y la naturaleza de los minerales que se encuentran debajo de ella.

Los yacimientos metalíferos de " Las Plomosas " ya no se encuentran contenidos en rocas ígneas, sino que se hallan en las calizas a cierta distancia de la zona de contacto entre estas rocas sedimentarias cretácicas y las andesitas terciarias de la región.

La producción de éstas fué en las épocas de mayor actividad de los trabajos, ya que se calcula se obtenían alrededor de 10 Ton diarias de minerales de naturaleza exclusivamente plumbíferos. Estos criaderos son de contacto y consisten en masas mineralizadas de forma irregular contenidas en calizas variando desde unos cuantos gramos hasta 300gr/Ton..

Por los resultados alcanzados con las obras de explotación y exploración ejecutados, se puede decir que las masas minerales que constituyen estos criaderos, son de pequeñas dimensiones y han producido un escaso tonelaje, que tal vez pudiera aumentarse con una explotación más sistemática, pero se sabe, que conociendo sus dimensiones no se puede esperar de ellos una abundante producción. (Flores , 1938).

4. Materiales y Metodos.

4.1. Trabajo de gabinete.

Para la consecución de este trabajo, se obtuvieron fotografías aéreas, escala 1:50 000, pancromáticas, blanco y negro, formato 23 x 23 cm voladas por CETENAL en 1978.

Se realizó fotointerpretación de la zona de estudio; tomando en consideración que se está evaluando un recurso que es afectado por numerosos fenómenos perturbadores (desmontes, pastoreo, etc).

Para poder cumplir con uno de los objetivos, se procedió a evaluar cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo.

Para conocer la Erosividad (R), se tomó como base el índice de Fournier, (FAO, 1980, Arnouldus, 1980, Ortiz S. y Estrada B, 1982). Se obtuvieron los datos de precipitación a partir de 1956 - 1986 y se aplicó la fórmula:

$$E = \frac{p^2}{p}$$

p^2 = precipitación mensual

p = precipitación media anual

para cada año con el objeto de establecer su variación, finalmente se consideró un promedio.

Para conocer la Erodabilidad (K), se usó el nomograma de Wischmeier (apéndice), con el cual es posible conocer el índice K a partir de 5 parámetros: por ciento de limo + arena fina (0.002-0.01), por ciento de arena (0.10 - 2.0 mm) por ciento de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad (Wischmeier et al 1971) los cuales fueron determinados en el laboratorio, excepto la estructura.

Para obtener la pendiente y su longitud, se utilizaron las cartas topográficas escala : 1:50 000 F 14 D 71 (Actopan) y F 14 D 81 (Pachuca) por medio de la siguiente fórmula :

$$\text{pendiente} = \frac{\text{distancia horizontal (cm)}^*}{\text{diferencia de altitud (cotas)}} \times 100$$

Como el proceso de evaluación está fuertemente influenciado por estas características, se consideró la longitud de la pendiente, como el punto a partir del cual se presenta la deposición esto es, del punto próximo más alto, al sitio de muestreo y en esta misma parte se consideró la pendiente.

Estos factores son considerados por algunos autores por separado, en este caso se considerarán juntos como factor LS y su valor se obtiene de la tabla dada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Handbook número 537) (apéndice).

La cobertura vegetal interviene modificando la erosión hídrica principalmente por el porcentaje en que cubre el suelo. Por desgracia muy pocos mapas botánicos indican este porcentaje, por lo que para obtener la cobertura se utilizaron fotografías aéreas escala 1:50 000, empleando la técnica de Moncayo et al (1970), por medio de medición de densidades de copa, observación que está muy ligada a la espesura de la masa arbórea representada en la imagen fotográfica. Esta es una de las mediciones indirectas mas frecuentemente usada en el modelo estereoscópico. Esta medición se realizó por comparación mediante gráficas de densidad, representada en porcentaje. Una vez conocido el porcentaje de cobertura se utilizó la siguiente tabla, de donde se obtiene el valor de C para ser usado con la EUPS.

El valor para el factor manejo (P) dentro de la EUPS no es considerado debido a que la zona no ha sido sometida a ningún tipo de manejo.

* ajustandolo a la escala

PORCENTAJE DE CUBRIMIENTO DEL SUELO

% de cubrimiento	0-1	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100
pradera, prados y pastos.	0.45	0.32	0.20	0.12	0.07	0.02
bosque con soto-bosque apreciable	0.45	0.32	0.16	0.18	0.01	0.006
bosque sin soto-bosque apreciable	0.45	0.32	0.20	0.10	0.06	0.01

Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos, (FAO, 1980)

Tabla 1 . Porcentaje de cubrimiento del suelo.

Para obtener el valor de pérdida de suelo en toneladas por hectárea se multiplicaron todos los factores antes obtenidos, es decir :

$\text{ton/ha} = R \times K \times LS \times C$ donde :

R = Erosividad de la lluvia. Índice de Fournier (1960)

K = Erodabilidad, medida con el nomograma de Wischmeier, (1971)

LS = longitud y grado de inclinación de la pendiente (USDA Handbook 537)

C = factor cobertura (Moncayo, 1970, FAO, 1980).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo da como resultado la cuantificación de la pérdida de suelo en ton/ha. Su aplicación puede realizarse tanto a nivel puntual como a grandes escalas. Las variaciones en la utilización de dicha ecuación se resumen al número de parámetros utilizados en el desarrollo del trabajo y el ajuste en el cálculo de otros, adecuándolos a las condiciones del lugar en que se utilizará la metodología y a la disponibilidad de información.

4.2. Trabajo de campo.

Se llevaron a cabo 23 perfiles muestreándose y describiéndose por horizontes, resultando de ello un total de 46 muestras.

Los criterios para escoger la ubicación de los perfiles fueron básicamente: material parental, la vegetación, pendiente, vertiente y geoforma.

A las muestras obtenidas, se les molió y tamizó (tamiz # 10) con el fin de prepararlas para los análisis de laboratorio. A su vez se separó muestra inalterada para el análisis de agregados estables al agua y de densidad aparente y también en caso de que fuera necesario repetir algún análisis.

4.3. Análisis de Laboratorio.

A las muestras de suelo colectadas se les hicieron los siguientes análisis:

Análisis Químicos

pH: Se determinó con un potenciómetro con electrodos de vidrio y calomel en una suspensión de suelo-agua relación 1:2.5 (Chapman, 1973).

Materia orgánica: Se determinó por el método de Walkley y Black que consiste en : una oxidación por digestión húmeda con ácido crómico (dicromato de potasio y ácido sulfúrico) - titulando el exceso de ácido con una solución reductora de sulfato ferroso $FeSO_4$ (Black, 1965 2a. parte)

Capacidad de intercambio catiónico total: Se determinó por el método de percolación que consiste en saturar el suelo con acetato de amonio pH 7 , eliminando el exceso de amonio mediante lavados con alcohol etílico. La

cuantificación del amonio se realizó por el método de destilación, recibiéndolo en ácido bórico y titulando con ácido sulfúrico (Chapman, 1973)

Cationes intercambiables : Fueron cuantificados en el extracto de percolación de la determinación de capacidad de intercambio, Ca^{++} y Mg^{++} por titulación con versenato (Cheng y Bray, 1951), el Na^{++} y el K^+ por flamometría (Reitemeier, 1973 citado por Richards, 1974)

Cationes solubles : Se cuantificaron en los extractos de la pasta saturada. Ca^{++} y Mg^{++} por titulación con versenato (Cheng y Bray, 1951), Na^+ y K^+ por flamometría (Richards, 1974).

Aniones solubles : se cuantificaron en los extractos de la pasta saturada: carbonatos y bicarbonatos por titulación con H_2SO_4 0.1 N; cloruros , por titulación con Nitrato de Plata (AgNO_3) 0.05 N ; Sulfatos por precipitación con Cloruro de Bario (BaCl_2) en medio ácido. (Jackson, 1981).

Fósforo aprovechable : Se hizo la extracción por el método Bray I y se determinó colorimetricamente por azul de molibdeno (Bray, 1945 citado por Black, 1965 2a. parte).

Aluminio Intercambiable: Se extrajo con una solución de cloruro de potasio 1 N y posteriormente se cuantificó por absorción atómica. (Walsh, 1971).

Análisis Físicos

- Color :** Se determinó en seco y en húmedo por comparación con tablas de Munsell (Munsell soil color chart, 1975).
- Textura :** Se realizó por el método del hidrómetro de Bouyoucos modificado por Villegas et al, (1977).
- Densidad aparente:** Se realizó por dos métodos : a) se utilizó una probeta de 10 ml relacionando peso y volumen del suelo (Am. Soc. for Test and Mat., 1958). b) utilizando el método del terrón con parafina. (Black, 1965 la parte)
- Densidad real :** Se utilizó el método del picnómetro, relacionando la masa total de partículas sólidas con su volumen (Black, 1965 la parte).
- Porosidad:** Se obtuvo relacionando la densidad real y la densidad aparente del suelo (Vomocil, 1966).
- Conductividad eléctrica :** Se midió en el extracto de la pasta de saturación con un puente de conductividad eléctrica (Phillips PR 9501), (Richards, 1974).
- Permeabilidad :** Se determinó por el método propuesto por Palmer (1977) y Forsythe (1975) el cual consiste en determinar el volumen de agua que pasa a través del suelo, en función del tiempo.
- Humedad higroscópica :** Se realizó calculando la cantidad de agua contenida en 100 g de suelo y sometido a un secado de 110°C durante 24 h en la estufa (Gavande, 1972).
- Punto de marchitez permanente :** Mediante la membrana de porcelana en ollas de presión a 15 atm . (Black, 1965 la parte).

Capacidad de campo: Mediante una olla de presión, se determinó la cantidad de agua que contiene un suelo mojado que ha dejado de drenar cuando se le aplica una presión de un bar (Gavande, 1979).

Agua aprovechable: Se obtuvo calculando la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Richards , 1954).

Agregados : La medida de los agregados estables al agua , fué determinada mediante la técnica de Yoder , usando 4 diámetros de tamices: 4.76, 2.0, 1.0, 0.5 mm (Black, 1965 la parte).

Segregación : Para segregar las arcillas, se efectuó el análisis común de textura (Villegas *et al*, 1977) y posteriormente por decantación cada 24 hs. se obtuvo la muestra, que posteriormente se seco a 40 °C en la estufa y una vez seca, se procedió a molerla en mortero de Agata, para los análisis de Difracción de Rayos X y microscopía electrónica.

Análisis mineralógico: Se efectuó a la fracción arcillosa de algunas muestras que se consideraron representativas. Primeramente se obtuvieron las arcillas por segregación y posteriormente se caracterizaron por difracción de Rayos X (Black *et al*, 1965 la. parte) con la utilización de un aparato para difracción de rayos X marca Phillips PW: 1080/ 25.

Microscopía electrónica : A la fracción arcillosa obtenida por segregación se le sometió a microscopía electrónica. para lo cuál las muestras fueron recubiertas con oro por medio de una ionizadora marca JEOL modelo JFC-1100. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM - 35c y un analizador de energía dispersiva marca TRACOR. Las fotografías se obtuvieron con 3 acercamientos 3900X, 5400X y 10000X

Mineralogía macroscópica: Se utilizó para la identificación de las muestras un microscopio petrográfico marca Carl Zeiss..

4.4. Análisis estadístico.

A los datos obtenidos se les proceso por medio del paquete de programas SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) aplicándoseles la técnica estadística "Análisis Discriminante.

5. Discusión de los Resultados.

Se discute en primer término los resultados obtenidos a partir de la información analizada en cuanto a Geología, ubicación de los sitios de muestreo, vegetación, análisis mineralógico, texturas, valores de ph, capacidad de intercambio, materia orgánica, etc.

En segundo lugar se discuten los sitios de muestreo agrupados en función de los 3 intervalos dados por FAO (1980), para la pérdida de suelo: a) primeramente en función del índice K cobertura, pendiente, longitud y

b) en relación con características como: porcentaje de agregación total, textura, mineralogía, materia orgánica e índice K.

Por último se discute el análisis estadístico realizado a los datos

5.1. Características Morfogenéticas de los suelos.

Las rocas andesíticas y dacíticas del Mioceno (Formación Pachuca) predominan en la zona de estudio. Las andesitas están compuestas principalmente por feldespatos sódicos; la ortoclasa y el cuarzo se encuentran en bajas proporciones y tienen hornblenda, augita y biotita. Las dacitas se distinguen por la presencia de minerales primarios: plagioclasas > augita > anfíbolos > biotita > cuarzo; minerales que se encontraron en menor proporción : feldespatos > calcita > epidota > minerales opacos.

La plagioclasa se presentó como fenocristales hasta de 5 mm de largo, intensamente alterados, la cual fue reemplazada parcialmente por feldespato potásico.

Del Plioceno y en menor proporción, materiales clásticos, ceniza volcánica y tobas (Formación Tarango). Abarcando también un área escasa, se encuentra la Formación El Doctor, la más

antigua, constituida basicamente por calizas de origen marino las cuales se encuentran formadas por minerales como la calcita, dolomita y aragonita del Cretácico Inferior (Fries, 1962) (figura No. 5)

La presencia del bosque de Quercus y Juniperus, está asociada con suelos relativamente profundos (de 46 a 170 cm. de profundidad) perfiles 4,5,6,8 y 19. Se asocian con procesos de erosión con diferentes ritmos de pérdidas de suelo, aspecto que se discutirá más adelante (Tabla 2).

De los 23 perfiles realizados, 10 de ellos se encuentran ubicados en la ladera de la serranía orientada hacia el Valle del Mezquital; 10 se localizan en el parteaguas Este, perteneciente a la cuenca del Golfo y los 3 restantes se ubicaron en el parteaguas propiamente dicho (Fig. 4). La zona ubicada en la porción Este del parteaguas, recibe una mayor precipitación 1,500 mm (El Chico); en comparación con la porción perteneciente al Valle del Mezquital, 458.5 mm (Actopan). Debido a ésto se deduce que los perfiles 1,2,9,10,11,18,21 y 22 sean los que menos humedad reciban ya que se encuentran entre los 2,200 y 2,400 m. de altitud dentro de lo que es la sombra orográfica del Valle del Mezquital.

El relieve de la zona de estudio es muy abrupto; va desde los 2,000 m. en Actopan, se eleva a los 2,600 m. en el pico Los Frailes, para luego descender hasta los 1,700 m. en el río San Andrés. El relieve y la geofoma influyen en la distribución del clima; variaciones debidas a la altitud repercuten en la vegetación, microclima, precipitación, nutrientes, etc. Las pendientes son muy pronunciadas; van de 10 a 40% en los sitios de estudio; la menor pendiente registrada fué de 5%, ya que los terrenos relativamente planos son muy escasos.

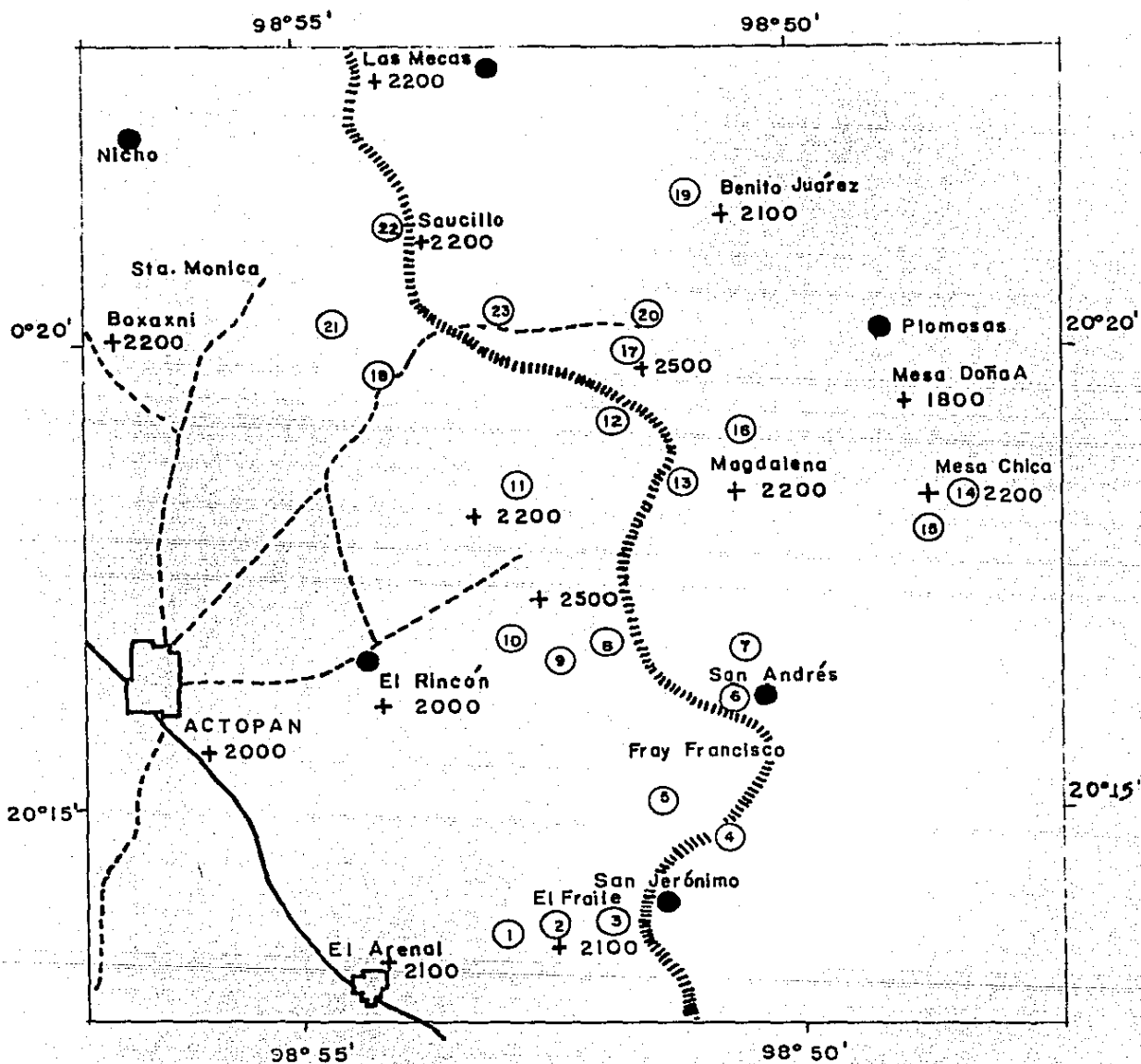
Las texturas detectadas en los suelos de la zona van de migajón arcilloso y franco a migajón limoso (ver apéndice); los contenidos de materia orgánica en los horizontes superficiales tuvieron rangos que van desde 0.85% en el perfil 16 hasta 11.50% en el perfil 8. Los valores de pH variaron desde 5.5 (ácido)

hasta 7.9 (ligeramente alcalino).

Para los suelos que se ubican en la porción más húmeda de la región de estudio, el orden de presencia de los cationes en el complejo de intercambio es, $Ca > Mg > Na > K$; en la porción más seca (oeste de la zona) en términos generales es $Ca > Mg > K > Na$. La menor presencia de Na y K en el complejo de intercambio, se debe a que normalmente es más rápida su remoción a causa de la mayor solubilidad de estos cationes. Por otro lado, las arcillas son responsables en buena medida de la abundancia relativa del Ca^{++} y Mg^{++} en el mismo complejo de intercambio debido a su mayor acción de masas (perfiles 4,6,7,8,9,10,13 y 14) (apéndice).

El contenido de materia orgánica y la arcilla son características muy importantes en el contexto de la acidéz de un suelo. Por ejemplo en el caso del perfil 3 el contenido de materia orgánica es moderado (1.6%) y muy alto en el perfil 8 (11.50%); en el primer perfil, el contenido de arcilla es bajo (10%), la capacidad de intercambio catiónico también es baja (19.50 meq/100g); el material caolinitico prevalece sobre la montmorillonita; la vegetación natural predominante es el matorral. En contraste, en el perfil 8, el contenido de materia orgánica en el horizonte A_0 es muy elevado (11.50%) y en el A_{11} es moderado (2.46%); la textura en el solum es franca (de 12 a 16.5% de arcilla); los valores de pH varían de 5.7 a 6.4; la capacidad de intercambio catiónico total es moderada (27.20 a 36.88 meq/100g) y la vegetación natural corresponde a un bosque de encino. Todos estos datos evidencian una relación perfectamente predecible desde el punto de vista morfogénico.

Estos mismos perfiles, el 3 y el 8, quedan ubicados en la vertiente del Valle del Mezquital (Fig. 4). Los estudios por difracción de rayos X realizados en material menor a 2 micras, nos indican predominancia de material caolinitico sobre la montmorillonita, seguidos por cuarzo, mica, cristobalita, feldspatos y en el 8, hematita (apéndice). El bosque de encino, el clima templado, el material parental andesítico (no



División hidrogáfica (parteaquas)
 Camino
 Poblado
 msnm

FIG. 4 LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

obstante ubicado en una pendiente del 15% aproximadamente), han permitido la existencia de un perfil un poco más desarrollado (perfil 8), con la presencia de los sub-horizontes A₀, A₁₁ y A₁₂ sobre un horizonte C muy alterado. Por otro lado, la difracción de rayos X, muestra también la existencia moderada de cuarzo así como bajas proporciones de feldespatos y todavía menos hematita. Aunque es baja la presencia de feldespatos parece ser que estos materiales, por la rapidez con que se intemperizan, son responsables en buena medida, de los contenidos relativamente altos de los limos.

Los difractogramas del perfil 15 (apéndice) muestran en el eje de las X (ángulo theta) alrededor del valor de 6.00, el pico característico para la montmorillonita con valores de 14.03, 14.03 y 13.60 de distancia interplanar respectivamente, que son indicativos de este tipo de arcilla. Los picos se observan de manera muy simétrica, lo cual indica cristales bien formados, que definen a la arcilla como tal. El segundo pico esta en 12.00 aproximadamente y para la muestra superficial (horizonte A) es ligeramente asimétrico hacia la izquierda y en los dos subhorizontes el pico no está bien definido, es asimétrico, lo que nos habla de la presencia de material caolínico en formación. (Brown, 1961)

En cuanto a la geoforma, estos sitios (perfiles 15 y 17) se ubican en un parteaguas; son por lo tanto, suelos in situ, en donde no existe arrastre y depositación; la acumulación y la translocación prácticamente no existen y en consecuencia, el desarrollo del suelo es muy escaso.

El análisis mineralógico (macroscópico) del perfil 16 mostró por ejemplo, la presencia de plagioclasas, hornblenda, magnetita-ilmenita, apatita, zircón, serpentina, calcedonia y óxidos de hierro; el cuarzo se detectó sólo en escasas cantidades, lo que demuestra un estado inmaduro del suelo.

Cantidades muy pequeñas de zircón fueron detectadas macroscópicamente en los perfiles 6, 16 y 21; se sabe que éste

mineral es uno de los más resistentes al intemperismo; por otro lado, la hematita y limonita, cuando dominan la fracción arcillosa, son indicio de que se trata de suelos con un estado avanzado de intemperismo. En contraste, la presencia de la biotita (perfiles 3, 6 y 21), hornblenda (perfiles 11, 16 y 18), apatita (perfiles 6, 11 y 19) sugieren la existencia de suelos poco desarrollados. Los perfiles 11, 14, 15 y 17 se caracterizan por la predominancia de la montmorillonita sobre el material caolínico y la cristobalita en la fracción arcillosa del suelo.

En el difractograma del perfil 11 (apéndice) se puede observar en el eje de las X (ángulo theta) alrededor del 6.00, el primer pico, el cual define la presencia de montmorillonita, mejor para el horizonte C que para la muestra superficial (horizonte A) y a lo largo del mismo eje, se puede identificar: cristobalita (21.00 *), feldespatos (24.00 *), cuarzo (26.00 *) y material caolínico en mucho menor proporción, ya que los picos no están bien definidos. Esto hace pensar en un estado de intemperismo más bajo que en aquellos suelos en donde la predominancia está dada por el material caolínico, como en los perfiles 3 y 8. (Brown, 1961)

En toda la zona de estudio en general, los contenidos de óxidos de hierro están presentes, aunque en bajas concentraciones, < 5%; se detectó la presencia de hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), ilmenita ($Fe Ti O_3$), limonita ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) y pirolusita ($Mn O_2$).

Excepto en el perfil 14, en todos los demás perfiles a los que se les realizaron pruebas por difracción de rayos X, microscopía electrónica y mineralogía macroscópica (apéndice), se les detectó presencia de óxidos de hierro, en cantidades muy bajas. La razón de ésta baja proporción, se debe a que la precipitación no es lo suficientemente abundante (458 mm) para facilitar una mayor presencia. Esto puede constatarse en los perfiles 3, 6, 8, 11, 15, 16, 18, 20 y 21.

* distancia interplanar.

Las rocas andesíticas, predominantes en la zona de estudio, se caracterizan por la presencia de feldespatos de la serie de la plagioclasa (perfiles 1, 3, 11, 16, 18 y 21) que se intemperizan más rápidamente que los de la serie de la ortoclasa; y presentan un alto contenido en bases y bajo en cuarzo.

El Ca^{++} bivalente de la plagioclasa no se ajusta bien a la estructura de cadena del feldespato, aunque satisface el desequilibrio de cargas mediante una sustitución considerable de silicio con aluminio. Por su parte el K^+ monovalente de la ortoclasa, se adapta bien al papel de satisfacción del menor desequilibrio de cargas, del menor intercambio de aluminio y silicio y se ajusta muy bien a los huecos de las cadenas de feldespatos. Así, la ortoclasa es más estable que la plagioclasa. (Buol et al, 1986).

La presencia de la calcita en los perfiles 4, 8 y 20, de piroxenos, anfíbolos y biotitas en los perfiles 3, 6 y 21, junto con los feldespatos, constituyen en conjunto los minerales más inestables en el índice de resistencia al intemperismo de las partículas minerales.

Probablemente la hematita y otros óxidos oscuros se han formado directamente por el intemperismo de minerales ferromagnesianos (perfiles 3, 6, 8, 11, 16, 18 y 20). La presencia de estos óxidos es siempre inferior al 5%; además de que su distribución es escasa.

La calcita se observó como un mosaico microcristalino en la matriz y como un mosaico de grano fino a medio, rellenando vetillas.

Los procesos del intemperismo en las geoformas de parteaguas están exentos de depositación, y sólo es posible un lento movimiento a través del perfil. Una consecuencia de este hecho es que se aumenta la concentración del Si y el Mg, lo que facilita la neo-síntesis de la montmorillonita (perfiles 15 y 17) (Buol et al, 1986)

La presencia de arenas gruesas en el suelo son indicios de que no han podido ser afectadas marcadamente por los procesos del intemperismo; además, son minerales resistentes a la degradación, la superficie de contacto es baja, por lo que su solubilidad es también menor. Las arenas de cuarzo (la mayor parte) se encuentran en proporciones relativamente significativas en los perfiles 3, 8, 16, 19, 20 y 21, cuyas texturas en su composición granulométrica van del 40 al 64% de arena (apéndice).

Los minerales con altos contenidos de bases hidrolizables se intemperizan más fácilmente, ya que las capas de Si-Al tienen un efecto estabilizador, debido más que nada a la liga tetraédrica que da el Si (Buol et al, 1986) (por ejemplo, perfiles 3 y 8); por lo tanto, la estructura 1:1 (caolinitica) es más resistente al intemperismo que la arcilla 2:1 (montmorillonita), ya que ésta posee bases hidrolizables que la hacen más inestable; por ejemplo, en los perfiles 11, 14, 15 y 17.

El clima y el tiempo han reflejado en la zona de estudio una distribución secuencial básicamente de dos tipos de arcilla que reflejan la etapa del intemperismo del material parental y en consecuencia en la morfogénesis del suelo. En éste caso hay una intergradación entre el material caolinitico y la montmorillonita, mostrando variaciones y predominancia de una y otra, propiciadas por variables ambientales locales y externas o probablemente por algunos efectos de intemperismo geoquímico.

5.2. Pérdida de suelo.

Se obtuvieron datos de pérdida de suelo en toneladas por hectárea para cada sitio de muestreo. Existen diversos factores que influyen de manera directa en la pérdida de suelo, teniéndose datos muy diversos dependiendo de condiciones específicas (Tabla 2).

El factor R (erosividad) se obtuvo a partir de los datos climatológicos de la estación Actopan, para el periodo 1956-1986; esto es con el fin de conocer la variación y la influencia de este factor cuando los demás son constantes, esto se puede apreciar en las gráficas 3 y 4 en las cuales se puede observar que los años del 58 al 60 y del 73 al 75 hubo una mayor precipitación con respecto a los demás. Los años de menor precipitación fueron 1964, 1972 y 1982, lo que se refleja en una menor pérdida de suelo. El valor de R considerado para el estudio fué de 70.62.

En la zona de estudio, se tienen datos que van desde erosión nula o ligera (< 10 ton/ha), erosión moderada (10-50 ton/ha) y erosión alta (50 - 200 ton/ha). Con base en los intervalos anteriores, se agruparon los sitios en su nivel correspondiente (Tabla 2).

Corresponden a erosión nula o ligera los sitios 13,5 y 17. El sitio 13 además de presentar un valor bajo del factor K (0.16) presenta una pendiente de sólo 5%, lo que aunado a un 80% de cobertura le otorga el valor más bajo en pérdida de suelo en toneladas por hectárea (1.41).

Este es un ejemplo claro de la influencia de la pendiente más la cobertura, ya que valores bajos de pendiente (común en valles, llanos y planicies), combinado con altos porcentajes de cobertura, dan como resultado bajas pérdidas de suelo.

Los sitios 5 y 17 presentan 7.77 y 10.59 ton/ha de pérdida de suelo respectivamente. Estos valores coinciden con

Tabla 2. Intervalos de erosión.

EROSION DE NULA A LIGERA (0 = 10 Ton/Ha).

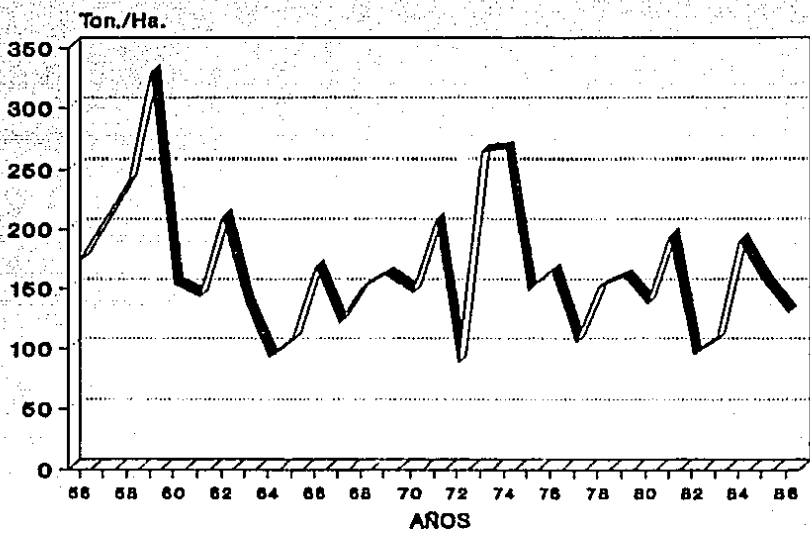
Sitio	K	Cobertura	Pendiente	ton/ha
13	0.16	80%	5%	1.41
5	0.38	75%	33%	7.77
17	0.11	80%	26%	10.59

EROSION DE LIGERA A MODERADA (10 = 50 Ton/Ha).

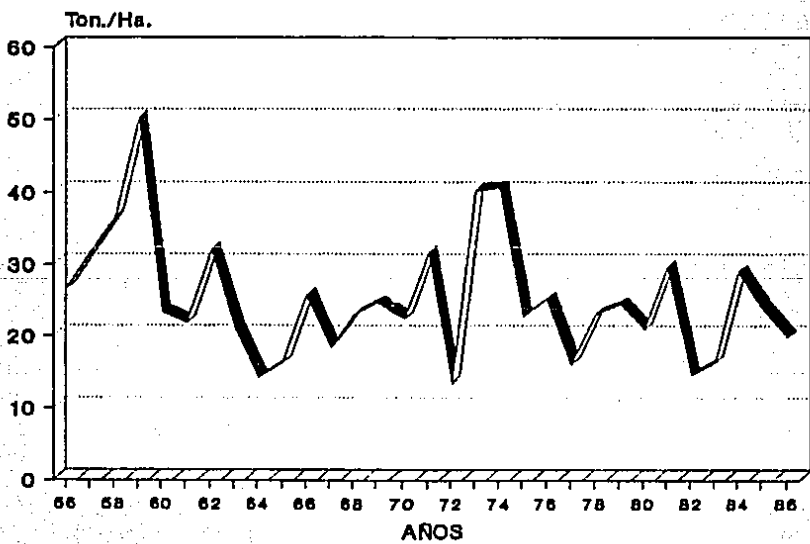
Sitio	K	Cobertura	Pendiente	ton/ha
21	0.22	80%	20%	12.01
8	0.23	45%	12%	12.71
11	0.11	5%	12%	19.07
19	0.22	80%	24%	24.72
4	0.23	35%	20%	31.07
10	0.18	10%	10%	33.90
22	0.42	80%	20%	35.31
20	0.26	20%	17%	36.72
23	0.25	80%	33%	39.55
14	0.30	10%	10%	47.32

EROSION DE MODERADA A ALTA (50 = 200 Ton/Ha).

Sitio	K	Cobertura	Pendiente	ton/ha
16	0.22	18%	16%	59.32
9	0.20	15%	16%	63.56
3	0.18	15%	20%	65.68
18	0.10	10%	27%	69.92
6	0.32	45%	24%	73.45
1	0.19	10%	30%	96.75
7	0.31	20%	28%	105.23
15	0.12	7%	28%	106.64
12	0.24	18%	34%	162.43
2	0.29	5%	20%	165.96



Gráfica 3. Pérdida de suelo en ton./ha.(1956-1986). Sitio 12



Gráfica 4. Pérdida de suelo en ton./ha.(1956-1986). Sitio 19

su alto porcentaje de cobertura (80%), lo que favorece la intercepción de la lluvia y por lo tanto se presenta un decremento en el escurrimiento, además las raíces de las plantas promueven la agregación y porosidad, lo que facilita la infiltración y disminuye el riesgo de erosión (Morgan,1979).

Los sitios 21, 8 y 11 son los que presentan valores mas bajos dentro del intervalo de pérdida moderada (10 - 50 ton/ha). En cuanto a los sitios 21 y 8 su cobertura es muy heterógena (80 y 45% respectivamente); sin embargo el valor de susceptibilidad a la erosión es casi el mismo (0.22 y 0.23) y su pendiente es ligera (12 %) explicando esto la cifra obtenida. El sitio 11 tiene un valor promedio relativamente bajo de pérdida de suelo (19.07 ton/ha) a pesar de su bajo valor de cobertura (5%) esto puede deberse a un bajo valor de erodabilidad (0.11).

El sitio 19, con 24.72 ton/ha de pérdida promedio anual y con un alto porcentaje de cobertura (80%), presenta un valor medio de erodabilidad (0.22).

Los sitios 4,10,22,20 y 23 van desde 31.07 hasta 39.55 ton/ha. El valor mas alto del factor K corresponde al sitio 22 (0.42); sin embargo, la pérdida se compensa con un buen porcentaje de cobertura (80%) . Le siguen los sitios 20,23 y 4, con valores de erodabilidad de 0.26, 0.25 y 0.23 respectivamente. El sitio 20 presenta un bajo valor de cobertura (20%), y una pendiente poco pronunciada (17%) lo que contrarresta la pérdida de suelo.

Es importante señalar que cada factor, aporta o no a la pérdida de suelo. Asi por ejemplo un indice K de .42 (sitio 22) es significativo al igual que una pendiente del 20%, sin embargo en este caso la cobertura ejerce una fuerte influencia en la retención del suelo a pesar de los valores de K y de la pendiente.

El sitio 23 presenta un alto porcentaje de cobertura (80%), que se ve afectado en su valor por una pendiente del 33%.

El sitio 4 presenta el valor más bajo de pérdida de suelo del intervalo mencionado, esto puede deberse a que, aunque su valor de cobertura (35%) no es muy alto, presenta un valor de erodabilidad y de pendiente (0.23 y 20 % respectivamente) medio.

El sitio 10 tiene muy poca cobertura (10%) y un valor relativamente bajo de erodabilidad (0.18) lo que lo haría susceptible a erosionarse, sin embargo, la pendiente es favorable para contrarrestar la poca cobertura y el valor de erodabilidad.

El último sitio dentro del intervalo de pérdida moderada, es el sitio 14 con 47.32 ton/ha que probablemente se deba a la poca cobertura (10%) y a un valor considerable de erodabilidad (0.30), sin embargo, la pendiente no es muy pronunciada (10%).

Dentro del intervalo de erosión alta (50-200 ton/ha) se agruparon los sitios en dos grupos: El primero va de 59 a 73 ton/ha y abarca los sitios 16, 9, 3, 18 y 6 en orden ascendente de pérdida. Los sitios 16, 9 y 3 presentan valores similares de cobertura (18, 15 y 15%) así como de pendiente (16, 16 y 20%) respectivamente, aunado a sus valores de erodabilidad, que presentan muy poca oscilación (De 0.22 a 0.18) sus valores de pérdida de suelos van de 59 a 65 ton/ha.

Los sitios 18 y 6 a pesar de contar con valores de pérdida de suelo muy cercanos (70 y 73 ton/ha) presentan características muy dispares. El sitio 18 carece de un alto porcentaje de cobertura (10%) y presenta una fuerte pendiente (27%), estos factores se ven contrarrestados por un muy bajo valor de erodabilidad lo que influyó directamente en que la pérdida fuera mayor. Por el contrario el sitio 6 presenta un valor muy alto de erodabilidad (0.32) y a su vez una pendiente considerable (24%), sin embargo los efectos de estos factores se aminoran por la cobertura (45%).

El segundo grupo va de las 96 a las 165 ton/ha que corresponde a los sitios 1, 7, 15, 12 y 2. Los valores de erodabilidad son considerables exceptuando el sitio 15, por lo que son sitios susceptibles a la erosión; éstos coinciden con lugares en los que la pendiente es muy pronunciada (28 a 34 %), lo que va directamente relacionado con los altos valores obtenidos de pérdida de suelo y a su vez con los datos de cobertura los cuales son bajos.

Es importante aclarar que se trata de datos obtenidos de manera indirecta, por lo que solo pueden considerarse como una aproximación. Se obtienen mejores estimaciones a partir de mediciones directas en parcelas de escurrimiento con largos periodos de observación y si se reúnen las condiciones adecuadas para el establecimiento de la parcela. Buenas estimaciones se obtienen con simulador de lluvia, ya que reflejan directamente el patrón de frecuencia de la localidad. Es evidente que el costo en este tipo de trabajos se eleva por el equipo y tiempo que se requiere.

Ahora bien, los grupos fueron obtenidos con base en los factores relacionados con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. A continuación se discutirán algunos perfiles representativos de cada intervalo de erosión, en función de algunas características morfogénicas importantes como: el material parental, la mineralogía, la textura, la materia orgánica, la agregación y por otro lado el factor K.

Grupo de Erosión Baja.

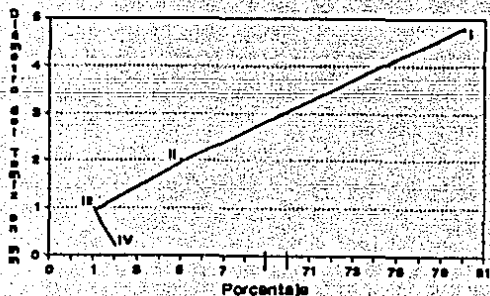
Estos perfiles derivados de andesita y riolita presentan características muy diferentes.

El perfil 13 es un suelo mas desarrollado pues hay presencia de un horizonte B, lo que denota una mayor evolución del mismo, a diferencia del perfil 5 en el cual hay un desarrollo incipiente del horizonte B, siendo por lo tanto menos evolucionado (Tabla 3)

En lo que respecta a la textura, el perfil 13 es franco arcilloso, lo que resulta en un buen porcentaje de agregación total. Se sabe por estudios realizados por Morgan, 1971 (Kirkby y Morgan, 1984), que los suelos que contienen de 30 a 35% de arcilla son por lo general coherentes y forman agregados estables. Por el contrario el perfil 5 presenta una textura franca con baja proporción de arcilla, lo que aunado a bajos porcentaje de materia orgánica (horizonte A12 y A-B) presentando una agregación pobre (Tabla 3).

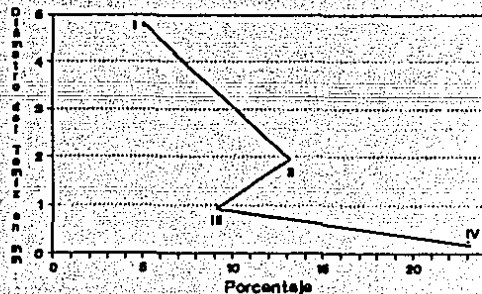
En este caso ambos perfiles presentan una buena agregación superficial, teniendo para el perfil 13 (horizonte A), la mayor proporción de agregados en el diámetro I (4.76 mm), (gráfica 5), y para el perfil 5, la mayor proporción en el diámetro IV (0.25 mm), (gráfica 6) como se observa en las siguientes gráficas:

Distribución y porcentaje de agregados.



Gráfica 5. Muestra 27.

Distribución y porcentaje de agregados.



Gráfica 6. Muestra 8.

Por otro lado, la erodabilidad aumenta con la profundidad del perfil a medida que la agregación y la materia orgánica disminuyen, dando por resultado una pérdida de suelo muy baja (Tabla 3).

El perfil 5 presenta una textura franca con muy bajos porcentajes de arcilla, lo que coincide con bajos porcentajes de materia orgánica y por lo tanto una agregación pobre (excepto el horizonte A11); esto nos lleva a valores de erodabilidad considerables que pudiera esperarse favorecieran para obtener valores de pérdida mas altos, sin embargo, no hay que olvidar que además de estas características, está el medio abiótico en donde como ya se discutió, la pendiente, cobertura vegetal y factores climáticos tienen una gran influencia.

Tabla 3. Grupo de Erosion de Nula a Ligera.

Perfil	Solum	M. Parental	Arena %	Limo %	Arcilla %	M. Organica %	Agregados % acumul.	K	Pérdida Ton./ha.
13	A	andes.-riol.	30	37	33	5.6	88.1	0.16	1.41
	B		36	27	37	1.6	79.9	0.24	
	BC		40	32	28	0.9	54.1	0.26	
5	A11	andes.-riol.	39	49	12	2.1	50.9	0.38	7.77
	A12		50	42	5	0.4	13.0	0.44	
	AB		47	43.5	9.5	0.3	14.6	0.33	

Leyenda:

andes = andesita

riol = riolita

Tabla 3. Grupo de Erosion de Nula a Ligera.

Perfil	Solum	M. Parental	Arena %	Limo %	Arcilla %	M. Organica %	Agregados % acumul.	K	Pérdida Ton./ha.
13	A	andes.-riol.	30	37	33	5.6	88.1	0.16	1.41
	B		36	27	37	1.6	79.9	0.24	
	BC		40	32	28	0.9	54.1	0.26	

Por otro lado, la erodabilidad aumenta con la profundidad del perfil a medida que la agregación y la materia orgánica disminuyen, dando por resultado una pérdida de suelo muy baja (Tabla 3).

El perfil 5 presenta una textura franca con muy bajos porcentajes de arcilla, lo que coincide con bajos porcentajes de materia orgánica y por lo tanto una agregación pobre (excepto el horizonte A11); esto nos lleva a valores de erodabilidad considerables que pudiera esperarse favorecieran para obtener valores de pérdida mas altos, sin embargo, no hay que olvidar que además de estas características, está el medio abiótico en donde como ya se discutió, la pendiente, cobertura vegetal y factores climáticos tienen una gran influencia.

Tabla 3. Grupo de Erosion de Nula a Ligera.

Perfil	Solum	M. Parental	Arena %	Limo %	Arcilla %	M. Organica %	Agregados % acumul.	K	Pérdida Ton./ha.
13	A	andes.-riol.	30	37	33	5.6	88.1	0.16	1.41
	B		36	27	37	1.6	79.9	0.24	
	BC		40	32	28	0.9	54.1	0.26	
5	A11	andes.-riol.	39	49	12	2.1	50.9	0.38	7.77
	A12		50	42	5	0.4	13.0	0.44	
	AB		47	43.5	9.5	0.3	14.6	0.33	

Leyenda:

andes = andesita

riol = riolita

Tabla 3. Grupo de Erosion de Nula a Ligera.

Perfil	Solum	M. Parental	Arena %	Limo %	Arcilla %	M. Organica %	Agregados % acumul.	K	Pérdida Ton./ha.
13	A	andes.-riol.	30	37	33	5.6	88.1	0.16	1.41
	B		36	27	37	1.6	79.9	0.24	
	BC		40	32	28	0.9	54.1	0.26	

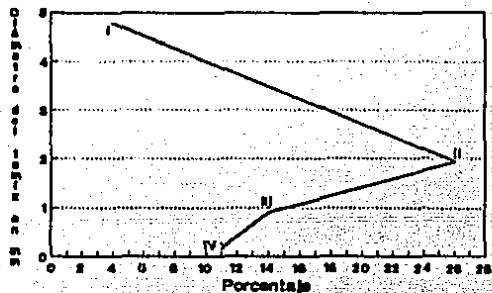
Grupo de Erosión Moderada.

Se puede observar que la arcilla es la fracción que se encuentra en menor cantidad (tabla 4).

Las arenas y las arenas limosas de textura gruesa no se erosionan tan fácilmente ya que tienen altas tasas de infiltración, tal es el caso de los perfiles 8 y 19.

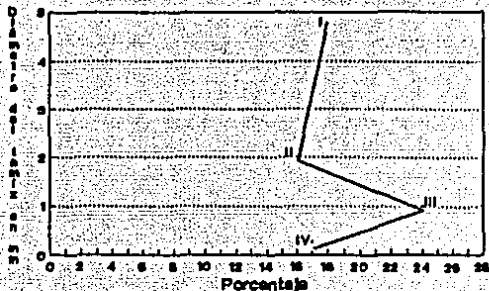
El porcentaje de agregados disminuye con el decremento de materia orgánica y la profundidad, sin embargo la mayor proporción de agregados varía, por ejemplo: en el perfil 8 (horizonte Ao) se encuentran en el diámetro II (2.00 mm), (Gráfica 7). En el perfil 14, están en el diámetro III (1 mm), (Gráfica 8). Y, por el contrario, en el perfil 19 (horizonte A), la mayor proporción está en el diámetro I (4.76 mm), (Gráfica 9), este alto porcentaje de agregación es debido a una buena proporción de arcilla.

Distribución y porcentaje de agregados.



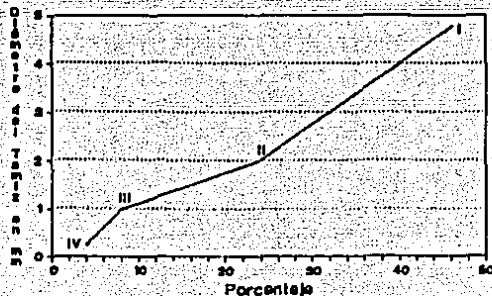
Gráfica 7. Muestra 17.

Distribución y porcentaje de agregados.



Gráfica 8. Muestra 30.

Distribución y porcentaje de agregados.



Gráfica 9. Muestra 37.

Esta variabilidad en la mayor proporción de agregados en diferentes diámetros es debida a la relación existente entre la arcilla, la materia orgánica, así como la presencia de geles cementantes que son los causantes de la agregación. Estos provienen de la descomposición de la materia orgánica, y de las secreciones de organismos y raíces etc. (Greenland, 1971, citado por Kirkby y Morgan, 1984).

Bajo condiciones de campo, la montmorillonita tiende a hincharse más que las arcillas de proporción 1 : 1, resultando de ello una mayor susceptibilidad a la erosión, en este caso el perfil 8 tiene una menor pérdida de suelo en relación al 14 donde predomina la montmorillonita.

Por otro lado el índice de erodabilidad varía de 0.19 hasta 0.43, y disminuye a medida que profundizamos en el perfil y en proporción al decremento en la materia orgánica. Suelos con menos del 2% de materia orgánica se consideran erosionables en los Estados Unidos (Smith et al, 1954, Citado por Kirkby y Morgan, 1984).

Tabla 4. Grupo de Erosion de Ligera a Moderada.

Perfil	Solum	M. Parental	Mineralogía	Difracción Rayos X	Arena %	Limo %	Arcilla %	M. Organica %	Agregados % acumul.	K	Pérdida Ton./Ha.
8	Ao	andes-riol	calc > c	k > m > cri	46	42	12	11.5	56.2	0.23	12.71
	A11			k > m > c	38	46	16	2.4	36.5	0.31	
	A12			k > m > f	44	40	17	0.4	35.1	0.43	
14	A	caliza	caliza>calc>arag	m > k > c	26	58	16	7.5	77.8	0.30	47.31
19	A	andes	c		49	31	20	3.4	82.6	0.22	24.78
	B	riol	calc > c		23	32	45	2.1	61.9	0.19	

Leyenda:

andes = andesita k = mat. caolínitico
riol = riolita m = montmorillonita
calc = calcita cri = cristobalita
c = cuarzo f = feldespatos
arag = aragonita

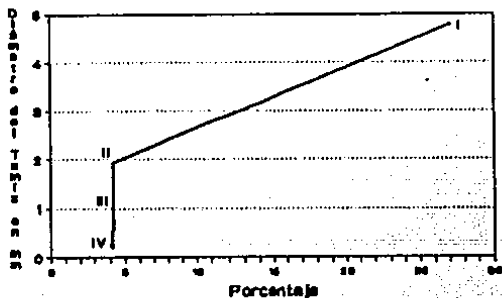
Grupo de Erosión Alta.

Desde el punto de vista de la pérdida de suelo, la mineralogía y la textura de los mismos adquieren gran importancia.

El intemperismo de la andesita, riolita y caliza, han originado texturas que van desde migajón arenoso, migajón limoso hasta migajón arcilloso (en menor proporción) (ver apéndice)

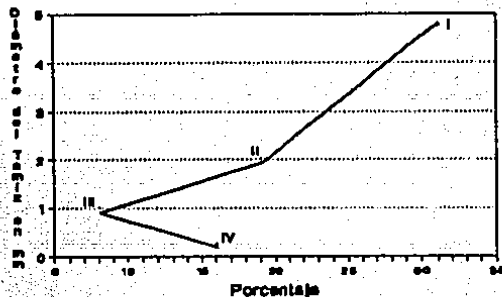
El porcentaje total de agregación fué considerable si observamos la proporción de arcillas presentes en cada perfil; es notorio que en donde hubo mayor porcentaje de arcillas (perfil 15 - Tabla 5), la agregación fué mayor. En cuanto al tamaño de los agregados de las muestras superficiales, estuvieron representados en mayor proporción 3 diámetros: el I (4.76 mm) en los perfiles 3 y 15 (gráfica 10 y gráfica 11) el II (2.0 mm) en los perfiles 6 y 7 (graficas 12 y 13) y el IV (0.25 mm) en los perfiles 1 y 2 (graficas 14 y 15) como puede observarse en las siguientes gráficas:

Distribución y porcentaje de agregados.



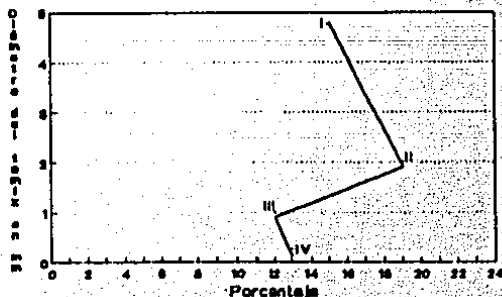
Gráfica 10. Muestra 4.

Distribución y porcentaje de agregados.



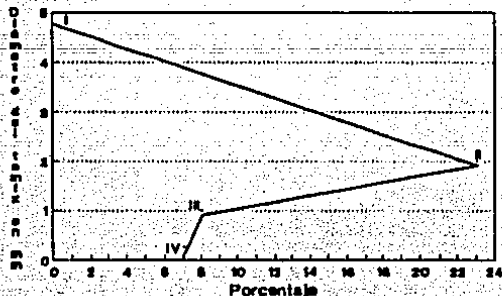
Gráfica 11. Muestra 51.

Distribución y porcentaje de agregados.



Gráfica 12. Muestra 11.

Distribución y porcentaje de agregados.



Gráfica 13. Muestra 10.

Distribución y porcentaje de agregados.

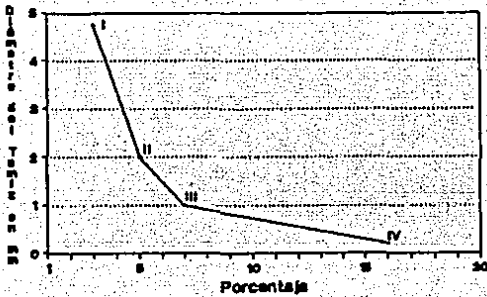


Gráfico 14. Muestra 1

Distribución y porcentaje de agregados.

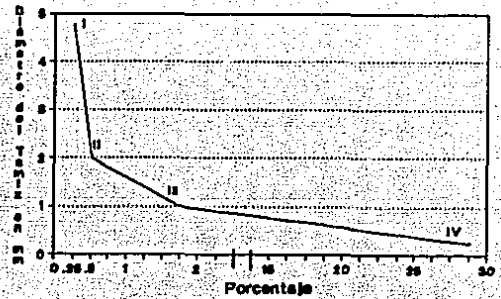


Gráfico 15. Muestra 2

La formación y degradación de agregados estables al agua, comprende complejas interrelaciones físicas, químicas y biológicas, de ahí la variación que ejercen estos factores en el tamaño de los agregados (Chesters et al, 1957).

El índice K va de bajo a moderado para la capa superficial (0.19-0.36) y aumenta a medida que profundizamos en el perfil, sin embargo se sabe que éste valor puede disminuir dependiendo de la textura y estructura del subsuelo. A su vez, la erodabilidad tiende a disminuir a medida que aumenta la materia orgánica. Cuando la materia orgánica excede a 4% no se sabe exactamente como se comporta el factor K (Wischmeier et al 1971). Sin embargo Trott y Singer (1983), afirman que pasando el 4% la erodabilidad se estabiliza.

Para los perfiles 3,6 y 1, la plagioclasa predominó sobre la ortoclasa y el cuarzo, esto debido a una predominancia de Ca^{++} y H^+ en el complejo de intercambio (pH 5.5 - 6.2). Estos suelos se distinguen por la presencia de horizontes A únicamente, lo que denota el escaso desarrollo del suelo. (Tabla 5)

La montmorillonita predomina sobre el material caolinitico en el perfil 15, y debido a su estructura (2:1), es mas susceptible a erosionarse que el material caolinitico del perfil 3, el cual se dispersa en menor grado provocando menor pérdida (relativamente).

Tabla 5. Grupo de Erosion Alta.

Perfil	Solum	N. Parental	Mineralogia	Difraccion Rayos X	Arena %	Limo %	Arcilla %	M. Organico %	Agregados % acumul.	K	Pérdida Ton./Ha.
3	A	caliza	plag > c	k > m > ml	64	26	10	1.6	42.9	0.18	65.68
6	A0	andes.-riol.	plag > orto		35	55	10	7.5	59.7	0.32	73.45
	A11		plag > c > orto		34	54	12	1.3	48.0	0.49	
	A12		plag > c > biot		35	55	10	0.7	28.8	0.56	
1	A	andes.-riol.	plag > orto		53	34	13	3.8	33.66	0.19	96.75
7	A11	andes.-riol.			34	47	19	2.9	37.7	0.36	105.23
	A12				34	51	15	1.2	90.9	0.50	
15	A	andes.-riol.		m > k > c	30	33	37	3.7	73.1	0.12	106.64
	B			m > k > c	22.5	30.5	47	0.8	77.6	0.24	
	BC			m > k > c	18	51.5	30.5	0.3	45.7	0.47	
2	A	dacita			40	35	25	1.3	28.8	0.29	165.96

Leyenda:

andes = andesita k = mat. caolinitico
riol = riolita m = montmorillonita
plag = plagioclasa ml = mica
orto = ortoclasa biot = biotita
c = cuarzo

5.3. Análisis Estadístico de la Información.

Después de haber obtenido toda la información, se procedió a analizarla haciendo uso del paquete de programas SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Dentro de este paquete se encuentran varios programas o subprogramas diseñados para análisis multivariado.

El análisis estadístico utilizado fué Análisis Discriminante, y se utilizó unicamente con los datos obtenidos a partir del horizonte superficial, esto debido a la heterogeneidad en cuanto a la profundidad de los perfiles.

Esta técnica se lleva a cabo porque se desea distinguir estadísticamente 2 ó mas grupos de casos. Estos "grupos " están definidos por una situación particular de investigación.

Las variables " discriminan " entre grupos de casos y predicen dentro de cuál categoría o grupo caen, basado en los valores de estas variables. El análisis discriminante comprueba la veracidad de las agrupaciones dadas a priori.

En este caso, los grupos dados a priori fueron los obtenidos en el cálculo de pérdida de suelo en toneladas por hectárea y son los siguientes:

GRUPO	GRADO DE EROSION	SITIOS
1	de nula a ligera 0-10 ton/ha	13,5,17
2	de ligera a moderada 10-50 ton/ha	4, 8,10,11,14 19,20,21,22,23
3	de moderada a alta 50-200 ton/ha	1,2,3,6,7,9,12 15,16,18

Para este análisis se escogieron algunas variables por considerarse que influyen en el proceso erosivo, éstas pasaron a constituir las variables de estudio:

- V1 por ciento de arena (.05 - 2.0 mm)
- V2 por ciento de limo
- V3 por ciento de arcilla
- V4 densidad aparente
- V5 porosidad
- V6 materia orgánica
- V7 permeabilidad
- V8 limo + arena fina
- V9 arena uno (.10 - 2.0 mm)
- V10 tamiz 1 (4.76 mm o)
- V11 tamiz 2 (2.0 mm o)
- V12 tamiz 3 (1.0 mm o)
- V13 tamiz 4 (0.25 mm o)
- V14 arena fina

El criterio para establecer los niveles de erosión fué tomado de FAO, (1980).

5.4. Discusión del análisis estadístico.

Se procedió a realizar el análisis discriminante con base en lo expuesto en la metodología. Se consideraron únicamente 23 de los 46 casos, para el análisis discriminante.

En la salida del subprograma de análisis discriminante, encontramos primero algunas estadísticas que nos pueden ser útiles en el análisis : medias, desviaciones estandar, pruebas de hipótesis con F y matrices de correlación, varianzas y covarianzas.

En la tabla 6 se encuentran las medias y las desviaciones estandar de las 14 variables utilizadas, de las cuales

TABLA: 6. Valores de Medias y Desviaciones Estandar utilizadas en el Analisis Discriminante del Horizonte Superficial.

Variables:	DESVIACIONES ESTANDAR.			
	GRUPOS	1	2	3
V1		5.7814	6.4498	3.6815
V2		5.8906	6.4987	9.2918
V3		7.1589	7.5638	7.9282
V4		0.0646	0.1413	0.1359
V5		6.4538	5.9856	5.5566
V6		0.9875	3.2107	2.2742
V7		3.9773	7.2345	10.7356
V8		10.0703	7.8193	11.9459
V9		20.6506	2.7605	3.5879
V10		7.9063	23.2882	25.1308
V11		4.4084	8.2583	7.3512
V12		4.3777	4.9007	7.2871
V13		5.2171	8.0078	15.2327
V14		4.9896	6.6732	4.1788

Variables:	MEDIAS			
	GRUPOS	1	2	3
V1		56.6000	45.6000	30.8750
V2		26.7000	35.8000	46.1250
V3		18.5000	18.6000	21.7500
V4		1.0640	0.9360	0.9512
V5		52.7940	61.5410	60.3412
V6		1.5480	3.6130	5.6137
V7		11.4000	8.7170	13.9562
V8		33.1800	45.7500	56.5000
V9		15.8400	9.9500	10.3750
V10		17.7010	19.4130	23.1685
V11		8.3578	11.9292	12.9435
V12		7.4772	9.0891	10.1956
V13		13.7918	15.0420	17.4211
V14		50.1200	35.6500	20.5000

las variables V1, V2, V8 y V14 (% total de arena, % total de limo, permeabilidad y arena fina respectivamente), son aquellas en las cuales las diferencias entre medias de los 3 grupos son mas marcadas.

Cuando existen muchas variables es posible encontrar que no todas aportan una discriminación satisfactoria, por lo que los cálculos no son ejecutados sobre todas las variables incluidas en el análisis, sino sobre variables individuales tomadas consecutivamente en orden decreciente de poder de discriminación. El método empleado para esta selección es el llamado "stepwise", que se realiza de la siguiente manera: selecciona primero la mejor variable discriminante según diferentes criterios: la distancia de Mahalanobis entre los grupos, la mayor V de Rao y la lambda de Wilk's, esta última fué utilizada en nuestro caso. Esta lambda es considerada una medida contraria o inversa del poder discriminante de las variables originales. "A mayor lambda, menor información" (Hair *et al*, 1979).

Una vez escogida la mejor variable discriminante, se selecciona una segunda variable que sea capaz de mejorar el valor del criterio de discriminación en combinación con la primera variable. La tercera variable así como las subsecuentes (no hubo subsecuentes en este caso) son seleccionadas regularmente de acuerdo a su habilidad para contribuir a una posterior discriminación.

Las variables seleccionadas serán removidas si se encuentra que reducen la discriminación al combinarse con variables seleccionadas recientemente. Cuando se encuentra que las variables restantes no contribuyen mas a la posterior discriminación, el procedimiento se detiene (como fué en este caso), y para análisis posteriores, solamente se utilizan las variables seleccionadas (Nie *et al*, 1975).

En cada uno de los pasos de este análisis, se obtienen los valores de F parciales así como su respectiva Lambda de

Wilk's, para cada variable, y con base en el valor mínimo de ella o al valor máximo de F obtenido en cada paso, es como se selecciona la variable que será incluida en el siguiente paso del análisis.

En la tabla 7 aparecen los valores de F parciales y las lambdas de Wilk's que sirvieron de criterio para ir seleccionando las variables de mayor a menor poder discriminante. Podemos observar en este caso, que las variables que tuvieron un alto poder de discriminación fueron :

V14	arena fina	F = 44.64	l = 0.18	1er paso
V 5	porosidad	F = 15.01	l = 0.15	2do.paso
V 7	permeabilidad	F = 11.27	l = 0.12	3er.paso
V12	tamiz tres	F = 8.88	l = 0.10	4to.paso

En la salida del programa se obtiene una matriz de correlación en la que se puede observar que la arena se encuentra negativamente relacionada con la arcilla y con el limo; a su vez se correlaciona positivamente con la fracción de arena fina, lo cual es lógico, Por otro lado, el limo se correlaciona positivamente con el limo + arena fina y con la arcilla se correlaciona negativamente La densidad aparente se correlaciona negativamente con la porosidad y también con la materia orgánica.

También se obtienen en el programa, los coeficientes de las funciones de clasificación llamadas también funciones discriminantes lineales de Fisher, las cuales se obtienen a partir de la matriz conjunta de varianzas y covarianzas, derivándose una función para cada grupo. Las funciones derivadas son las siguientes:

$$C1 = -105.7430 + 1.8977 (V5) - 0.7459 (V7) + 0.9599 (V12) + 2.2032 (V14)$$

$$C2 = -99.1709 + 2.2204 (V5) - 0.8382 (V7) + 0.7602 (V12) + 1.6799 (V14)$$

TABLA: 7. VALORES DE F Y LAMBDA DE WILK'S INCLUIDOS EN CADA ETAPA DEL ANALISIS DISCRIMINANTE DEL HORIZONTE SUPERFICIAL.

VALORES DE F PARCIALES.					
	Paso 0	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
V1	35.957	0.779	0.619	0.434	0.333
V2	10.746	0.291E ⁻⁰¹	0.390E ⁻⁰¹	0.168	0.491
V3	0.456	0.163	0.119	0.139	0.336
V4	1.796	1.011	0.244	0.106	0.257
V5	3.834	2.075			
V6	3.908	0.613	0.727	0.373	0.371
V7	0.913	0.744	2.206		
V8	8.651	0.478E ⁻⁰¹	0.189E ⁻⁰¹	0.854E ⁻⁰²	0.104
V9	0.686	0.545	0.396	0.249	0.264
V10	0.112	0.268	0.277	0.261	0.528E ⁻⁰¹
V11	0.634	0.170	0.178	0.197	0.111
V12	0.342	1.022	1.176	1.296	
V13	0.199	0.791	0.726	0.741	0.306
V14	44.640				

VALORES DE LAMBDA DE WILK'S.					
	Paso 0	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
V1	0.217	0.169	0.140	0.114	0.100
V2	0.482	0.182	0.149	0.118	0.098
V3	0.956	0.179	0.148	0.118	0.100
V4	0.847	0.165	0.146	0.119	0.101
V5	0.722	0.150			
V6	0.718	0.171	0.138	0.115	0.100
V7	0.916	0.169	0.120		
V8	0.536	0.182	0.149	0.120	0.103
V9	0.935	0.173	0.143	0.117	0.101
V10	0.988	0.177	0.145	0.117	0.103
V11	0.940	0.179	0.147	0.117	0.104
V12	0.966	0.165	0.132	0.104	
V13	0.980	0.168	0.138	0.110	0.100
V14	0.183				

$$C3 = -72.7043 + 2.0772 (V5) - 0.6384 (V7) + 0.5044 (V12) + 1.0553 (V14)$$

cuyo modelo es:

$$C_i = C_{i0} + C_{i1}V_1 + C_{i2}V_2 + \dots + C_{ip}V_p$$

donde :

C_i = " score " de clasificación para el grupo i

i = 1, 2, 3 grupos

C_{ip} = coeficientes de clasificación con C_{i0} constante y

p = 1, 2 14 variables.

Haciendo una prueba de F en cada una de las etapas del análisis para ver la significancia estadística entre pares de grupos, se observó que todos son diferentes entre sí, en la última de ellas, con 4 y 17 grados de libertad se obtuvo lo siguiente: una F de 7.31 para el grupo 1 y 2 con una probabilidad menor al 0.01; la diferenciación entre el grupo 1 y 3 fue mejor, ya que la F fue de 22.48 y entre el grupo 2 y 3 fue de 9.82 al mismo nivel de significancia.

El número de funciones discriminantes debe ser menor al número de grupos ó al número de variables, lo que sea más pequeño. En este caso, fueron 2 funciones discriminantes las que maximizaron la separación de los grupos.

Los eigenvalores nos indican el porcentaje relativo de la varianza involucrada en cada función para dividir los grupos; (Flores, 1987) en este caso, la primer función discriminante tiene un eigenvalor de 5.43 respecto a la segunda cuyo eigenvalor es de 0.48 por lo que la primer función discriminante es la que es más útil para hacer una buena separación de los grupos. La suma de los eigenvalores es una medida del total de la varianza que existe entre las variables discriminantes, de manera que cada eigenvalor, nos indicaría un determinado porcentaje del total de esta varianza. Por ejemplo, la primer función tiene

un eigenvalor de 5.43, que nos explica el 91.82 % de la varianza total de las variables discriminantes; y la segunda función tiene un eigenvalor de 0.48 que corresponde a solo el 8.18 % de la varianza total; esto nos lleva a suponer que esta segunda función no ayudaría mucho para hacer una buena separación de los grupos, esto lo podemos constatar en la prueba de ji-cuadrada, en la cual la primer función es altamente significativa y la segunda no es significativa ni al 0.05 nivel de probabilidad.

Las correlaciones canónicas que aparecen, son una medida para señalar que tan relacionadas están las funciones discriminantes respecto a la variable " grupo " ; es debido a esto que los valores obtenidos pueden ser una buena medida de la función para discriminar entre los grupos. La correlación canónica entre la variable grupo, y la primer función discriminante es de 0.91, valor muy significativo, aunque también existe la correlación para la segunda función que a pesar de no ser significativo, debe considerarse pues es de 0.57.

A estas dos funciones discriminantes les corresponde también dos valores de lambda de Wilk's, que para la primer función es de 0.10 y para la segunda de 0.67 lo cual significa buen poder discriminante de la primer función, pero el grado de separación de los centroides no es muy alto en la segunda función con respecto a la primera.

Los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes, son los de mayor importancia en el análisis, pues cada coeficiente, representa la contribución relativa, ya sea positiva o negativa, según sea el signo de la variable. Aquellas variables de mayor coeficiente son las que aportan mayor poder discriminante, es decir las que difieren más de un grupo a otro (Flores, 1987), de manera que los coeficientes estandarizados que constituyen las dos funciones son:

$$D1 = -0.1274 (V5) - 0.1966 (V7) + 0.4533 (V12) + 1.1013 (V14)$$

$$D2 = 1.0513 (V5) - 0.8911 (V7) + 0.096 (V12) + 0.1506 (V14)$$

En la función D1 el coeficiente de mayor aportación es el asociado con la variable V14 (arena fina); mientras que en D2 son los asociados a las variables V5 (porosidad), y V7. (permeabilidad). Es obvio pensar que las demás variables fueron removidas porque reducen el poder discriminante al ser combinadas con las demás.

Los coeficientes no estandarizados no sirven para interpretar, sin embargo, se utilizan para el cálculo de un nuevo elemento, es decir, cuando se desee clasificar o categorizar a otros elementos en algunas de las poblaciones ya estudiadas.

Las funciones discriminantes no estandarizadas son :

$$D_1^* = -5.79754 - .021457 (V5) - .024016 (V7) + 0.78639 (V12) + 0.19739 (V14)$$

$$D_2^* = -10.33270 + 0.17706 (V5) - 0.10883 (V7) + 0.016691 (V12) + .026993 (V14)$$

Para la asignación de un nuevo elemento se tienen que sustituir los valores respectivos de V5, V7, V12 y V14 en las dos funciones D_1^* y D_2^* , con lo cual obtendremos dos valores que corresponderán a un punto y al localizar la posición de este punto en un mapa territorial, se conocerá el grupo al que pertenece.

El mapa territorial que se obtuvo a partir del análisis discriminante de las muestras de suelo del horizonte A se muestra en el apéndice.

Finalmente, se hace un resumen de los casos que fueron clasificados en cada grupo.

De los 23 casos incluidos en este análisis, 5 fueron asignados al grupo 1, 10 fueron asignados al grupo 2 y 8 al grupo

3. De las 5 ubicadas al grupo 1 el 100% estuvieron correctamente asignadas. De las 10 ubicadas al grupo 2 el 90 % o sea 9, estuvieron bien asignadas y solo 1 o sea el 10% estuvo mal asignado dentro del grupo 2. De las 8 ubicadas al grupo 3 el 100% estuvieron bien asignadas.

A pesar de que solo fueron 23 casos, hubo solo 1 casos mal asignado por lo que se considera una buena discriminación.

6. Conclusiones.

Con los resultados obtenidos en este estudio, presentados y discutidos en páginas anteriores, se dan las siguientes conclusiones:

- El material parental que predomina en la zona de estudio es de tipo ígneo (andesitas, riolitas, dacitas) pertenecientes a la Formación Pachuca (del Mioceno) y en menor proporción, abarcando un área escasa, se encuentra la Formación El Doctor (del Cretácico Inferior) constituida básicamente por calizas de origen marino. Este tipo de material originó en su mayor parte suelos poco evolucionados con horizontes A-C y en algunos casos horizontes B (incipiente). Estos suelos sustentan vegetación de matorral y en menor proporción de bosque de encino.

-Las rocas andesíticas se caracterizan por la presencia de feldespatos de la serie de la plagioclasa, que predominan sobre los de la serie de la ortoclasa en la mayoría de las muestras analizadas y son responsables en buena medida de la fracción limosa del suelo.

-El clima y el tiempo reflejan una distribución secuencial de dos tipos de arcilla principalmente: la montmorillonita y el material caolinitico, las cuales muestran la etapa del intemperismo del material parental y en consecuencia de la morfogénesis del suelo.

-La presencia de calcita, piroxenos, anfíbola, biotita y feldespatos en algunos perfiles, constituyen en conjunto los minerales más inestables en el índice de intemperismo. La biotita detectada probablemente tenga influencia en la neosíntesis de la montmorillonita y la caolinitica.

El cuarzo se detectó solo en escasas cantidades, lo que demuestra el estado inmaduro del suelo.

-La presencia de la hematita y otros óxidos oscuros, es muy escasa; probablemente procedan del intemperismo de minerales ferromagnesianos.

-La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es una herramienta útil para la predicción de la erosión, sin embargo se considera que los datos obtenidos son sólo una aproximación, debido a las metodologías utilizadas para la medición de los factores que la componen. Es evidente que se obtendrían mejores estimaciones a partir del establecimiento de parcelas de escurrimiento con largos periodos de observación.

-Por otro lado, el índice de erosividad utilizado en este estudio (índice de Fournier) fué el único con el cual se pudo trabajar, ya que los datos que se requieren para la utilización de otros índices (EI30, AIm , etc) no se tienen en la zona de estudio, por estudios realizados, se sabe que el índice de Fournier presentó correlaciones satisfactorias al compararlo con los índices mencionados.

-Por diversos estudios citados aquí y por las observaciones realizadas durante esta investigación, se puede concluir que un parámetro específico del suelo capaz de predecir valores de K a través de un amplio rango de medidas de suelos, será difícil de identificar; sin embargo, de manera general se puede decir que la erodabilidad (factor K) aumenta con la profundidad y disminuye a medida que aumenta la materia orgánica.

-El porcentaje total de agregación se relaciona con la proporción de limo y arcilla presentes. Cuando el porcentaje de uno u otro es efectivo (>30 %), la agregación total es significativa (>65%).

-A través del análisis discriminante se concluyó que de las 14 incluidas solo 4 de ellas (arena fina, porosidad, permeabilidad, y el porcentaje de agregados de 2.0 mm), fueron las que proporcionaron mayor información para la discriminación. Por otro lado, al clasificar los casos (sitios) en los tres intervalos o grupos de erosión, solo hubo un caso mal asignado, por lo que se consideró una buena discriminación.

BIBLIOGRAFIA

- Alcalá, V.B. 1987. Usos y aplicaciones del paquete SPSS. Tesis Actuario Fac. de Ciencias. UNAM. México. 110 p.
- Arnouldus, H.M.J. 1980. An aproximation of the rainfall factor in the Universal soil loss equation. In: Assesment of erosion. Ed:M. De Boodt,D.Gabriels. John Wiley & Sons. New York. U.S.A. 127-132 p.
- Black,C.A. Ed. 1965. Method of soil analysis. Part I, Agronomy No. 9. American Society of America. Inc. Publisher. U.S.A. 770 p.
- Bryan,R.B. 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. Geoderma 2 (1): 5-26.
- Brown, G. Editor. 1961. The X-Ray Identification and crystal structures of clay minerals. Mineralogical Society. 490 p.
- Buol,S.W.,Hole,F.D.,Mccracken,R.J. 1986. Génesis y clasificación de suelos . Ed. Trillas. México. 411 p.
- Buckman, D.H.y Brady, C.N. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simón, S.A. Ed. Barcelona. España 590 p.
- CETENAL, 1975. Carta Topográfica Actopan. esc. 1:50,000 Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL,1975. Carta Topográfica Pachuca. esc.1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL, 1975. Carta de Climas Pachuca. Instituto de Geografía. esc. 1 : 500,000. Secretaria de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL, 1983. Carta Edafológica Pachuca. esc. 1:250,000.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Secretaría de Programación y Presupuesto. México.

- Chapman, H.D. y Pratt, P.F. 1981. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas. México. 195 p.
- Cheng, K.L.; Bray, R.H. 1951. Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. Soil Sci. 72: 449-458 p.
- Chesters, G.O., Attoe, O.J.; Allien, O.N. 1957. Soil aggregation in relation to various soil constituents. Soil Sci. Am. Proc. 21: 272-277 p.
- Duchaufuor, P. 1978. Manual de Edafología. Ed. Toray-Masson. España. 474p.
- Emerson, W.W. 1964. The slaking of soil crumbs as influence by clay mineral composition. Aust. J. Soil Res. 2:211-217 p.
- El Swaify, S.A.; Dangler, E.W. 1977. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In Soil erosion: prediction and control. Spec. Pub. 21, Soil Conserv. Soc. Am., Ankeny, Iowa.
- FAO/PNUMA. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. 109 p.
- Figueroa, S.B. 1975. Pérdida de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo. Tesis M. en C. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 209 p.
- Flores, D.L. 1987. Algunos nutrientes asimilables en diferentes suelos de México. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias UNAM. México. 155 p.
- Flores, T. 1938. Criaderos de minerales metalíferos. Citado en

Mezquital, Hgo.: 1938 Inst. de Geología, UNAM, México, Mem., 239 p.

Fries, C.Jr. 1962. Hoja Pachuca 140-e(") con resumen de la Geología de la hoja Pachuca, Edo. de Hgo. y México. Universidad Nacional Autónoma de México. Inst. de Geología. Carta Geológica de México. Serie de 1:100,000, mapa con texto.

Forsythe, W. 1975. Física de suelos. Manual de Laboratorio. Ed. IICA. Costa Rica.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geología, UNAM. México.

Gavande, S.A. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa-Wiley, S.A. México.

González, Q.L. 1968. Tipos de vegetación del Valle del Mezquital. Hgo. Departamento de Prehistoria, INAH. México.

González, R.J. 1956. Riqueza minera y yacimientos minerales de México. 2a. Ed., Banco de México, México, D.F. 497 p., 15 mapas.

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L.; Grablowsky, B.J. 1979. Multivariate Data Analysis. Petroleum Publishing Company. Oklahoma. USA. 360 p

Hudson, N. 1971. Soil Conservation Cornell University Press. Ithaca, New York. 304 p.

.....1982. Conservación de suelos. Ed. Reverté, S. A. Barcelona, España. 332 p.

Index to the Powder Diffraction File Joint Committee on Chemical Analysis by Powder Diffraction Methods. 1964.

- Jackson, M.L. 1964. Análisis Químico de los suelos. Ed. Omega. Barcelona. España. 662 p.
- Kirkby, M.J. ; Morgan, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa 1a. edición. México. 375 p.
- Krishna Murti, G.S.K.; Richards, S.J. 1974. Some effects of sesquioxides on soil structure. Ind. J. Agron. 19 : 141-147 p.
- Lindsay, J.I.; Gumbs, F.A. 1982. Erodibility indices compared to measured value of selected Trinidad soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 393-396.
- Little, M. T. ; Jackson, H. F. 1978. Agricultural Experimentation. John Wiley & sons. Inc. 167-195 p.
- López, G.F. ; Muños, I.D. 1987. Importancia de la relación suelo-planta y el aprovechamiento de recursos en los Valles de Ixmiquilpan y Actopan, Edo de Hidalgo. Resúmenes 20 avo. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, México. Pag. 18.
- Lutz, J.F. 1934. The Physico-chemical properties of soils affecting soil erosion. Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin, 212 p.
- Mass, M. ; Sarukhan, K.J. 1986. Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas. Medio Ambiente y desarrollo en México. Ed. Siglo XXI. 44 p.
- Middleton, H.E. 1930. Properties of soils wich influence soil erosion. Tech. Bull. 178, U.S. Arg. Washington, D.C. 16 p.

- Middleton, H.E., Slater, C.S. ; Byers, H.G. 1932. The Physical and Chemical characteristics of the soils from the erosion experiment stations. Technical Bulletin 316, U.S.D.A. Washington, D.C. 49 p.
- Millar, C. E., Turk, L. M. ; Foth, H. D. 1971. Fundamentos de la ciencia del suelo. C.E.C.S.A. México. 531 p.
- Moncayo, R.F., Estrada, E.F.; Pérez, R.C. 1970. Manual de fotografías aéreas en Dasonomía. Subsecretaría Forestal y de la Fauna, S.A.G. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. Publicación No. 16, México. 119 p.
- Mondragón, J.C. 1983. El cambio en el uso de la tierra como proceso de desertificación en el Valle de Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 152 p.
- Morales, R.J. 1982. Estudios Edafológicos en el Valle del Mezquital, Edo de Hidalgo. Tesis Profesional. UNAM. México.
- Morgan, R.P.C. 1979. Soil Erosion. Topics in applied Geography. Longman Ed. 113 p.
- Morgan, R.P.C. 1981. The role of the plant cover in controlling soil erosion. In: Proceedings of the South East Asia Regional Symposium on Problems on soil erosion and sedimentation. Bangkok, Thailand. 255-265 p.
- Munsell soil color chart. 1975. Ed. Munsell Color Company In., Maryland. U.S.A.
- Nie, N.H., Bent, H.D.; Hull, C.H. 1970. SPSS - Statistical package for the social sciences. Mc.Graw-Hill Co., New York. 343 p.
- Ortiz, S. ; Estrada, B. 1982. Plano de erosión hídrica del suelo

en México. Revista de Geografía Agrícola No. 3:
23-27 p.

Ortiz, V.B., Ortiz, S.A. 1980. Edafología Universidad Autónoma
Chapingo. México . 330 p.

Palacios, P.J. 1980. El relieve, el suelo y la vegetación como factores que intervienen en la erosión hídrica superficial en la cuenca alta del Río Tizar. Tesis Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 120 p.

Palmer, R.G. ; F.R. 1977. Introductory Soil Science, Laboratory Manual. 2a. ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 136 p.

Pritchett, W. 1986. Suelos Forestales. Propiedades conservación y mejoramiento. Ed. Limusa, México. 634 p.

Rey, C.J. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del Río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 117 p.

Romkens, M.J.M., Roth, C.B.; Nelson, D.W. 1977. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. Soil.Sci.Soc.Am. J.41: 954-959 p.

Richards, L.A. Ed. 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Ed. Limusa. México. 172 p.

Solana de la Sala, T.J.A. 1982. Efecto de la relación precipitación - escorrentía en el proceso erosivo de diferentes usos del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 186 p.

Sommer, C.I. 1978. Estudios edafológicos de suelos erosionados y no

erosionados en Villa del Carbón, Edo. de México. Tesis Profesional. UNAM. México. 99 P.

Trott, E. K. ; Singer, M. J. 1983. Relative erodibility of 20 California range and forest soils. Soil Sci. Am. J. 47: 763-759.

U.S.D.A. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa, S.A. México, 169 p.

Villegas, S. M. , Aguilera, H. N. ; Flores, D. L. 1978. Método simplificado de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo. Rev. Inst. Geología. UNAM. 2: 188-193 p.

Vomocil, J.A. 1966. Porosity Methods of soil analysis. Agronomy Monograph No. 0 Part I. Academic. Press, New York U.S.A. 299 - 314 P.

Walsh, L.M. 1971. Instrumental methods for analysis of soil and plant tissue. Soil Sci. Soc. and Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A. 222 p.

Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a Universal soil-loss equation. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 23: 246-249 p.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1960. A Universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. Int. Congr. Soil Sci., Trans. 7th. 1:418-425 p.

Wischmeier, W.H. 1976. Use and misuse of the Universal soil-loss equation. Journal of Soil and Water Conservation. 31 1,5-9 p.

Wischmeier, W.H.; Mannering, J.V.. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33 (1): 131-137 p.

Wischmeier, W.H., Johnson, C.B.; Cross, B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of soil and water conservation. 26: 5, 189-192 p.

APENDICE

PERFIL: 1
 LOCALIDAD: Actopan - San Jerónimo, Hgo.
 ALTITUD: 2400 msnm
 ORIENTACION: N
 COORDENADAS: 20° 13' 20" Lat. N
 98° 51' 54" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto
 con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Ladera en montañas
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 30 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE APARENTE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A	0-15	10 YR 5/2 PARDO GRISACEO	10 YR 3/1 GRIS MUY OSCURO	53	34	13	MICAJON ARENOSO	0.97	1.51	2.46	60-54

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g	P.S.B. Meq/100g %
A	5.5	0.26	0.43	0.16	1.94	0.46	3.88	0.17	4.27	2.25	13.23	0.41	0.55	4.86	3.14	19.08	46.08

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERRODABILIDAD

* METODO DE LA PROBETA
 □ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 2
 LOCALIDAD: San Jerónimo, Hgo.
 ALTITUD: 2600 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 13' 22" LAT. N
 98 51' 18" LONG. W

MAT. PARENTAL: Andesita
 GEOFORMA: Ladera
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 20 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³		REAL gr/cm ³
A	0-25	10 YR 7/4	10 YR 5/6	40	34.5	25.5	FRANCO	1.17	1.81	2.33	49.87
C1	25-50	PARDO MUY PALIDO	PARDO AMARILLENTO	32	25	33	MIGAJON ARCILLOSO	1.06	1.68	2.56	58.55
		10 YR 6/4	10 YR 5/8								
C2	50-x	10 YR 7/4	10 YR 3/3	37	34	29	MIGAJON ARCILLOSO	1.02	1.66	2.66	61.54
		PARDO MUY PALIDO	OSCURO								

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES					P.S.B. %	
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/N	Na Meq/100g	K Meq/100g	Ca Meq/100g	Mg Meq/100g		C.I.C.T. Meq/100g
A	5.5	1.32	0.43	0.13	9.93	7.47	1.34	.03	0.70	0.77	19.25	0.76	0.45	7.56	4.94	26.81	51.13
C1	6.5	1.34	0.43	0.21	6.96	6.04	3.08	.07	2.10	1.78	25.42	1.15	0.63	15.66	11.84	30.92	94.69
C2	6.4	1.95	0.24	0.24	10.36	7.84	0.80	.08	2.31	0.46	5.75	1.22	0.82	12.42	4.58	21.81	87.29

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CO	HCO meq/lto	CL	SO	CAP. CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE EROSIONABILIDAD
C1	1.2	0.6	9.6	1.9	28.17	7.82	20.35	7.63	30.8405	0.14
C2	1.2	0.6	18.0	1.4	28.49	3.79	24.70	6.13	26.1500	0.27

* METODO DE LA PROBETA
 @ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 3
 LOCALIDAD: Actopan - San Jerónimo, Hgo.
 ALTITUD: 2660 msnm
 ORIENTACION: SW
 COORDENADAS: 20 13' 20" Lat. N
 98 51' 15" Long. W

MAT. PARENTAL: Caliza afanítica
 GEOFORMA: Ladera en montaña
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 20 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³		REAL gr/cm ³
A	0-15	10 YR 6/2 GRIS	10 YR 5/3 PARDO	64	26	10	HIGAJON ARENOSO	1.11	1.81	2.11	47.58

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g						
A	6.2	0.59	1.06	0.45	2.60	2.00	1.60	0.07	2.38	0.92	13.14	0.57	0.36	10.26	8.24	19.50	99.64

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE	PUNTO DE	AGUA	PERMEABILIDAD	AGREGADOS	INDICE DE
	CAMPO	MARCHITEZ	APROVECHABLE			
X		%	%	cm/hr	% acumulativo	ERCOABILIDAD
A	21.24	5.23	16.01	15.87	42.9352	0.18

* METODO DE LA PROBeta
 □ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 4
 LOCALIDAD: Fray Francisco, Hgo.
 ALTITUD: 2640 msnm
 ORIENTACION: NW
 COORDENADAS: 20 14' 33" Lat. N
 98 51' 00" Long. W

MAT. PARENTAL: De composicion Andesítica
 GEOFORMA: Ladera en montaña
 VEGETACION: Bosque de encino
 PENDIENTE: 20 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE ¹ gr/cm ³	APARENTE ² gr/cm ³	REAL ³ gr/cm ³	POROSIDAD %
A11	0-5	10 YR 5/2 PARDO GRISACEO	10 YR 2/2 PARDO MUY OSCURO	52	39	9	MIGAJON AREHOSO	0.87	1.29	2.41	63.37
A12	5-18	10 YR 2/1 NEGRO	10 YR 2/1 NEGRO	40	45.5	14.5	FRANCO	0.84	1.63	2.47	65.99
C	18-46	10 YR 5/2 PARDO GRISACEO	10 YR 6/6 AMARILLO PARDUSCO	50	37	13	FRANCO	0.92	1.73	2.55	63.56

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g				Meq/100g %		
A11	6.4	0.40	0.31	0.41	4.10	1.50	6.56	0.21	11.90	3.80	18.09	0.53	1.18	27.54	8.46	37.41	100.80
A12	6.5	0.31	0.23	0.25	2.59	1.41	6.03	0.25	2.80	3.50	14.00	0.50	0.96	27.54	10.46	43.77	90.15
C	6.2	0.20	0.41	0.23	1.94	0.66	1.74	0.06	5.11	1.00	16.66	0.53	1.42	29.16	10.34	41.65	99.51

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A12	41.30	10.30	31.00	5.96	72.2476	0.31
C	42.90	11.16	31.74	3.54	38.8178	0.34

* METODO DE LA PROBETA
 @ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 5
 LOCALIDAD: Fray Francisco, Hgo.
 ALTITUD: 2600 msnm
 ORIENTACION: SW
 COORDENADAS: 20 14' 55" Lat. N
 98 51' 30" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto
 con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Ladera en montaña
 VEGETACION: Bosque de encino
 PENDIENTE: 33 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A11	0-28	10 YR 6/4	10 YR 5/4	39	49	12	FRANCO	0.87	1.36	2.34	62.82
		PARDO AMARRILL. CLARO PARDO AMARILLENTO									
A12	28-78	10 YR 5/2	10 YR 2/1	50	42	8	FRANCO	1.00	1.10	2.33	57.08
		PARDO GRISACEO NEGRO									
AB	78-106	10 YR 5/2	10 YR 3/2	47	43.5	9.5	FRANCO	0.99	1.24	2.33	57.42
		PARDO GRISACEO PARDO GRIS MUY OSCUR									

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/M	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g				Meq/100g %		
A11	5.9	0.14	0.31	0.14	1.30	0.10	2.14	0.11	1.47	1.24	11.27	0.28	0.57	7.56	5.44	24.91	55.60
A12	6.2	0.17	0.50	0.11	0.65	1.15	0.44	0.05	4.48	0.26	5.20	0.48	0.45	16.20	0.80	18.76	95.57
AB	6.2	0.17	0.70	0.18	0.86	0.54	0.37	0.03	0.91	0.21	7.00	0.53	0.64	6.48	8.52	17.91	90.28

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA		PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
			APROBECHABLE %				
A11	38.17	7.43	30.74		2.2	50.9734	0.38
A12	37.89	6.67	31.22		2.65	13.0186	0.44
AB	33.84	7.18	26.66		1.45	14.6236	0.33

* METODO DE LA PROBETA
 a METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 6
 LOCALIDAD: San Andrés, Hgo.
 ALTITUD: 2400 msnm
 ORIENTACION: SW
 COORDENADAS: 20 15' 57" Lat. N
 98 51' 12" Long. W

MAT. PARENTAL: Mat. Volcánico de Riolita a Basalto con predominan
 de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Parteaguas
 VEGETACION: Bosque de encino
 PENDIENTE: 24 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
Ao	0-5	10 YR 5/3 PARDO	10 YR 3/1 GRIS MUY OSCURO	35	54.5	10.5	MIGAJON LIMOSO	1.22	1.11	2.39	48.74
A11	5-15	10 YR 6/3 PARDO PALIDO	10 YR 2/2 PARDO MUY OSCURO	34	54	12	MIGAJON LIMOSO	0.96	1.36	2.58	62.90
A12	15-48	10 YR 6/3 PARDO PALIDO	10 YR 2/2 PARDO MUY OSCURO	35	55	10	MIGAJON LIMOSO	1.01	1.59	2.62	61.37
C	48-170	10 YR 6/2 GRIS PARDUSCO CLARO	10 YR 3/2 PARDO GRISACEO	40.5	49.5	10.5	MIGAJON ARENOSO	1.00	1.50	2.23	55.02

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH 1:2.5	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA ORGANICA				CATIONES INTERCAMBIABLES				C.I.C.T.	P.S.B.	
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	%	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺			Mg ⁺⁺
Ao	5.6	0.30	0.23	0.48	2.59	0.41	7.58	0.26	0.11	4.40	16.92	0.43	2.12	10.26	7.24	34.45	58.20
A11	5.6	0.14	0.43	0.09	0.65	2.35	1.39	0.08	0.14	0.81	10.12	0.46	1.01	5.94	8.56	26.39	60.51
A12	6.4	0.16	1.46	0.12	0.65	1.15	0.75	0.04	0.14	0.43	10.75	0.50	1.13	11.88	6.62	34.34	58.61
C	6.5	0.10	0.41	0.09	1.08	0.92	0.18	0.05	0.17	0.10	2.00	0.50	1.04	14.58	6.42	29.20	77.19

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A11	38.93	8.47	30.46	1.07	24.0785	0.49
A12	35.41	9.13	26.28	1.41	14.4759	0.56
C	35.13	9.89	25.24	1.75	13.4514	0.56

* METODO DE LA PROBETA
 2 METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 7
 LOCALIDAD: Fray Francisco, Hgo.
 ALTITUD: 2600 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 16' 12" Lat. N
 98 51' 12" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto
 con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Ladera
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 28 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE APARENTE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ @	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A11	0-10	10 YR 6/4 PARDO AMARILLENTO CLARO	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	34	47	19	MIGAJON LIMOSO	0.97	1.47	2.46	60.04
A12	10-18	10 YR 7/4 PARDO MUY CLARO	5 YR 4/3 PARDO ROJIZO	34	51	15	MIGAJON LIMOSO	1.07	1.50	2.38	54.83

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%	%	ppm	%		Meq/100g				Meq/100g	%
A11	7.1	0.45	0.36	0.23	2.38	1.82	2.90	0.16	13.58	1.68	10.50	0.48	2.26	13.50	8.50	23.85	103.56
A12	6.7	0.36	0.46	0.85	1.51	1.49	1.20	0.87	1.61	0.70	0.80	0.46	2.14	15.12	5.38	23.95	96.45

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERNEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A11	30.81	7.68	23.13	2.05	37.7302	0.31
A12	30.52	2.64	27.88	1.89	90.9142	0.48

* METODO DE LA PROBETA
 @ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: B
 LOCALIDAD: San Andrés, Hgo.
 ALTITUD: 2360 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 16' 15" Lat. N
 98 52' 06" Long. W

MAT. PARENTAL: Andesita
 GEOFORMA: Ladera
 VEGETACION: Bosque de encino
 PENDIENTE: 12 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³		REAL gr/cm ³
Ao	D-2	10 YR 5/1 GRIS	10 YR 3/1 GRIS MUY OSCURO	46	42	12	FRANCO	0.63	1.17	2.45	74.20
A11	2-5	10 YR 6/1 GRIS	10 YR 3/2 PARDO GRIS. MUY OSC.	38	46	16	FRANCO	0.92	1.42	2.72	66.06
A12	5-27	10 YR 6/2 GRIS PARDUSCO CLARO	10 YR 4/2 PARDO GRISACED OSC.	44	40.5	16.5	FRANCO	1.02	1.48	2.75	62.80
C	27-90	10 YR 7/2 GRIS CLARO	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	31.5	32	36.5	MIGAJON ARCILLOSO	1.01	1.62	2.79	63.79

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g	P.S.B. %
Ao	6.2	0.49	1.23	0.82	4.82	2.68	11.50	0.43	0.87	6.67	15.51	0.43	1.41	19.44	8.56	36.88	80.91
A11	5.7	0.26	0.50	0.23	1.51	1.09	2.46	0.11	6.3	1.43	13.00	0.37	0.51	10.80	6.20	32.44	55.11
A12	6.4	0.11	0.58	0.07	0.86	0.34	0.44	0.03	0.17	0.25	8.33	0.61	0.26	11.34	6.66	27.20	69.37
C	5.7	0.11	0.78	0.06	0.43	0.37	0.25	0.01	0.70	0.14	1.17	0.89	0.26	16.20	14.58	35.29	90.47

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE		PUNTO DE		AGUA		PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
	CAMPO %		MARCHITEZ %		APROVECHABLE %				
Ao	55.31		10.52		44.79		26.00	56.295	0.23
A11	29.42		6.79		22.63		1.34	36.5952	0.31
A12	26.54		7.31		19.23		0.89	35.1206	0.43
C	37.15		13.81		23.34		1.40	56.0132	0.30

* METODO DE LA PROBETA
 a METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 9
 LOCALIDAD: San Andrés, Hgo.
 ALTITUD: 2200 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 16' 12" Lat. N
 98 52' 34" Long. W

MAT. PARENTAL: Andesita
 GEOFORMA: Pedimento
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 16 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ @		REAL gr/cm ³
A	0-17	10 YR 3/1 GRIS MUY OSCURO	10 YR 4/1 GRIS MUY OSCURO	40	31	29	MIGAJON ARCILLOSO	1.07	1.63	2.60	58.94

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g						
A	6.8	0.52	0.83	0.09	3.67	2.73	2.27	0.02	2.10	1.32	66	0.37	0.32	15.76	6.38	38.30	57.49

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE	PUNTO DE	AGUA	PERMEABILIDAD	AGREGADOS	INDICE DE
	CAMPO %	MARCHITEZ %	APROVECHABLE %	cm/hr	% acumulativo	ERODIBILIDAD
A	28.76	11.59	17.17	3.24	71.4628	0.20

* METODO DE LA PROBETA
 @ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 10
 LOCALIDAD: San Andrés, Hgo.
 ALTITUD: 2160 msnm
 ORIENTACION: SE
 COORDENADAS: 20 16' 25" Lat. N
 98 52' 57" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto con predominio de andesita y dacita.
 GEOFORMA: Pedimento
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 10 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIHO	% ARC.	CLASE APARENTE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³		
A	0-18	10 YR 3/1 GRIS MUY OSCURO	10 YR 4/1 GRIS MUY OSCURO	41	29	30	MIGAJON ARCILLOSO	0.99	1.43	2.53	60.90

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES							
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.	
			Meq/l				%				ppm				%			
A	6.8	0.46	0.59	0.17	2.81	2.79	1.45	0.09	6.44	0.84	9.33	0.46	0.74	26.46	15.54	47.38	91.17	

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE	PUNTO DE	AGUA	PERMEABILIDAD	AGREGADOS	INDICE DE
	CAMPO	MARCHITEZ	APROVECHABLE			
A	31.26	8.41	22.85	7.4	46.153	0.18

* METODO DE LA PROBETA
 @ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 11
 LOCALIDAD: El Rincón - La Estancia, Hgo.
 ALTITUD: 2220 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 17' 37" Lat. N
 98 53' 30" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Parteaguas
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 13 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			CLASE TEXTURAL	D E N S I D A D			POROSIDAD %
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.		APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ ⓐ	REAL gr/cm ³	
A	0-8	10 YR 4/2 PARDO GRISACEO OSCURO	10 YR 5/1 GRIS	50.5	22.5	26	MIGAJON ARCILLO ARENOSO	1.03	1.34	2.50	58.76
C	8-70	5 Y 6/2 GRIS OLIVA CLARO	5 YR 4/1 GRIS OSCURO	68	25	7	MIGAJON ARENOSO	1.20	1.52	2.53	52.52

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES				C.I.C.T.	P.S.B.	
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺			Mg ⁺⁺
A	6.7	0.25	0.31	0.09	1.51	2.09	0.88	0.08	2.38	0.08	16.00	0.37	0.41	22.14	15.54	47.38	101.08
C	7.5	0.14	0.78	0.06	1.08	1.12	0.14	0.01	2.94	1.87	9.84	0.59	0.19	19.44	14.36	36.88	96.61

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA		PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERRODABILIDAD
			APROVECHABLE %				
A	21.72	9.92	11.80		15.63	29.5746	0.08
C	30.63	7.81	22.82		16.07	43.4246	0.24

* METODO DE LA PROBETA
 ⓐ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 12
 LOCALIDAD: El Rincón - Ste. Magdalena, Hgo.
 ALTITUD: 2300 msnm
 ORIENTACION: SW
 COORDENADAS: 20 18' 20" Lat. N
 98 52' 20" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto
 con predominancia de Andesita y Oxcita.
 GEOFORMA: Ladera
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 45 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ @		REAL gr/cm ³
A	0-45	10 YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	10 YR 2/2 PARDO MUY OSCURO	36	42.5	21.5	FRANCO	0.91	1.33	2.47	63.15
AB	45-70	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	5 YR 4/2 GRIS ROJIZO OSCURO	42	35	23	FRANCO	0.98	1.39	2.64	62.57

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mhos/cm	CATIONES SOLUBLES			MATERIA			CATIONES INTERCAMBIABLES					P.S.B. %			
			Na ⁺ Meq/l	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g
A	7.0	0.53	0.37	0.11	3.67	3.93	3.22	0.19	17.5	1.87	9.84	0.29	0.38	20.52	10.48	34.98	90.53
AB	7.0	0.41	0.52	0.09	2.38	2.42	0.63	0.06	7.35	0.94	15.67	0.70	0.32	22.14	9.36	36.67	88.68

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	31.05	8.34	22.71	10.51	65.3374	0.24
AB	35.44	11.56	23.88	7.86	25.629	0.26

* METODO DE LA PROBETA
 @ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 13
 LOCALIDAD: Santa Magdalena, Hgo.
 ALTITUD: 2400 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 17' 30" Lat. N.
 98 51' 30" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto
 con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Valle
 VEGETACION: Pastizal
 PENDIENTE: 5 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L C R		TEXTURA			D E N S I D A D			REAL	POROSIDAD %
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	TEXTURAL	APARENTE	APARENTE		
							gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³		
A1	0-5	10 YR 5/2 PARDO GRISACEO	10 YR 3/2 PARDO GRIS.MUY OSC.	30	37	33	MIGAJON	0.89	1.37	2.23	59.68
A2	5-30	10 YR 4/1 GRIS OSCURO	10 YR 3/2 PARDO GRIS.MUY OSC.	36	27	37	MIGAJON	0.89	1.59	2.39	62.46
A-C	30-60	10 YR 5/2 PARDO GRISACEO	10 YR 4/1 GRIS OSCURO	40	32	28	MIGAJON	1.01	1.13	2.39	57.53

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	%	%	ppm	%	%	Meq/100g	Meq/100g	Meq/100g	Meq/100g	%	%
A1	7.0	0.34	0.31	0.17	2.59	1.61	5.61	0.26	0.63	3.25	12.50	0.59	0.82	22.68	15.82	42.68	93.50
A2	7.6	0.16	0.37	0.08	0.86	1.14	1.65	0.06	20.37	0.96	16.00	0.80	0.41	15.66	16.84	35.29	95.52
A-C	7.0	0.24	0.36	0.11	1.51	1.69	0.99	0.04	2.8	0.57	14.25	0.88	0.54	9.93	3.87	39.31	38.46

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A1	39.51	14.85	24.66	4.92	88.1776	0.16
A2	34.96	13.48	21.48	0.92	79.9148	0.24
A-C	35.88	13.29	22.59	1.37	54.1398	0.26

* METODO DE LA PROBETA
 □ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 14
 LOCALIDAD: Mesa Chica, Hgo.
 ALTITUD: 2000 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 18' 21" Lat. N
 98 48' 20" Long. W

MAT. PARENTAL: Caliza.
 GEOFORMA: Meseta.
 VEGETACION: Juniperus, spp.
 PENDIENTE: 30 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A	0-60	5 YR 4/1 GRIS OSCURO	10 YR 4/1 GRIS OSCURO	26	58	16	MIGAJON LIMOSO	0.97	1.52	2.42	59.87

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g						
A	7.5	0.70	0.32	0.11	2.81	0.19	7.59	0.32	4.97	4.40	13.75	0.63	0.59	28.29	0.29	34.20	87.13

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE	PUNTO DE	AGUA	PERMEABILIDAD	AGREGADOS	INDICE DE						
	CAMPO	MARCHITEZ	APROVECHABLE				ERODABILIDAD					
							%	%	%	cm/hr	% acumulativo	%
A	51.48	21.20	30.20	19.92	77.8496	0.22						

* METODO DE LA PROBETA
 * METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 15
 LOCALIDAD: Mesa Chica-Sta. Magdalena, Hgo.
 ALTITUD: 2000 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 17' 13" Lat. N
 98 48' 00" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto
 con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Parateaguas
 VEGETACION: Matorral perturbado
 PENDIENTE: 28 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A	0-25	7.5 YR 5/4 PARDO	5 YR 4/3 PARDO ROJIZO	30	33	37	MIGAJON ARCILLOSO	1.02	1.33	2.50	59.04
C1	25-65	7.5 YR 6/6 AMARILLO ROJIZO	5 YR 6/8 AMARILLO ROJIZO	22.5	30.5	47	ARCILLOSO	1.09	1.69	2.34	53.24
C2	65-X	10 YR 7/6 AMARILLO ROJIZO	10 YR 7/B AMARILLO	18	51.5	30.5	MIGAJON ARC-LIMOSO	1.04	1.61	2.13	50.75

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA ORGANICA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	%	N %	P ppm	C %	C/M	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g	P.S.B. Meq/100g
A	5.7	0.20	0.70	0.19	1.30	0.30	3.76	0.19	6.44	2.18	11.47	0.78	0.72	10.36	1.04	36.82	35.03
C1	5.7	0.14	1.33	0.06	1.08	0.08	0.85	0.02	0.17	0.49	24.50	1.22	0.36	6.91	4.89	52.38	25.54
C2	5.6	0.25	1.73	0.17	1.08	0.52	0.39	0.01	2.94	0.23	23.00	1.57	0.42	7.99	6.61	39.30	42.21

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE		PUNTO DE		AGUA		PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
	CANPO %		MARCHITEZ %		APROVECHABLE %				
A	32.42		13.37		19.05		33.69	73.152	0.12
C1	39.77		14.74		25.03		1.34	77.6174	0.24
C2	35.15		11.82		23.33		1.09	45.7446	0.47

* METODO DE LA PROBETA
 a METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 16
 LOCALIDAD: Santa Magdalena, Hgo.
 ALTITUD: 2100 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 18' 48" Lat. N
 98 50' 54" Long. U

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto con predom.
 de andesita y dacita.
 GEOFORMA: Parteaguas
 VEGETACION: Zona transicional entre encino y matorral
 PENDIENTE: 16 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³		REAL gr/cm ³
A	0-15	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	56	29	15	NIGAJON AREMOSO	0.91	1.35	2.50	63.44

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES								
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.		
			Meq/l				%				ppm					Meq/100g		Meq/100g	
A	7.5	0.27	0.37	0.12	1.73	1.87	0.99	0.02	0.63	0.57	28.50	0.89	0.50	10.80	3.8	39.20	40.79		

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	31.19	11.82	19.37	11.56	62.4828	0.22

* METODO DE LA PROGETA
 * METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 17
 LOCALIDAD: 2 Km. al NW de Santa Magdalena, Hgo.
 ALTITUD: 2500 msnm
 ORIENTACION:
 COORDENADAS: 20 18' 43" Lat. N
 98 52' 10" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto con predom.
 de andesita y dacita.
 GEOFORMA: Parteaguas
 VEGETACION: Sin vegetación arborea
 PENDIENTE: 26 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ a	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A	0-15	10 YR 4/1 GRIS OSCURO	10 YR 2/1 NEGRO	52	24	24	MIGAJON ARCILLO ARENOSO	0.97	1.38	2.23	56.36

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g	P.S.B. %
A	7.0	0.29	0.78	0.12	1.51	2.29	3.23	0.17	0.98	1.67	11.00	0.67	0.57	15.12	6.48	34.56	66.08

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	24.80	9.69	15.11	8.17	36.5228	0.11

* METODO DE LA PROBETA
 a METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 18
 LOCALIDAD: 2 Km. al NNE de La Estancia, Hgo.
 ALTITUD: 2300 msnm
 ORIENTACION: SW
 COORDENADAS: 20 19' 36" Lat. N
 98 53' 15" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto con predominio de andesita y dacita.
 GEOFORMA: Ladera
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 27 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A	0-7	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	10 YR 3/2 PARDO GRIS MUY OSCURO	28	41	31	HIGAJON ARCILLOSO	0.76	1.10	2.35	67.65

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g				Meq/100g %		
A	6.5	0.60	0.78	0.30	3.67	4.33	9.04	0.35	0.98	5.24	14.97	0.53	0.64	14.00	6.4	33.80	62.95

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	44.60	9.24	35.39	18.00	35.3006	0.10

* METODO DE LA PROBETA
 □ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 20
 LOCALIDAD: Plomosas, Hgo.
 ALTITUD: 2280 msnm
 ORIENTACION: E
 COORDEADAS: 20 20' 51" Lat. N
 98 50' 57" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEOFORMA: Valle
 VEGETACION: Matorral
 PENDIENTE: 17 %

** ANALISIS FISICOS

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D			POROSIDAD %	
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE APARENTE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³ *	REAL gr/cm ³ Ⓜ		
A1	0-14	5 YR 3/3	2.5 YR 3/2	40	39.5	20.5	FRANCO	0.94	1.39	2.36	60.08
A2	14-32	5 YR 6/4	2.5 YR 5/6	50	39	11	FRANCO	1.17	1.39	2.61	54.98
B	32-105	2.5 YR 5/4	2.5 YR 3/6	36	19	45	ARCILLOSO	1.02	1.63	2.56	59.96

** ANALISIS QUIMICOS

HOR.	pH	C.E. 1:2.5 mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA %	N %	P ppm	C %	C/H	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g	P.S.B. Meq/100g %
A1	7.4	0.48	0.28	0.45	3.89	2.57	2.57	0.30	2.10	1.49	4.97	0.59	0.67	8.85	1.95	32.18	35.70
A2	7.6	0.44	0.77	0.10	3.67	1.38	1.38	0.06	0.91	0.80	13.33	0.59	0.10	3.02	1.38	11.01	45.59
B	7.0	0.13	0.26	0.03	1.08	0.52	1.25	0.50	0.63	0.72	1.14	0.50	0.12	5.18	1.21	40.17	17.45

** ANALISIS ESPECIFICOS

HOR.	CAPACIDAD DE		PUNTO DE		AGUA		PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
	CAMPO %		MARCHITEZ %		APROVECHABLE %				
A1	31.11		8.17		22.94		5.86	86.2146	0.26
A2	19.77		3.89		15.88		6.30	50.8194	0.36
B	29.63		12.91		16.72		8.30	58.7618	0.13

* METODO DE LA PROBETA
 Ⓜ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 21
 LOCALIDAD: 1 Km. al SW de Plomosas, Hgo.
 ALTITUD: 2260 msnm
 ORIENTACION: N
 COORDENADAS: 20 19' 56" Lat. N
 98 52' 07" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto con predom.
 de andesita y dacita.
 GEOFORMA: Parteaguas
 VEGETACION: Sin vegetación arbórea.
 PENDIENTE: 20 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			CLASE TEXTURAL	D E N S I D A D			POROSIDAD %
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.		APARENTE gr/cm ³	APARENTE gr/cm ³	REAL gr/cm ³	
A	0-50	5 YR 5/3 PARDO ROJIZO	2.5 YR 3/4 PARDO ROJIZO OSCURO	55.5	24	20.5	MIGAJON ARCILLO ARENOSO	1.08	1.30	1.93	44.24

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA ORGANICA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	%	N %	P ppm	C %	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T. Meq/100g	P.S.B. Meq/100g
A	7.7	0.30	0.98	0.06	1.51	1.89	1.18	0.04	1.61	0.68	0.42	0.50	0.17	10.80	4.20	40.50	38.69

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	32.69	10.43	22.26	8.73	43.2198	0.22

* METODO DE LA PROBETA
 2 METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 22
 LOCALIDAD: Saucillo, Hgo.
 ALTITUD: 2200 msnm
 ORIENTACION: NE
 COORDENADAS: 20 21' 00" Lat. N
 98 53' 08" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de riolita a basalto con predom.
 de andesita y dacita.
 GEOFORMA: Pie de Monte
 VEGETACION: Sin vegetación arborea
 PENDIENTE: 20 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			CLASE TEXTURAL	D E N S I D A D			POROSIDAD %
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.		APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ Ⓜ	REAL gr/cm ³	
A	0-30	10 YR 5/3 PARDO	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	61	37	12	MIGAJON ARENOSO	1.13	1.71	2.63	57.03

**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES			MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES							
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l			%				Meq/100g							
A	7.8	0.31	1.28	0.09	1.08	2.32	0.85	0.05	1.61	0.49	0.30	0.70	0.33	12.96	1.44	42.98	35.90

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	35.62	10.69	24.93	8.6	55.185	0.42

* METODO DE LA PROBETA
 Ⓜ METODO DE LA PARAFINA

PERFIL: 23
 LOCALIDAD: Saucillo, Hgo.
 ALTITUD: 2400 msnm
 ORIENTACION: S
 COORDENADAS: 20 20' 18" Lat. N
 98 53' 30" Long. W

MAT. PARENTAL: Material volcánico de Riolita a Basalto
 con predominancia de Andesita y Dacita.
 GEFORMA: Ladera en barranca
 VEGETACION: Sin vegetación arborea
 PENDIENTE: 30 %

**** ANALISIS FISICOS**

HOR.	PROF. cm.	C O L O R		T E X T U R A			D E N S I D A D				
		SECO	HUMEDO	% ARENA	% LIMO	% ARC.	CLASE TEXTURAL	APARENTE gr/cm ³ *	APARENTE gr/cm ³ ⊖	REAL gr/cm ³	POROSIDAD %
A	0-7	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	10 YR 3/2 PARDO GRIS MUY OSCURO	28	56	16	MIGAJON LIMOSO	0.85	1.47	2.39	64.56
B	7-70	10 YR 5/3 PARDO	10 YR 2/2 PARDO MUY OSCURO	24	60	16	MIGAJON LIMOSO	1.13	1.58	2.33	51.63

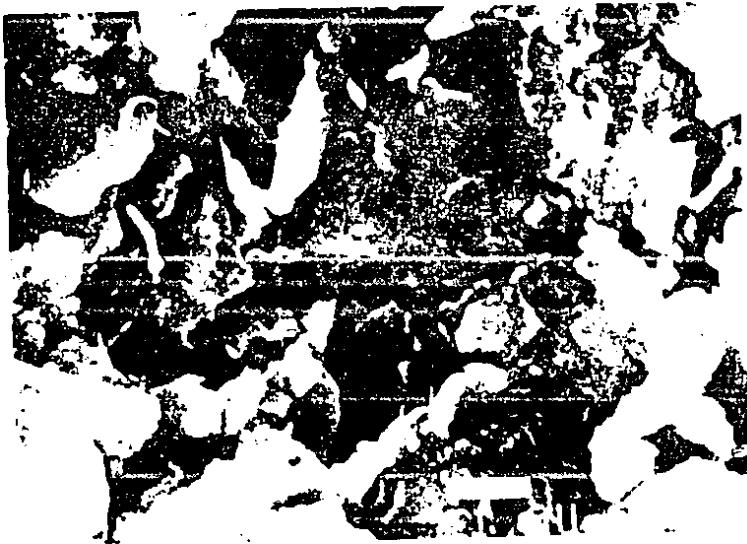
**** ANALISIS QUIMICOS**

HOR.	pH 1:2.5	C.E. mmhos/cm	CATIONES SOLUBLES				MATERIA				CATIONES INTERCAMBIABLES						
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	ORGANICA	N	P	C	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	C.I.C.T.	P.S.B.
			Meq/l				%				Meq/100g						
A	7.2	0.51	0.59	0.61	3.02	3.18	5.21	0.29	0.98	3.02	3.08	0.48	1.81	7.34	2.06	32.69	35.76
B	7.6	0.21	1.04	0.06	1.29	1.51	1.45	0.06	0.17	0.84	4.94	0.78	0.33	7.13	2.27	36.07	29.13

**** ANALISIS ESPECIFICOS**

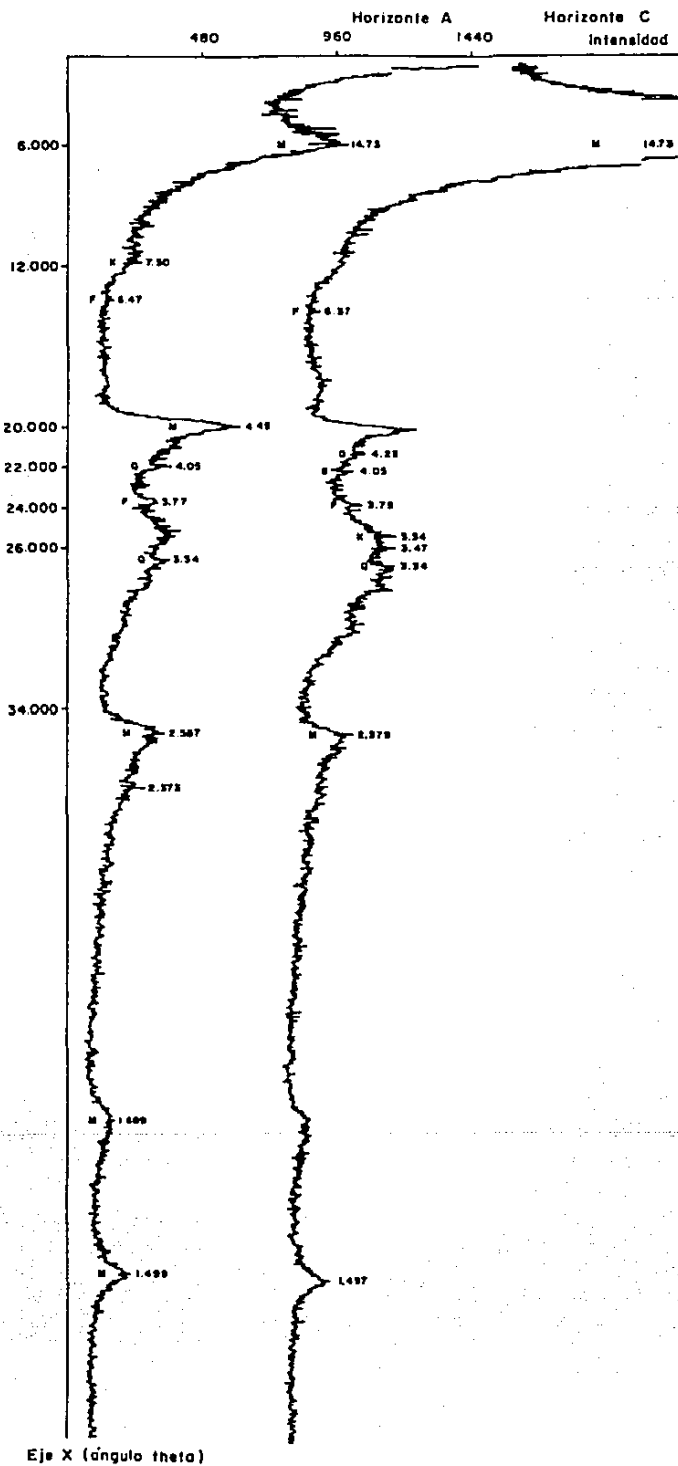
HOR.	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %	PERMEABILIDAD cm/hr	AGREGADOS % acumulativo	INDICE DE ERODABILIDAD
A	37.59	9.54	28.05	18.89	72.5302	0.25
B	39.37	3.48	35.89	3.86	45.2494	0.46

* METODO DE LA PROBETA
 ⊖ METODO DE LA PARAFINA

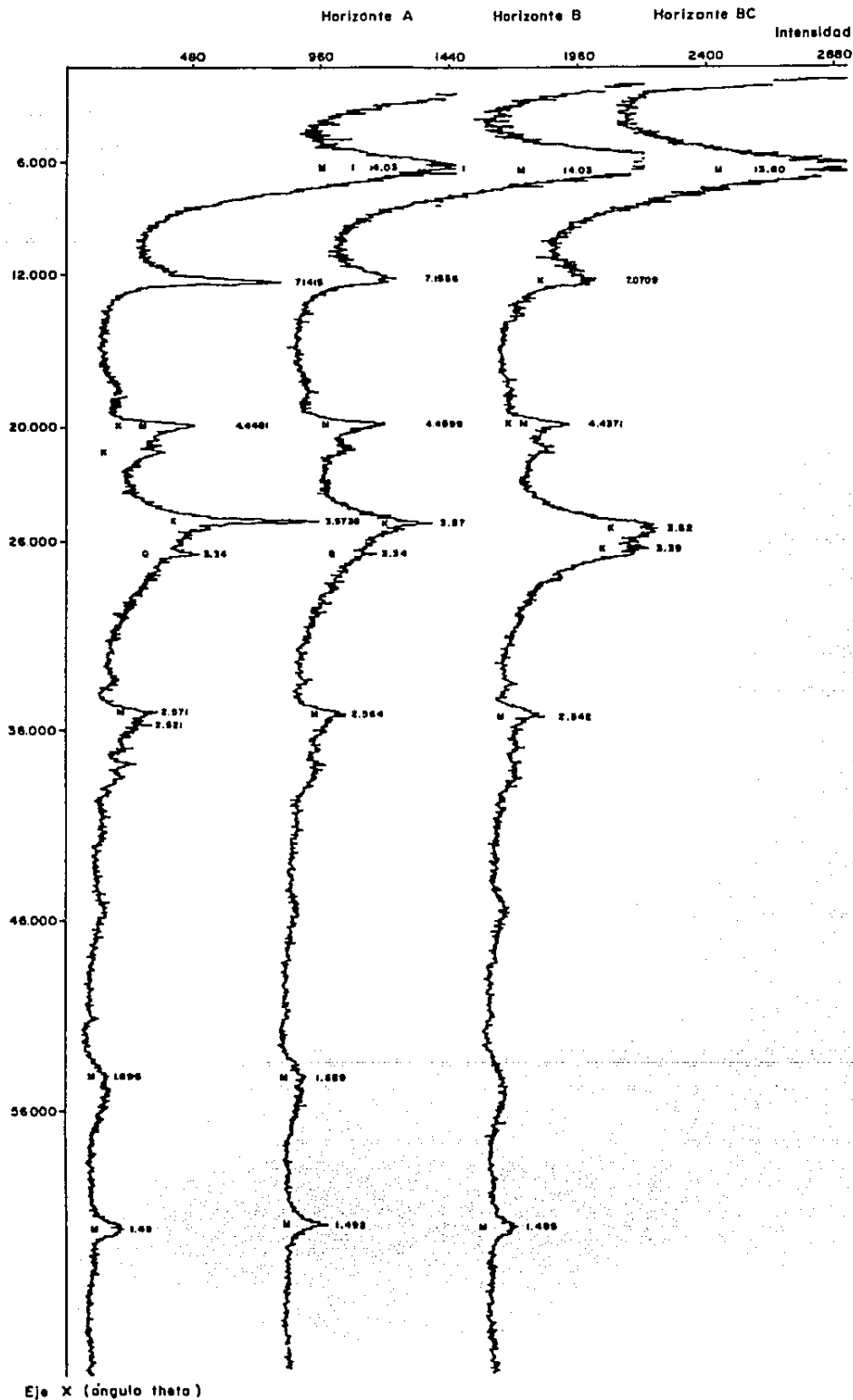


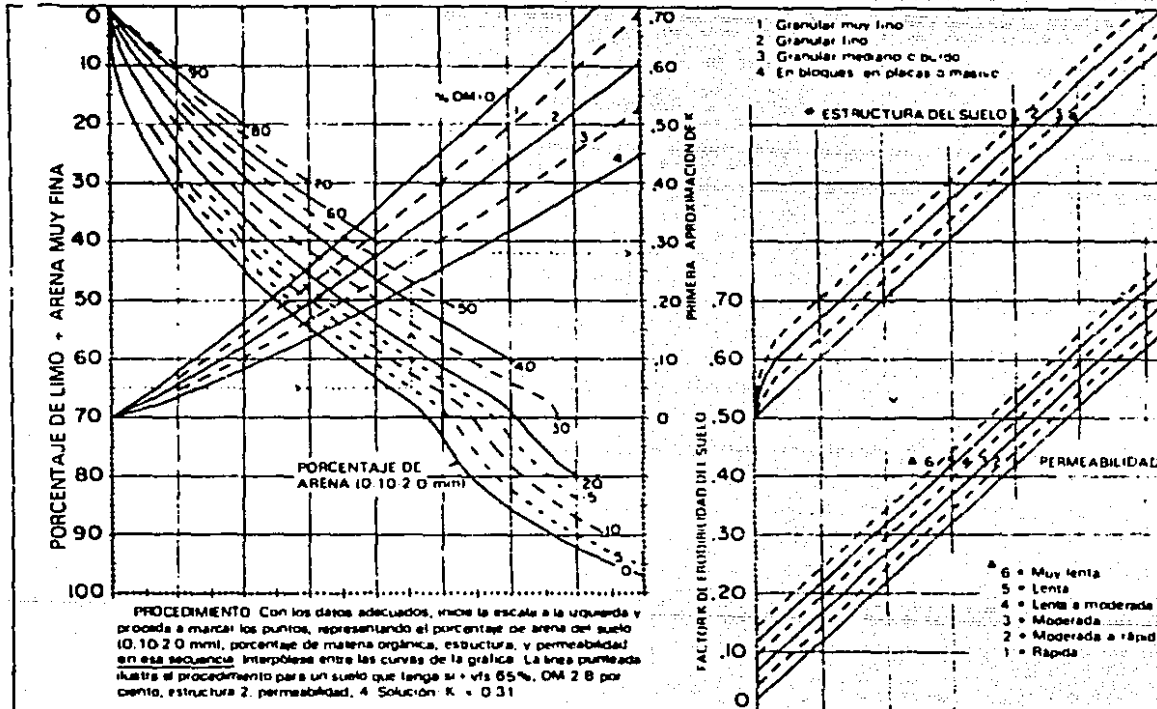
Fotografías de Microscopio Electrónico (5400X y 10000X), Perfil 3

DIFRACTOGRAMA DEL PERFIL 11

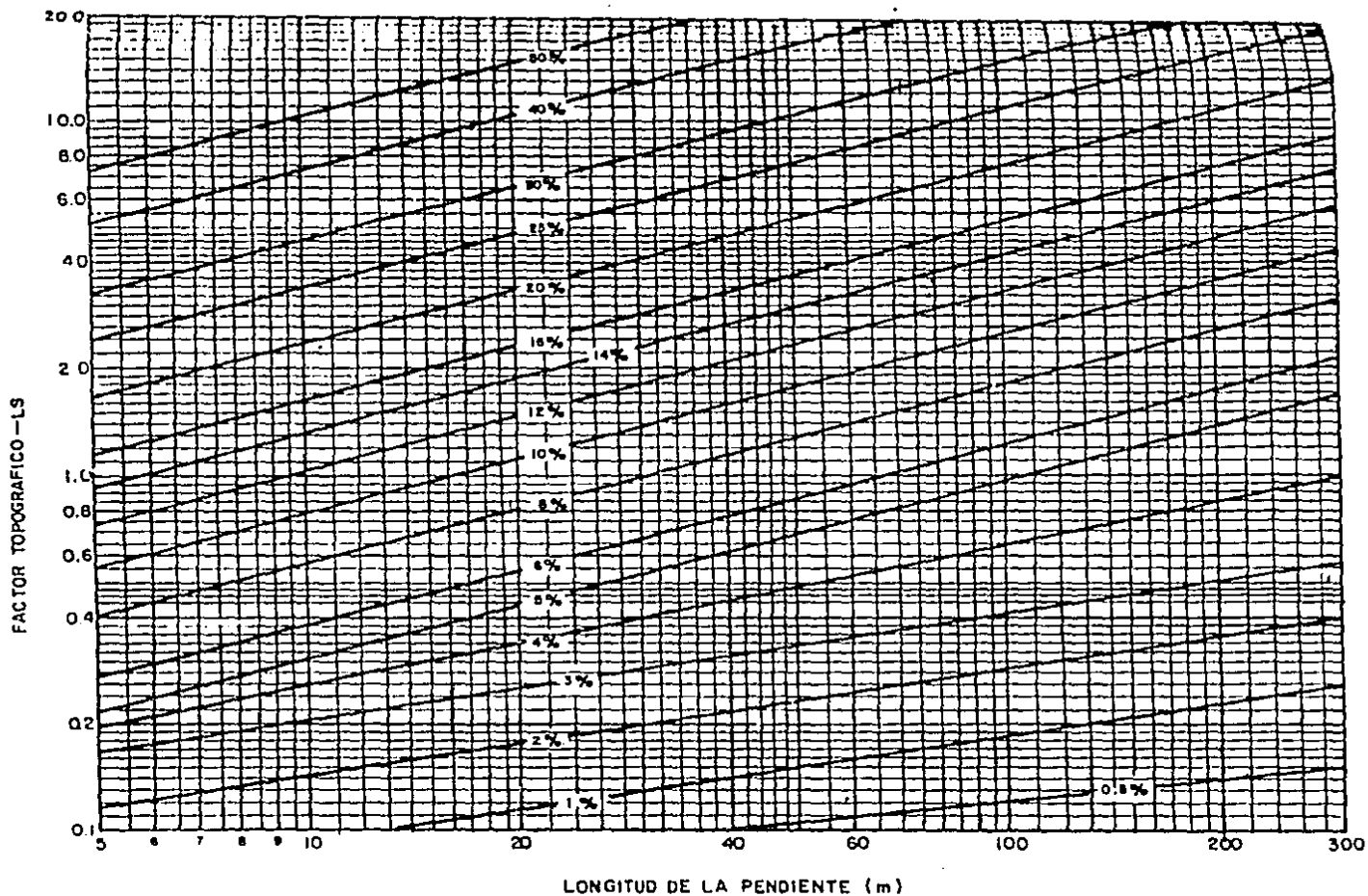


DIFRATOGRAMAS DEL PERFIL 15





Nomografía para determinar el factor de erodibilidad del suelo, K



CUADRO PARA LA OBTENCION DEL FACTOR LS DE LA EUPS (Ec. Univ. de Pérdida de suelo).
 (USDA Agriculture Handbook no. 537. 1978).

DISCRIMINANT ANALYSIS
 FILE: M3NAME (CREATION DATE = 79/21/89)



DISCRIMINANT ANALYSIS
 ON GROUPS DEFINED BY V15 GROUP

ANALYSIS NUMBER 1

STEPWISE VARIABLE SELECTION

SELECTION RULE: MINIMIZE WILKS' LAMBDA
 MAXIMUM NUMBER OF STEPS: 30
 MINIMUM TOLERANCE LEVEL: 0.00100
 MINIMUM F TO ENTER: 1.0000
 MAXIMUM F TO REMOVE: 1.0000

CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS

MAXIMUM NUMBER OF FUNCTIONS: 2
 MINIMUM CUMULATIVE PERCENT OF VARIANCE: 100.00
 MAXIMUM SIGNIFICANCE OF WILKS' LAMBDA: 1.0000

PRIOR PROBABILITY FOR EACH GROUP IS 0.33333

VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 0

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V0	0.000000	0.000000		
V1	1.000000	1.000000	35.257	0.2175934
V2	1.000000	1.000000	10.746	0.4820248
V3	1.000000	1.000000	0.45611	0.9563785
V4	1.000000	1.000000	1.7964	0.857166
V5	1.000000	1.000000	3.9087	0.722813
V6	1.000000	1.000000	0.71336	0.7189719
V7	1.000000	1.000000	8.6513	0.9163081
V8	1.000000	1.000000	0.3364	0.8361550
V9	1.000000	1.000000	0.11245	0.9357649
V10	1.000000	1.000000	0.65447	0.9888796
V11	1.000000	1.000000	0.34248	0.9403380
V12	1.000000	1.000000	21.903	0.9668860
V13	1.000000	1.000000	21.643	0.9804803
V14	1.000000	1.000000		0.850168

EROSION ANALYSIS DISCRIMINANTS



AT STEP 1, V14 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.1377168 44.63773	DEGREES OF FREEDOM	20.0 20.0	SIGNIFICANCE	BETWEEN GROUPS
		1	2	0.0000	

VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 1

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V14	1.3007003	44.6377	

VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 1

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V0	0.3007000	0.3007000		
V1	0.3427346	0.3427346	0.77956	0.1691376
V2	0.3023739	0.3023739	0.27172E-01	0.1824565
V3	0.4897003	0.4897003	0.16369	0.1769168
V4	0.4997683	0.4997683	1.0117	0.1653995
V5	0.2977415	0.2977415	2.0752	0.1502055
V6	0.2997704	0.2997704	0.61394	0.1719073
V7	0.2953190	0.2953190	0.77419	0.1692274
V8	0.2965306	0.2965306	0.78193	0.1651092
V9	0.3322943	0.3322943	0.3435	0.1751776
V10	0.2821277	0.2821277	0.26885	0.1779800
V11	0.2597063	0.2597063	1.7025	0.1797934
V12	0.3297062	0.3297062	1.0225	0.1652260
V13	0.3687793	0.3687793	0.77115	0.1689470

EROSION ANALYSIS DISCRIMINANTE



AT STEP 2, V5 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	DEGREES OF FREEDOM	SIGNIFICANCE BETWEEN GROUPS
0.1592055	2	
15.71211	4	0.0000

VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 2

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V5	0.9972415	2.7723	0.1830168
V14	0.9972415	38.217	0.7228413

VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 2

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V0	0.3007009	0.2967333		
V1	0.482492	0.4716707	0.61923	0.1405362
V2	0.3957846	0.3893479	-3.4008E-01	0.1495593
V3	0.2688421	0.2661133	0.11925	0.1482414
V4	0.3487369	0.3480294	0.24553	0.1462377
V6	0.3207059	0.3182303	0.2782	0.1389674
V7	0.2681120	0.2681121	2.2063	0.1206325
V8	0.2937743	0.2733743	-1.8984E-01	0.1498893
V9	0.3962231	0.3794231	0.39423	0.1438660
V10	0.2767019	0.2767119	0.2757	0.1457116
V11	0.3692817	0.3692317	0.17847	0.1472848
V12	0.2927871	0.2922371	1.1761	0.1328460
V13	0.3687566	0.3667355	0.72620	0.1389905

EROSION
ANALYSIS DISCRIMINANTE



AT STEP 3, V7 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	DEGREES OF FREEDOM	SIGNIFICANCE	BETWEEN GROUPS
0.1226337 11.29874	2 3 6	20.0 36.0	0.0000

VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 3

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V5	0.7695956	3.6255	0.1692274
V7	0.7681139	3.2933	0.1802955
V14	0.7889524	34.811	0.5870877

VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 3

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V0	0.7007007	0.3707707	0.47421	0.1147696
V1	0.5518916	0.3187972	0.8881	0.1182835
V2	0.7720412	0.7485602	0.15993	0.1186788
V3	0.7653167	0.7553122	0.10689	0.1191544
V4	0.2571057	0.2187783	0.37344	0.1155556
V6	0.7743137	0.7035137	0.24912	0.1205114
V8	0.7533221	0.7193777	0.24912	0.1191963
V9	0.7533221	0.7193777	0.24912	0.1191963
V10	0.7666842	0.7666101	0.24163	0.1170296
V11	0.3533576	0.2336263	0.17717	0.1178974
V12	0.7497061	0.7263372	1.2982	0.1046634
V13	0.3582911	0.7586342	0.74109	0.1109583

EROSION ANALYSIS: DISCRIMINANT



 AT STEP 4, V12 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.1046634 3.386853	DEGREES OF FREEDOM 4 8	20.0 34.0	SIGNIFICANCE 0.0000	BETWEEN GROUPS
----------------------------	-----------------------	------------------------------	--------------	------------------------	----------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 4 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V5	0.7457076	3.4163	0.1467034
V7	0.727309	3.4381	0.1488260
V12	0.7497061	3.2377	0.1206325
V14	0.7947009	3.751	0.5817315

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 4 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V0	0.3007009	0.3007009		
V1	0.3402027	0.3402027	0.33346	0.1004754
V2	0.6725561	0.4330791	0.23137	0.0983996
V3	0.3836074	0.4363781	0.13637	0.1004411
V4	0.3033461	0.2003691	0.25773	0.1014041
V6	0.7178370	0.5711221	0.17195	0.1000125
V8	0.7073573	0.6843373	0.10425	0.1033137
V9	0.3499121	0.6950748	0.26457	0.1013128
V10	0.7199152	0.7181103	.52802E-01	0.1039771
V11	0.7771532	0.4341121	.11177E-01	0.1045182
V13	0.5111585	0.4341121	0.30617	0.1008055

F LEVEL OR TOLERANCE OR V14 INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION.

EROSION ANALISIS DISCRIMINANTE



SUMMARY TABLE

STEP	ENTERED	ACTION REMOVED	VAR'S IN	MILKS' LA B-9A	SIG.	LABEL
1	V14		1	2.111117	0.0000	ARENA DOS
2	V5		2	2.111105	0.0000	POROSIDAD
2	V7		2	2.112223	0.0000	PERMEABILIDAD
2	V12		2	2.112223	0.0000	TANIZ TRES

CLASSIFICATION FUNCTION COEFFICIENTS
(FISHER'S LINEAR DISCRIMINANT FUNCTIONS)

VIS	=	1	2	3
V5		1.807753	2.323472	-2.077232
V7		-0.745884	-0.121186	-0.6384124
V12		2.953934	0.761186	0.3044853
V14		2.203220	1.672948	1.05375
(CONSTANT)		-105.7431	-99.17178	-72.70452

CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS

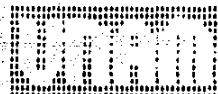
FUNCTION	EIGENVALUE	PERCENT OF VARIANCE	CUMULATIVE PERCENT	CANONICAL CORRELATION	AFTER FUNCTION	MILKS' LAMBDA	CHI-SQUARED	D.F.	SIGNIFICANCE
1:	5.47611	71.71	71.71	0.919957	0	0.1046634	41.755	8	0.0000
2:	0.41431	5.29	77.00	0.5712924	1	0.6756247	7.3090	3	0.0627

* MARKS THE 2 CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION(S) TO BE USED IN THE REMAINING ANALYSIS.

STANDARDIZED CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION COEFFICIENTS

	FUNC 1	FUNC 2
V5	-0.12742	1.25119
V7	-0.19663	-0.19119
V12	1.10133	0.72921

EROSION
ANALYSIS: DISCRIMINANT



UNSTANDARDIZED CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION COEFFICIENTS

	FUNC 1	FUNC 2
V5	-2.145757E-01	0.1777103
V7	-6.821874E-01	-0.103711
V12	-4.883914E-01	-3.01353E-01
V14	3.197327E-01	-3.622339E-01
(CONSTANT)	-5.797541	-11.15490

CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS EVALUATED AT GROUP MEANS (GROUP CENTROIDS)

GROUP	FUNC 1	FUNC 2
1	3.27757	-0.74771
2	-0.37637	-0.44517

SYMBOLS USED IN TERRITORIAL MAP

SYMBOL	GROUP	LABEL
--------	-------	-------

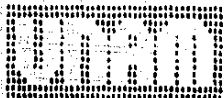
1
2
3

1
2
3

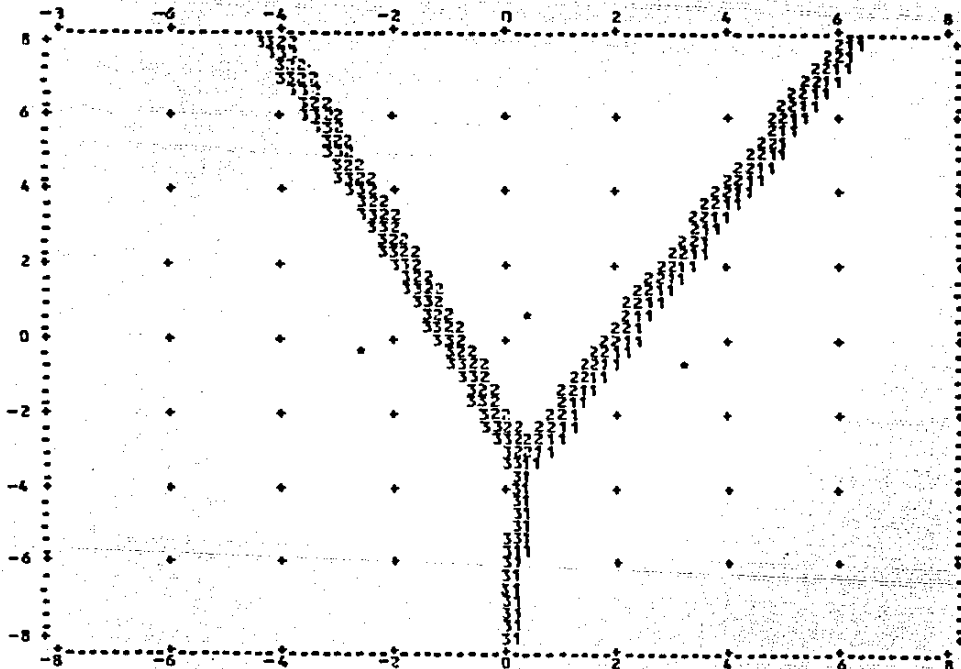
GROUP CENTROIDS

EROSION ANALYSIS DISCRIMINANTE

TERRITORIAL MAP * INDICATES A GROUP CENTROID
CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION 1



UNIVERSITY OF CALIFORNIA - BERKELEY



EROSION ANALYSIS DISCRIMINANTE

CLASSIFICATION RESULTS -

ACTUAL GROUP	NO. OF CASES	PREDICTED GROUP MEMBERSHIP		
		1	2	3
GROUP 1	5	100.0%	0.0%	0.0%
GROUP 2	10	10.0%	90.0%	0.0%
GROUP 3	8	0.0%	0.0%	100.0%
UNGROUPED CASES	23	4.3%	56.5%	39.1%

PERCENT OF "GROUPED" CASES CORRECTLY CLASSIFIED: 95.65%

CLASSIFICATION PROCESSING SUMMARY

46 CASES WERE PROCESSED.
 46 CASES WERE USED FOR PRINTED OUTPUT.
 46 CASES WERE WRITTEN ON UNIT 9.

