



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**EVALUACION DE AREAS EROSIONADAS Y  
ESTIMACION DE PERDIDA DE SUELO EN LA  
SUBCUENCA DEL LAGO DE GUADALUPE, ESTADO  
DE MEXICO**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS (EDAFOLOGIA)**  
P R E S E N T A :  
**JOSE LUIS LUCIO MEDINA RUIZ**

DIRECTOR DE TESIS:  
M. en C. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

MEXICO, D. F.

2002

**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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

---

## RECONOCIMIENTO

Al amigo y colega Ing. Rubén Armendáriz Rubio por todo el apoyo brindado para continuar con mi superación profesional y terminar esta maestría.

A los compañeros Fidel Galicia Santamaría y Miguel Velázquez Osnaya por su apoyo en la elaboración de la cartografía de este trabajo de tesis.

A la Comisión Nacional del Agua por el apoyo que brinda en la superación personal y profesional de todos sus empleados y en particular de un servidor, lo que le permite tener técnicos de excelencia en todas sus áreas.

A todos ustedes y aquellos compañeros que con sus comentarios y consejos han hecho posible la culminación de este trabajo, permitiéndome avanzar un paso mas en mi vida profesional, gracias por todo.

---

---

## RECONOCIMIENTOS

Al M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas por su amistad, apoyo, consejos y dirección de este trabajo de tesis.

Al Dr. Jorge Enrique Gama Castro por la revisión y comentarios acertados que hicieron posible que este trabajo de tesis alcanzara mayor calidad.

Al Dr. José López García por la revisión, comentarios y apoyo para la terminación de este trabajo de tesis

Al Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval por su apoyo y consejos que hicieron posible la terminación de este trabajo de tesis.

A la M. en C. Rosalía Ramos Bello por su revisión y comentarios que hicieron posible una mejora en el contenido y presentación de este trabajo de tesis.

A la Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza por su apoyo y consejos para hacer posible la terminación y presentación de esta tesis.

Al M. en C. Gilberto Vela Correa por la revisión y comentarios sugeridos para el mejoramiento del trabajo de tesis.

A todos ellos mi mas sincero agradecimiento.

---

---

## DEDICATORIA

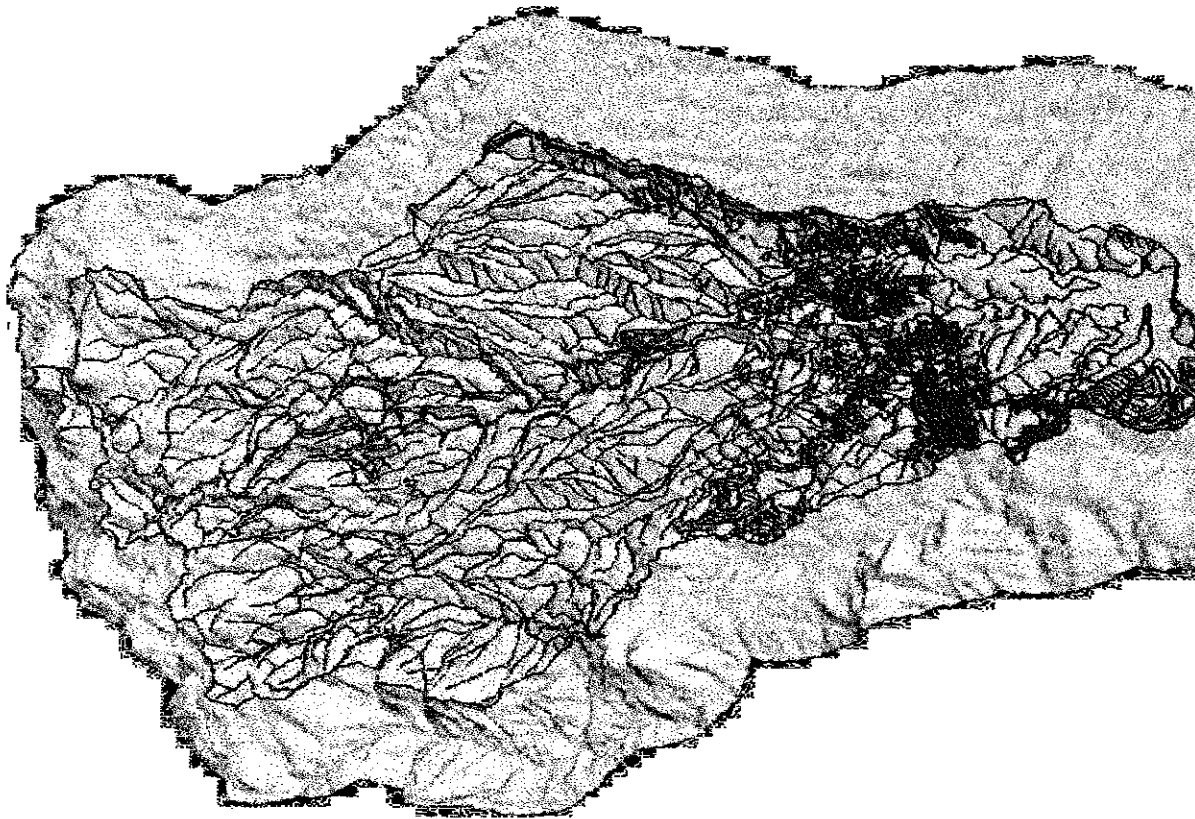
A mi madre por haberme concebido, por haberme formado, por sufrir conmigo cada etapa de mi vida y por todo ese apoyo que me ha brindado a través de mi formación profesional y de posgrado.

A Janeth mi esposa por la comprensión y el apoyo brindado para la realización y terminación de mis estudios de posgrado de Maestría en Ciencias.

A mis hijos Susy, Alonso, Lucia Azucena, Lucia Jannette y mi pequeño diablillo Luis Oscar con ese amor tan grande que me profesan y que son bien correspondidos, que les sirva de ejemplo para sus estudios en el futuro, esperando superen lo realizado por su padre.....

Para estos y todos aquellos que de una u otra forma me han dado aliento para la terminación de este posgrado y que no encuentro palabras de agradecimiento, solo les digo mil gracias.

---



**SUBCUENCA DEL LAGO DE GUADALUPE**

---

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Pag.
ÍNDICE	i
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Generalidades de la Erosión	5
3.2 Características de la Precipitación	6
3.2.1 Erosividad de la lluvia	6
3.2.2 Cantidad de lluvia	6
3.2.3 Intensidad de la precipitación	6
3.2.4 Tamaño de las gotas de lluvia	7
3.2.5 Distribución del tamaño de las gotas de lluvia	7
3.2.6 Formas de las gotas de lluvia	9
3.2.7 Velocidad terminal de las gotas de lluvia	9
3.2.8 Momento y energía cinética de las gotas de lluvia	9
3.2.9 Energía de las gotas de lluvia y salpicamiento	10
3.3 Flujo Laminar en Microcanales	12
3.4 Factores que Afectan la Pérdida de Suelo	12
3.4.1 Erosionabilidad del suelo	12
3.4.2 Topografía	14
3.4.3 Vegetación y coberturas vegetales	16
3.4.4 Manejo de cultivos	19
3.4.5 Manejo de suelos	19
3.5 Prácticas de Control de la Erosión	21
3.5.1 Prácticas mecánicas	21
3.5.2 Prácticas vegetativas	22
3.6 Predicción de Pérdidas de Suelo	23
3.6.1 Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo ( EUPS )	23
3.6.2 Interpretación y evaluación de los factores de la EUPS	24
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	30
4.1 Objetivos	30
4.2 Hipótesis	31

	Pág.
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	32
5.1 Localización Geográfica y Política	32
5.2 Relieve	33
5.3 Región Fisiográfica e Hidrológica	33
5.4 Geología	33
5.5 Geomorfología	34
5.6 Clima	34
5.6.1 Vientos	34
5.6.2 Temperatura	34
5.6.3 Precipitación	35
5.6.4 Tipos de clima	36
5.7 Hidrografía	37
5.8 Vegetación	38
6. METODOLOGÍA Y MATERIALES	39
6.1 Metodología	39
6.1.1 Actividades de gabinete	39
6.1.2 Actividades de campo	40
6.1.3 Trabajo de laboratorio	40
6.1.3.1 Propiedades físicas	40
6.1.3.2 Propiedades químicas	41
6.2 Identificación de áreas erosionadas	41
6.3 Estimación de Pérdidas de Suelo	42
6.3.1 Descripción de la estimación del valor de los factores de la EUPS	42
6.4 Materiales y Equipo	46
7. RESULTADOS	47
7.1 Cartografía	47
7.1.1 Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC	47
7.1.2 Uso actual del suelo y de áreas erosionadas	47
7.1.3 Drenaje natural y sitios de referencia	48
7.2 Descripción interpretativa de las Unidades de Suelo obtenidas en campo	48
7.2.1 Andosol mólico	48
7.2.2 Luvisol crómico	50
7.2.3 Cambisol húmico	52





	Pag.
7.2.4 Vertisol eútrico	55
7.2.5 Feozem lúvico	56
7.2.6 Leptosol lítico	58
7.3 Uso Actual del Suelo	59
7.4 Clasificación de las áreas erosionadas	60
7.5 Cuadros de resultados del cálculo de pérdidas de suelo	61
<b>8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>73</b>
8.1 Análisis para las Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC	74
8.1.1 Andosoles	74
8.1.2 Luvisoles	75
8.1.3 Cambisoles	76
8.1.4 Phaeozems	77
8.1.5 Vertisoles	78
8.1.6 Leptosoles	79
8.2 Análisis de la erosión	80
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
9.1 Evaluación del tipo y grado de erosión	81
9.2 Estimación de pérdidas de suelo por Unidad de Suelo	81
<b>10. RECOMENDACIONES</b>	<b>84</b>
<b>11. LITERATURA CITADA</b>	<b>88</b>
Anexos análisis de laboratorio	90
Anexos fotográfico	93
Anexos de planos	100

## RELACIÓN DE CUADROS Y FIGURAS

	Pág.
CUADRO 1 Valores del factor C manejo del cultivo	28
CUADRO 2 Valores del factor P surcado al contorno	29
CUADRO 3 Grados de erosión de suelos	29
CUADRO 4 Datos de precipitación y temperaturas medias mensuales	35
CUADRO 5 Métodos para la determinación de propiedades físicas	41
CUADRO 6 Métodos para la determinación de propiedades químicas	41
CUADRO 7 Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC	58
CUADRO 8 Uso Actual del Suelo	59
CUADRO 9 Clases de erosión	59
CUADRO 10 Cálculo del factor R erosividad de la lluvia	61
CUADRO 11 Cálculo del factor K erosionabilidad del suelo	62
CUADRO 12 Cálculo de longitudes y pendientes del terreno	63
CUADRO 13 Cálculo de los factores longitud de la pendiente L y gradiente de la pendiente S	65
CUADRO 14 Cálculo de erosión potencial y actual de los suelos (EUPS)	67
FIGURA 1 Distribución del tamaño de gotas en intensidades bajas y medias	8
FIGURA 2 Distribución del tamaño de gotas en intensidades altas	8
FIGURA 3 Influencia de la forma de la pendiente sobre el acarreo de los sedimentos y la cantidad de erosión	16
FIGURA 4 Relación entre las pérdidas de suelo y el % de suelo expuesto al impacto de las gotas de lluvia	17
FIGURA 5 Pérdida relativa de suelo con respecto a la densidad de cobertura sobre el suelo (%) a diferentes intensidades de lluvia	18
FIGURA 6 Nomograma de Wischmeier	44
FIGURA 7 Climograma	36



## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de áreas erosionadas y estimación de pérdidas de suelo de la Subcuenca del Lago de Guadalupe, así como generar recomendaciones técnico – práctico para el manejo, conservación y preservación de los recursos naturales.

La subcuenca se localiza en la vertiente de la Sierra de Monte Alto, dentro de los municipios de Cuautitlan Izcalli, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Isidro Fabela y Jilotzingo, Estado de México. Presenta una superficie de 27,587 ha, ocupadas con bosque de coníferas y latifoliadas (13,123 ha), agricultura de riego y temporal (5,200 ha), zona urbana (3,873), pastizales (3,268 ha) y cuerpos de agua (345 ha).

Las principales Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC existentes en la subcuenca son Andosoles mólicos (12,541 ha), Luvisoles crómicos (9,175 ha), Vertisoles eútricos (2,213), Cambisoles vérticos (1,285 ha), Phaeozems lúvicos (1,065 ha) y Leptosoles líticos (963 ha).

La facilidad con que se erosionan las Unidades de Suelo, lo manifiesta la siguiente secuencia: Andosol > Luvisol > Phaeozem > Leptosol > Vertisol > Cambisol.

Las clases de erosión que se determinaron en la subcuenca fueron: Clase 2 denominada de grado leve, con una superficie de 17,548 ha; la clase 3 de grado moderado con una superficie de 4, 578 ha y la clase 4 de grado severa, con una superficie de 1,243 ha.

La erosión potencial promedio en la subcuenca es de 47. 39 ton/ha/año, se puede considerar de grado severo, pero la erosión actual es de 5.6 ton/ha/año que se clasifica como moderada. Haciendo la comparación entre ambas erosiones, se concluye que la vegetación juega un papel importante en la protección de los suelos en cualquier sistema.



## 1. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un proceso continuo que consiste en el desprendimiento, separación y arrastre de partículas y agregados que conforman la masa del suelo, su transporte y sedimentación a zonas mas bajas en relación al punto original. De acuerdo a la influencia de la actividad del hombre en relación al desarrollo de los procesos erosivos, se distinguen dos clases generales de erosión la geológica o natural y la acelerada o antrópica.

Debido a la mala planeación y manejo inadecuado que se han dado a los suelos de la parte alta principalmente de la subcuenca del Lago de Guadalupe, se percibe que cada año hay mas áreas deforestadas, aunque no hay estadísticas que indiquen en que proporción es este aumento. Las principales causas que originan la erosión en la subcuenca son la deforestación de laderas y colinas para uso agrícola y aprovechamiento familiar e industrial de la madera, lo que provoca que los escurrimientos superficiales y sobre todo en la época de lluvias, se manifiesten con mayor fuerza debido a la velocidad que adquieren al no haber suelo que la infiltre y vegetación que la detenga.

Manifestándose en una degradación acelerada de los suelos, una disminución de la infiltración del agua en el suelo y mayor velocidad de escurrimiento, incrementando la cantidad de sedimentos que se depositan en el vaso. Pero además de la pérdida de capacidad de almacenamiento por asolvamiento, hay una mayor contaminación e incremento del lirio acuático en el lago, también están desapareciendo las especies forestales, con lo que se esta fomentando una alteración del equilibrio de los recursos naturales en la subcuenca.

Por la erosión que sufren las partes altas de las cuencas, la mayoría de las presas construidas en México (90 %), presentan asolvamientos en el vaso de almacenamiento, lo que trae como consecuencia la reducción de la vida útil de éstas. Esto se genera por que los proyectos hidroagrícolas benefician únicamente las tierras aguas abajo de la cortina, o sea, a las zonas de riego,



pero nunca llevan a cabo programas de manejo y conservación de los recursos naturales en las partes altas de las cuencas. Aunado a esto, la tala clandestina existente incrementa notablemente el problema de la erosión.

La subcuenca del Lago de Guadalupe no es la excepción, por lo que nace el interés de llevar a cabo la evaluación y estimación de la erosión con la finalidad de identificar y cuantificar las áreas erosionadas, así como de hacer un análisis de las pérdidas de suelo para cada una de las diferentes Unidades de Suelo existentes en la subcuenca.

## 2. ANTECEDENTES

El Estado de México tiene una superficie de 2 135 500 ha, de las cuales la superficie forestal es de 1 288 400 ha., de éstas 698,000 ha son arboladas, 46,000 ha son arbustos, 12 800 ha son matorrales y 231 200 ha están perturbadas por diferentes acciones como la erosión y las plagas y enfermedades, con avances mensuales de 146 ha. Aunado a esto, se tienen árboles afectados en peligro de morir en pie, y una extracción para leña de 50 000 m<sup>3</sup> por año. Por estas razones es necesario llevar a cabo un mejor control sobre la explotación de este recurso forestal, que es la base para mantener un equilibrio con los recursos agua y suelo.

La superficie de uso forestal del Estado de México es de 1 288 400 ha que corresponden al 60.3 % de la superficie total de la entidad, la arbolada abarca 698,000 ha de clima templado frío que es el 54.2 % de la superficie forestal del estado y del 32.7 % de la superficie total estatal. Así mismo existen 531,200 ha perturbadas, las cuales son factibles de reforestar, representando el 41.2 % de la superficie forestal del estado (Rodríguez *et al*, 1993, Figueroa et al , SARH 1983). Los bosques de coníferas del estado están conformadas por 14 especies del género Pinus sp, una de Abies religiosa, una de Cupressus lindleyi, y varias especies de latifoliadas del género Quercus sp, integrando masas puras y mezcladas.

En cuanto a su importancia económica las especies mas destacadas son : Pinus ayacahuite, Pinus moctezumae, Pinus pseudostrobus, Pinus michoacana, Pinus hartwegii, Abies religiosa y Cupressus lindleyi.

La aparición de otros efectos de disturbios cuya incidencia es causada por el hombre, como los incendios forestales, que llegaron a 2 000 por año afectando un poco mas de 10 000 ha. Estos incendios tienen su origen en el pastoreo inmoderado, debido a que en la época de secas se quema el pasto sin ningún control, para tener un brote más vigoroso del mismo durante la estación de lluvias. Otros problemas que se asocian al sobrepastoreo son la compactación del suelo, el incremento de la erosión y la disminución de las corrientes subterráneas a largo plazo.

El cambio de uso del suelo forestal a agrícola, pecuario o urbano con malos manejos, son causa de que se esté provocando una degradación de los recursos naturales agua, suelo y bosque, ante lo cual es necesario contar con plantaciones forestales dirigidas a protección y recuperación de ambientes degradados.

Existe una fuerte sobreexplotación de los recursos no maderables como son las plantas medicinales o alimenticias (hongos), o bien de valor comercial como la vara de perilla, ocasionando que estas especies estén en peligro de extinción, y que además originan problemas de erosión considerables.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Generalidades de la Erosión

La erosión es un proceso continuo que consiste en la separación de partículas y agregados de la masa del suelo y su transporte, así como la deposición o sedimentación en partes diferentes a las de su estado original (SCSA, 1982). En el sentido amplio la erosión es el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo por agentes activos como el agua y el viento (Páez, 1992).

La erosión hídrica es el proceso que consiste en la separación, transporte y depositación de las partículas del suelo por el agua. La separación es el proceso por el cual se produce el aflojamiento y disgregación de los agregados de la masa del suelo. El transporte es el proceso por el cual las partículas y/o agregados del suelo se mueven a través de la inclinación del terreno. La sedimentación es el proceso por el cual los materiales de los suelos transportados son depositados al disminuir la velocidad y capacidad de transporte del flujo del agua ( Páez, 1992 ).

El proceso de la erosión involucra dos fases principales, a saber el desprendimiento de las partículas del suelo de la superficie del mismo y el transporte de las partículas desprendidas. No puede existir una erosión acentuada si no están presentes ambos procesos, es por eso que la cantidad de erosión hídrica que se presenta en un momento dado, depende de cuatro factores principales : a) clima (precipitación); b) capacidad de infiltración y velocidad de transmisión del agua; c) topografía (inclinación , longitud y forma de la pendiente) y d) cobertura vegetal viviente o de residuos (Páez, et al op cit).



### **3.2 Características de la Precipitación**

#### **3.2.1 Erosividad de la lluvia**

La lluvia es el principal factor que ocasiona la erosión del suelo, por lo que se define a la erosividad de la lluvia como la capacidad que tiene ésta para producir erosión, basadas en sus principales características como es el diámetro de la gota de lluvia, su velocidad terminal, salpicamiento, escorrentía, intensidad, duración y frecuencia (Hudson, 1981).

#### **3.2.2 Cantidad de lluvia**

Existe una relación directa entre la cantidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado, pero en términos estadísticos la correlación entre los dos es muy baja, la misma cantidad de lluvia puede en diferentes ocasiones provocar cantidades diferentes de suelo erosionado, por lo que es necesario medir otros parámetros de la lluvia, a fin de descubrir la habilidad o efecto de la precipitación para provocar erosión ( Foster y Wischmeier, 1971).

#### **3.2.3 Intensidad de la precipitación**

El método generalmente adoptado para relacionar las pérdidas de suelo con algún parámetro de la lluvia, consiste en medir la intensidad de lluvia ( cantidad de agua precipitada por unidad de tiempo) y obtener valores a partir de relaciones previamente determinadas entre la intensidad de la lluvia y el parámetro. La razón de hacer esto es: a) los aparatos capaces de medir el momento o la energía cinética del impacto de una gota, están sujetos a errores debido a influencias externas como la turbulencia del aire cerca y la adhesión de las gotas de agua , y b) las técnicas disponibles para la medición de las gotas de lluvia ( con el cual se pueden calcular los parámetros de la lluvia ) no permiten un registro continuo del tamaño de las gotas ( Hudson ,1981).

### 3.2.4 Tamaño de las gotas de lluvia

El tamaño de las gotas de lluvia se han medido utilizando muchos métodos para diferentes tipos de lluvia, aunque pueden esperarse variaciones considerables en el tamaño de las gotas en una localidad dada, debido a influencias como la fricción del aire y diferentes procesos en la formación de las mismas. El tamaño máximo de las gotas es de 5 mm de diámetro, ya que las gotas mayores se rompen al caer en un gran número de gotas pequeñas (Hudson, 1981).

### 3.2.5 Distribución del tamaño de las gotas de lluvia

La distribución del tamaño de las gotas de lluvia, se describen mediante el parámetro  $D_{50}$ , comúnmente conocido como mediana del tamaño de gotas. Esta mediana es el diámetro de una gota tal que la mitad del volumen cae en forma de gotas con un diámetro menor y la otra mitad con un diámetro mayor. Las relaciones entre las medianas del tamaño de gotas y la intensidad han sido descritas por varios investigadores (Laws y Parson, 1943; Best, 1950) citado por Hudson.

Se afirma que existe una relación distinta entre el diámetro y la intensidad para diferentes tipos de lluvia. Un ejemplo es la lluvia orográfica, en la cual las gotas se forman a altitudes bajas y con temperaturas más cálidas. En estas lluvias las gotas rara vez exceden los 2.5 mm/hr. La mediana del diámetro de gotas para este tipo de lluvia es casi la mitad de una lluvia no orográfica de la misma intensidad (Blanchard, 1953) citado por Hudson, 1981, demuestra que existe un tamaño máximo de las gotas de lluvia. Los estudios de Mihara, 1952 citados por Hudson, 1981, sobre la distribución del tamaño de gotas en lluvia con intensidades altas, así lo demuestran (fig. 1 y 2).

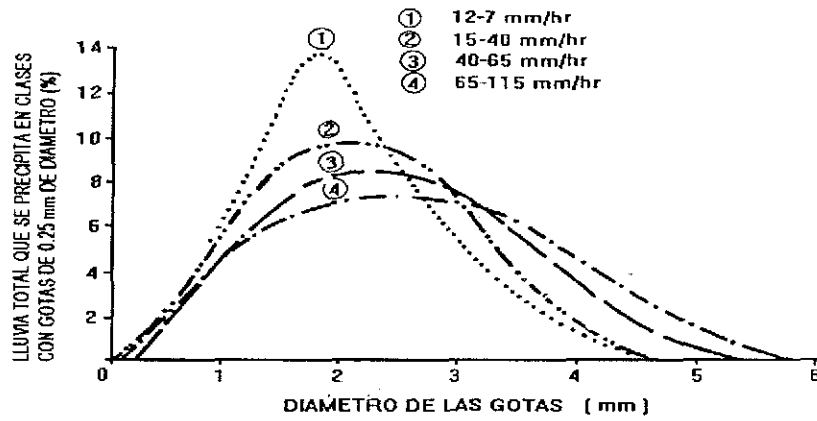


Fig. 1 Distribución del tamaño de gotas en intensidades bajas y medias (Hudson,1971).

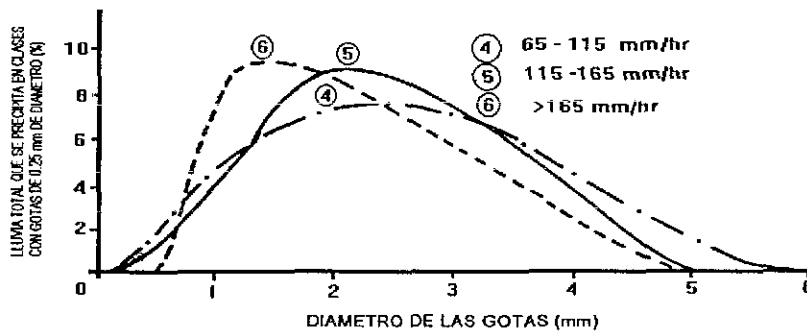


Fig. 2 Distribución del tamaño de gotas en intensidades altas (Hudson,1971)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **3.2.6 Formas de las gotas de lluvia**

La forma de las gotas de lluvia cuando golpean la superficie de la tierra no es esférica debido a la diferencia en la presión del aire creada por la gota al caer, mas bien la parte inferior de las gotas es plana ( Blanchard, 1948) citado por Kirkby y Morgan, 1984. Por otro lado, el cambio de forma de las gotas de lluvia es importante desde el punto de vista de la erosión, ya que afecta la velocidad de caída de estas y la fuerza de impacto por unidad de área en el suelo, sin embargo, las gotas alcanzan una forma estable después que han conseguido su velocidad terminal ( Laws,1941) citado por Kirkby y Morgan, 1984.

### **3.2.7 Velocidad terminal de las gotas de lluvia**

Cuando un cuerpo cae libremente bajo la fuerza de la gravedad, se acelera, hasta que la resistencia por fricción del aire iguala la fuerza gravitacional, y a partir de entonces continua descendiendo a una velocidad constante. Esta velocidad se conoce como velocidad terminal y puede ser mayor o menor dependiendo del tamaño y de la forma del cuerpo. Durante la lluvia natural , el aire puede aumentar o disminuir la velocidad de la gota. Un viento horizontal aumenta la velocidad final en forma proporcional al coseno del ángulo de inclinación de la lluvia con respecto a la vertical. Este efecto es mayor en las gotas con velocidades mayores (Gum y Kinzer,1949) citados por Hudson (1981).

### **3.2.8 Momento y energía cinética de las gotas de lluvia**

El momento y la energía cinética de la lluvia es importante en los estudios de erosión, debido a que la erosión es un proceso que involucra trabajo y mucha de la energía requerida para realizar este trabajo se genera de la lluvia. La energía de las gotas de lluvia se calcula más fácilmente de una manera indirecta utilizando las relaciones intensidad de lluvia - tamaño de gotas, velocidad final de gotas y masa de las gotas (Wischmeier y Smith 1958) citado por Kirkby y Morgan (1984).

### 3.2.9 Energía de las gotas de lluvia y salpicamiento

Ellison (1944) y Bisal (1960) citados por Kirby y Morgan (1984), indican que el fenómeno erosivo empieza cuando las gotas de lluvia golpean la superficie del suelo y despegan a sus partículas salpicándolas, éstos han relacionado a las pérdidas de suelo por salpicamiento con la velocidad final de las gotas y la intensidad de la lluvia. También dicen que las pérdidas por salpicamiento son directamente proporcionales a la energía cinética de la lluvia.

Rose (1960) citado por Figueroa, 1975, demostró que así como hay una relación entre la erosión y la energía cinética de las gotas, existe una relación igualmente válida aunque diferente entre la erosión y el momento o cualquier otra función de la masa y la velocidad. Los estudios que realizó encontró que el salpicamiento depende mas del momento que de la energía.

Ekern (1951,1953) citado por Figueroa, 1975, señala que la capacidad erosiva de las gotas de lluvia dependen de la energía por unidad de área de la gota individual, ya que la energía cinética de las gotas determina la fuerza que debe ser absorbida en cada impacto, mientras que el área horizontal de la gota determina la cantidad de suelo que debe recibir ese impacto. La pérdida de suelo por salpicamiento, es muy importante en laderas inclinadas, ya que existe un mayor movimiento del material ladera abajo que ladera arriba. Las partículas del suelo mas fácilmente salpicadas por las gotas de lluvia, presentan diámetros de 250 a 100 micras, es decir, corresponden a las llamadas arenas finas. La pérdida de suelo por salpicamiento, son máximas cuando los diámetros de los agregados se encuentran entre 2000 y 500 micras.

No existe una explicación satisfactoria para aclarar el hecho de que la cantidad de partículas salpicadas sea mayor para las arenas gruesas y de tamaño medio y se reduzca cuando los tamaños son mayores o menores. En las clases texturales gruesas, la disminución de la susceptibilidad al salpicamiento con el aumento del tamaño de las partículas se ha asociado con el incremento en la masa de las partículas. Para las partículas menores de 100 micras la disminución en la

susceptibilidad al salpicamiento se asocia con un aumento en la cohesión entre las partículas con tamaño mas pequeño. La altura y distancia del salpicamiento dependen de la condición de la superficie del suelo y de la velocidad final de las gotas de lluvia (Mazurak y Mosher, 1968) citados por Figueroa, 1975.

Ellison (1944, 1947) citado por Figueroa ,1975, señala un máximo en el salpicamiento poco después que la superficie se ha humedecido, de ahí en adelante el salpicamiento disminuye con un aumento en el tiempo de aplicación de agua. Se ha observado que la fuerza de impacto de las gotas de lluvia es mayor en presencia de una capa de agua delgada, pero conforme la capa de agua se hace mas gruesa, la fuerza de impacto de las gotas disminuye.

Lyles et al (1974) citados por Figueroa (1975), indican que el salpicamiento de agregados humedecidos fue marcadamente menor que el de los agregados secos, aparentemente porque los agregados húmedos, absorben lentamente el agua adicional debido al alto grado de saturación. En contraste, los agregados secos, absorben el agua rápidamente por encima del límite líquido del suelo, se expanden y pierden su resistencia, por lo que son fácilmente disgregados por las gotas de lluvia. Señalan también que cuando la lluvia va acompañada de viento, los agregados secos son mas fácilmente destruidos. La acción dispersante de las gotas de lluvia al golpear sobre el suelo desnudo, provoca la formación de una costra en el suelo que reduce la infiltración y aumenta la escorrentía superficial. Este efecto es mas pronunciado en agregados de textura fina y débiles.

Epstein y Grant (1973) citados por Figueroa, 1975, indican que los mecanismos en la formación de las costras del suelo por el impacto de las gotas de lluvia son dos: a) Los agregados de la superficie son disgregados en partículas finas las cuales llenan los poros entre los agregados. b) Existe una compactación directa por las gotas que golpean la superficie del suelo. Sin embargo, ellos concluyen que el mayor efecto de las gotas de lluvia al golpear el suelo es la compactación física de la superficie, y que la ausencia de macroporos o de poros no capilares a lo largo de la costra superficial, y la reducción de la porosidad varios milímetros bajo la superficie de la costra, reducen marcadamente la infiltración y movimiento del agua a las capas inferiores del suelo.

### **3.3 Flujo Laminar en Microcanales.**

La escorrentía como flujo laminar y en microcanales es la segunda fase del proceso erosivo, conceptualmente, toda la lluvia se infiltra mientras la velocidad de infiltración exceda a la cantidad de agua precipitada. Cuando el agua precipitada excede a la velocidad de infiltración, el exceso de agua comienza a almacenarse debido al microrelieve del terreno (almacenamiento superficial). Si la precipitación continua por más tiempo, se presenta el flujo superficial (escorrentía superficial). El flujo superficial ocurre normalmente en distancias cortas y con profundidades pequeñas (flujo entre canalillos). Conforme el flujo superficial se mueve ladera abajo, tiende a concentrarse debido a marcas de la labranza, microtopografía natural, o erosión previa (Kirkby y Morgan, 1984).

### **3.4 Factores que Afectan la Pérdida de Suelo.**

Varios factores influyen sobre la erosividad de la lluvia en relación a la escorrentía, la contribución de la erosión entre canalillos, la erosión dentro de los canalillos, y la cantidad de suelo perdido en diferentes puntos de una pendiente.

#### **3.4.1 Erosionabilidad del suelo.**

Los suelos se erosionan más fácilmente que otros con base a las propiedades que influyen sobre la erosionabilidad de los mismos por el agua, pueden agruparse en dos tipos: a) Propiedades que influyen sobre la velocidad de infiltración y la permeabilidad; y b) Las que resisten las fuerzas de dispersión, salpicamiento, abrasión, y transporte de la lluvia y la escorrentía. La erosionabilidad de un suelo puede conocerse mediante la medición de las pérdidas de suelo bajo condiciones controladas, o por aislamiento de ciertas propiedades de suelos como índices de erosionabilidad. Se han desarrollado dos tipos de índices, a) Aquellos que incluyen propiedades que afectan la dispersión del suelo, y b) Aquellos que se basan en propiedades que influyen tanto en la dispersión del suelo, como en la transmisión del agua en el perfil del suelo (Kirkby y Morgan, 1984).

Son muchas las propiedades que influyen sobre la erosionabilidad de los suelos y que sus efectos pueden estar interrelacionados. Algunos de estos factores están influidos por los cultivos usados y las prácticas de manejo. La confusión existente entre efectos debido al suelo y aquellos debido a la lluvia y manejo, complican mas el esquema para evaluar la erosionabilidad a partir de datos de campo bajo lluvia natural. A fin de aislar el efecto del suelo, Wischmeier *et al* (1958) citado por Hudson (1981), propusieron el uso de un índice de erosión de la lluvia a fin de ajustar las pérdidas de suelo para diferentes características de la lluvia.

Los trabajos para encontrar una ecuación que relacione la erosionabilidad de los suelos con ciertas propiedades de los mismos a fin de determinar el valor del índice propuesto por Wischmeier *et al*, han sido numerosos. Barnett *et al*. (1965) citados por Hudson, encontraron que el factor K estaba relacionado con la textura del suelo, tendiendo a aumentar conforme la textura variaba de arena a franco limoso.

Barnett y Rogers (1966), citado por Figueroa (1975), encontraron que las variables que explicaban mas la pérdida de suelo por unidad de EI bajo lluvia simulada eran las diferentes fracciones de las arenas gruesas; las relaciones de arenas, limos y arcillas, la relación de humedad a capacidad de campo y la pendiente. Wischmeier y Mannering (1969) citado por Figueroa (1975), expresaron empíricamente la erosionabilidad de los suelos como una función de 15 propiedades del suelo y sus interrelaciones. La ecuación se precisa en términos estadísticos y es válida para un gran número de suelos con textura media. Pero es demasiado compleja como herramienta de trabajo. Mas aún, algunas de las relaciones entre factores no son válidas cuando la fracción arenosa es mayor de 65% o la fracción arcillosa es mayor del 35%, .

Foster y Wischmeier *et al* (1971), encontraron que las arenas muy finas (0.05 - 0.10 mm) se deberían incluir en la fracción limosa en el análisis mecánico del suelo, debido a que se comportan más como limos que como arenas gruesas. Definieron un parámetro que es una medida de la interrelación de varios grupos de tamaño de partículas del suelo. El parámetro es:



### % limos x (100 - % Arcillas)

Con este parámetro y la utilización de tres características más del suelo como lo es el % de materia orgánica, estructura y permeabilidad del perfil de suelo, construyeron un nomograma para la asignación del valor del índice de erosionabilidad de un suelo.

#### 3.4.2 Topografía

Las pérdidas de suelo son afectadas por el grado de inclinación, la longitud y curvatura de la pendiente.

**Grado de inclinación de la pendiente.** El primer estudio detallado del efecto de la pendiente en la pérdida de suelo, fue realizado por Zingg (1940) y posteriormente por Smith y Whitt (1947) citados por Figueroa, concluyendo que las pérdidas de suelo variaban a la potencia 1.4 del porcentaje de pendiente, por lo cual propusieron la siguiente ecuación:

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

**Donde:**

R es la pérdida de suelo relativa con respecto a la pérdida unitaria de una pendiente del 3% .

S % de pendiente.

Musgrave (1942), 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 porcentaje.

Meyer y et al (1972) citado por Figueroa, observaron que las pérdidas de suelo en áreas entre

canalillos pequeños, no siguen la relación propuesta por Smith y Wischmeier, ya que existe considerable erosión cuando la superficie del suelo esta a desnivel, pero los incrementos en la inclinación de la pendiente del suelo aumentan poco la cantidad del suelo erosionado. La cantidad de suelo erosionado se duplicó cuando aumentó la pendiente del 2 al 20 %, sin embargo, a partir de entonces la cantidad de suelo perdido tiende a ser constante.

**Longitud de la pendiente.** Se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta que la escorrentía entra a un canal natural o artificial definido. Esta influye sobre la erosión debido a que la escorrentía aumenta con la distancia a partir de la cima de una pendiente. El aumento en flujo aumentará la erosión dentro de los canalillos con la distancia ladera abajo, aunque la erosión de las áreas entre canalillos no esta muy influenciada por la longitud de la pendiente. La pérdida total del suelo aumenta mas rápidamente con la distancia para los suelos que son susceptibles a formar canalillos que para aquellos que no lo son (Figueroa, et al, 1991).

**Forma de la pendiente.** La forma de la pendiente tiene un efecto sobre la erosión de tal manera que donde la longitud y la inclinación son grandes, debe esperarse un alto grado de erosión; donde son pequeñas, el grado de la erosión será baja. Si la inclinación de la pendiente disminuya conforme la longitud se incrementa los efectos tenderán a compensarse uno con otro. Estos efectos han sido estudiados tanto analítica como experimentalmente. La erosión en pendientes uniformes aumenta gradualmente, en pendientes convexas las pérdidas son menores cerca de la cima de la pendiente, pero aumentan rápidamente hacia las partes bajas de la pendiente. Para las pendientes cóncavas, las pérdidas son mayores cerca de la cima de la pendiente, pero disminuyen a lo largo de la porción inferior hasta el extremo que puede presentarse deposición (Páez, 1992).

En 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 a partir de este punto, puede ocurrir deposición. La magnitud de la erosión y la localización del punto donde comienza la deposición están en función de varios factores, incluyendo la susceptibilidad del suelo a la erosión

por canalillos, la curvatura de la pendiente y la cantidad de escorrentía ( Fig. 3 ) (Figuroa, 1975).

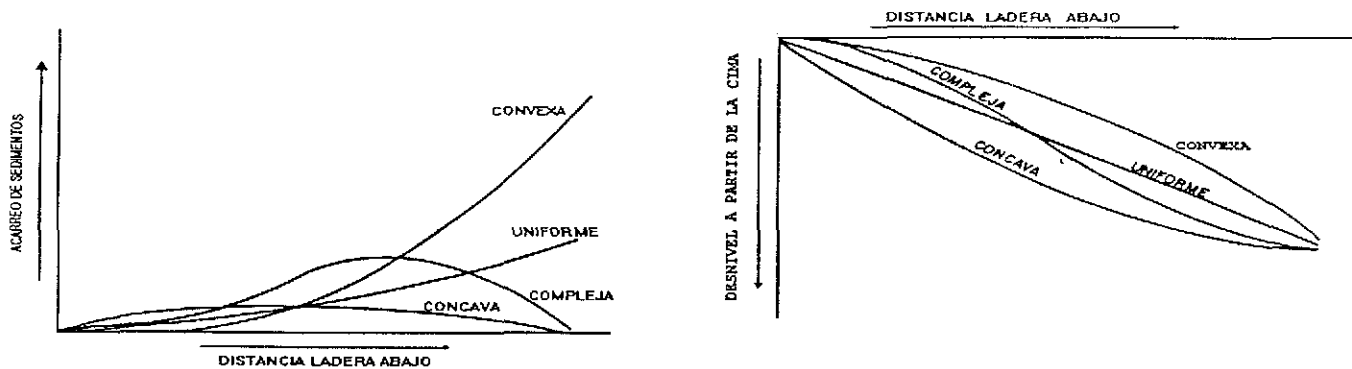


Fig. 3 Influencia de la forma de la pendiente sobre el acarreo de sedimentos y la cantidad de erosión.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.4.3 Vegetación y coberturas vegetales

La vegetación reduce la erosión hídrica en varias formas: a) disipa la energía de las gotas de lluvia, evitando la disgregación de las partículas del suelo y el salpicado ladera abajo o hacia los canalillos, donde son transportados por la escorrentía. Los bosques con una buena cobertura, así como una capa de residuos orgánicos son los que presentan menor erosión y escurrimiento. Las áreas boscosas presentan una escorrentía superficial de 0.1 a 3.6 % de la precipitación, las pérdidas de suelo fueron de alrededor de 0.005 a 0.193 ton/ha/año. Los bosques disminuyen la cantidad de agua escurrida y por consiguiente la erosión, debido a que disminuye la energía de las gotas de lluvia cuando llegan al suelo: a) mediante el rompimiento de las gotas de lluvia; b) la reducción de la velocidad final de las gotas de lluvia, c) aumento de la duración de la precipitación, d) combinación de las gotas de lluvia en unidades mas grandes; e) conducción de una parte de la precipitación por los tallos y ramas hacia el suelo, según Bennett (1939) citado por Kirkby y Morgan (1984)

Meevin (1965, 1969, 1970) y Chapman (1948) citados por Figueroa, 1975, observaron que la erosión del suelo estaba mas relacionada con la protección del suelo por la capa de material orgánico (mantillo) y piedras contra el impacto de las gotas de lluvia, concluyendo que el efecto del bosque para evitar la erosión, se debe a la capa de material orgánico que se encuentra sobre la superficie del suelo y no a la cobertura aérea del bosque (Fig. 4).

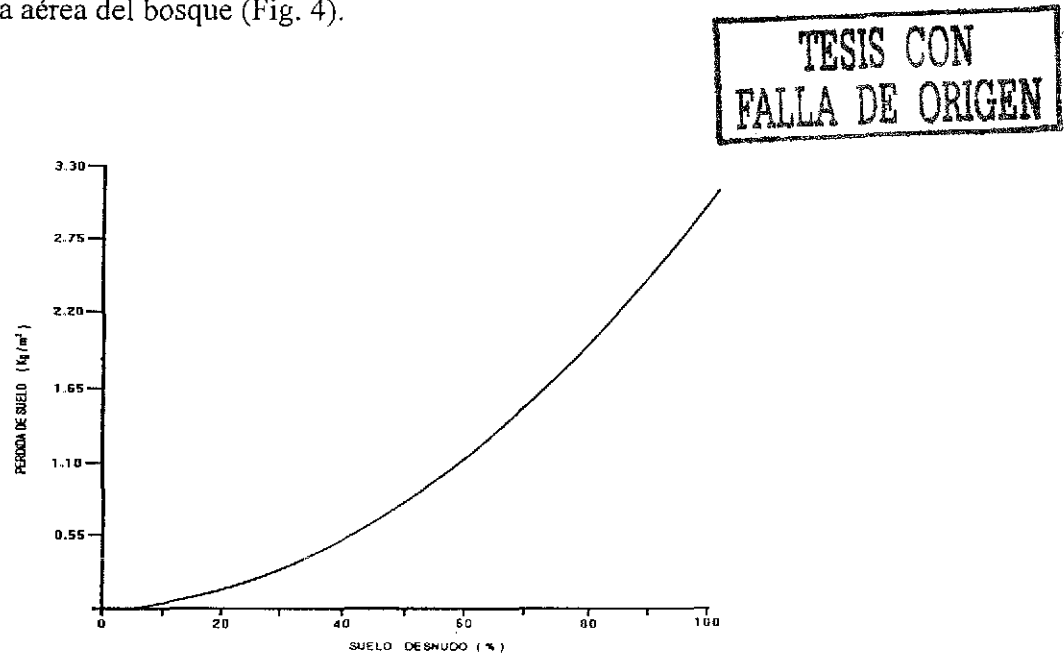
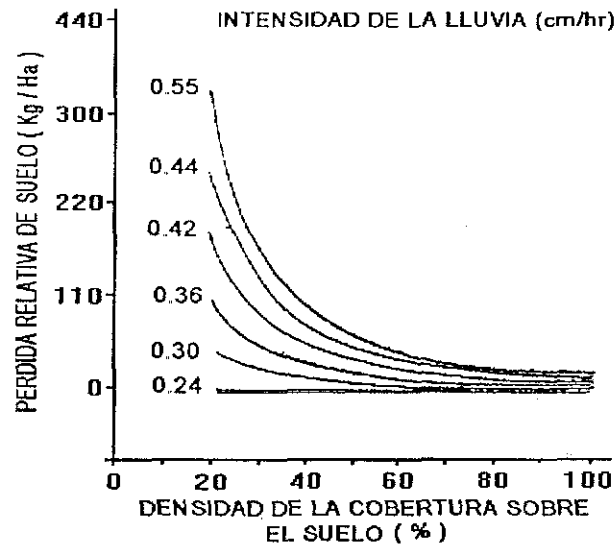


Fig. 4 Relación entre las pérdidas de suelo y el % de suelo expuesto al impacto de las gotas de lluvia (Meewin, 1969).

Smith y Stamey (1965) citado por Figueroa (1975) indican que los bosques en condiciones naturales pierden desde 4 kg hasta 111 kg/ha/año, y la escorrentía superficial es de 0.06 a 3.22 % de la precipitación. Sin embargo, cuando los bosques pierden su capa de residuos orgánicos por la quema u otro efecto, las pérdidas aumentan hasta 6.8 ton/ha/año.

Orr (1970) citado por Figueroa (1975), hace notar que conforme la cobertura vegetal aumento hasta el 60 %, la erosión y la escorrentía disminuyeron aceleradamente, a partir del 60 % la disminución de la erosión se hizo menor y casi constante ( Fig. 5).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5 Pérdida relativa de suelo con respecto a la densidad de cobertura sobre el suelo (%), a diferentes intensidades de lluvia.

En resumen, la importancia de la vegetación y las coberturas vegetales disminuyen el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo e incrementan la velocidad de infiltración, un segundo efecto de la vegetación y las coberturas, disminuyen la velocidad de la escorrentía debido a que aumenta la rugosidad hidráulica del flujo superficial, obligando al flujo superficial a moverse en forma de meandros ladera abajo, promueve la deposición de las partículas más grandes y tiende a disipar la energía de las gotas de lluvia.

Una tercer manera en que la vegetación reduce la erosión es a través de su influencia en el agua disponible en el perfil del suelo. La vegetación actúa como una bomba que remueve el agua de las capas superficiales del suelo, creando entonces un potencial mayor para el almacenamiento de las lluvias posteriores. Por varias razones, un suelo en el que la vegetación ha disminuido el agua aprovechable hasta cerca del punto de marchitamiento permanente de las plantas, tendrá varios centímetros más de capacidad de almacenamiento que cuando el agua del suelo está cerca de la capacidad de campo. En contraste, normalmente las coberturas vegetales no incrementan el almacenamiento del agua, ya que no utilizan el agua que se encuentra por debajo de la superficie del

suelo como lo hace la vegetación viva, y además reducen la evaporación del agua del suelo.

#### **3.4.4 Manejo de cultivos**

La secuencia de los cultivos dentro de un sistema puede variar y sus residuos se pueden remover o dejar en el terreno o incorporarse en el barbecho. Cuando los residuos se dejan en la superficie, pueden ser chaponeados o permanecer en la forma en que fueron cosechados. La combinación en la rotación de cultivos y el manejo de los residuos de estos, tiene diversos efectos en la pérdida de suelo. Similarmente, la eficiencia sobre el control de la erosión de las praderas, incorporadas antes de un cultivo de hileras, varía con el tipo y calidad de la pradera y el tiempo transcurrido desde su incorporación (Delgado, 1994).

La protección del suelo por la parte aérea de los cultivos no solo depende del tipo de vegetación y del desarrollo del cultivo, sino que también varía grandemente con los diferentes meses o estaciones del año. Dependiendo entonces, de la efectividad del cultivo para reducir la erosión de la cantidad de lluvia erosiva que se presente durante los periodos en los que el cultivo o prácticas de manejo dan la menor protección (Delgado, 1994).

#### **3.4.5 Manejo de suelos**

Aunque el tipo de suelo y las condiciones de humedad influyen sobre el efecto de los métodos de labranza en la erosión del suelo, se pueden hacer algunas generalizaciones:

##### **a) Labranza convencional**

Es una práctica agronómica que se realiza roturando al suelo para dejarlo preparado para la siembra, que al no realizarse bajo condiciones propicias de humedad o sea seco, deja a éste suelto, pulverulento, sin agregación, fácilmente transportable, expuesto a fuertes pérdidas de suelo por efecto del viento, la lluvia y las grandes escorrentías (Figuerola, et al, 1996).

**b) Labranza mínima, labranza con cobertura y labranza en fajas**

Estas prácticas tienen como objetivo aumentar la rugosidad y porosidad del suelo con la finalidad de incrementar la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua y reducir la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, a la formación de costras superficiales y a la disgregación o rompimiento de su estructura (Delgado, 1994).

**-Labranza mínima.** Es el sistema de laboreo donde se realizan el mínimo de pases de maquinaria agrícola, sin afectar la germinación y producción del cultivo.

**-Labranza con cobertura.** Es una práctica que consiste en establecer una cubierta vegetal densa, generalmente gramíneas o plantas herbáceas, después de cosechado el cultivo principal.

**-Labranza en fajas :** Es la roturación del suelo en tramos o fajas perpendiculares a la pendiente en donde inmediatamente se va sembrando, dejando intacto el espacio entre hileras.

**f) Labores de cultivo.** También conocida como labranza de cultivo y corresponde a una labranza superficial de post siembra, cuyo propósito es ayudar mediante el aflojamiento del suelo y la eliminación mecánica de la vegetación indeseable. En una costra superficial, la labor de cultivo para romperla puede aumentar la velocidad de infiltración del agua, sin embargo, el cultivo de algunas superficies ásperas pueden aumentar la erosionabilidad del suelo por la disminución en el tamaño de los agregados, la suavización del terreno y la disminución de la cobertura de residuos el área entre surcos (Figueroa, et al, 1996).

### 3.5 Prácticas de Control de la Erosión

Las prácticas de control de la erosión se llevan a cabo mediante la modificación del terreno que en combinación con prácticas de labranza o vegetativas pueden controlar adecuadamente el almacenamiento de agua superficial y reducir la velocidad de escorrentía. Las prácticas de control de la erosión son las mecánicas y las vegetativas, pero los mejores resultados se obtienen con la combinación de ambas, ya que las prácticas mecánicas por si mismas son inadecuadas, en ciertas ocasiones para reducir la erosión a niveles tolerables (Anaya, et al, 1977).

#### 3.5.1 Prácticas mecánicas

Son actividades que se hacen con implementos y maquinaria agrícola o mano de obra, que consiste en realizar movimientos de tierra con el fin de disminuir la velocidad de los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en terrenos con pendiente. Las prácticas mas comunes son el surcado al contorno, terrazas, surcado lister, subsoleos, canales de desviación y cauces empastados (Anaya, et al, 1977).

**a) Surcado al contorno :** Es una práctica mecánica que consiste en hacer el trazado de surcos en dirección perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo las curvas de nivel, realizándose en terrenos con pendientes máximas del 5 % , y cuando son pendientes mayores es necesario adicionar otras prácticas como las terrazas. Esta práctica tiene como objetivo reducir la velocidad del escurrimiento superficial, aumentar la infiltración del agua para tener mayor humedad disponible para las plantas, evitar la erosión laminar y la formación de cárcavas (Anaya, et al, 1977).

**b) Terrazas :** Las terrazas son terraplenes formados entre los bordos o canales de tierra, construidos perpendicularmente a la pendiente natural del terreno. El objetivo de estas obras es reducir la erosión, aumentar la infiltración del agua en el suelo, desalojar excedentes de aguas del suelo a velocidades no erosivas y mejorar la superficie de los terrenos para las labores agrícolas (Anaya, et al, 1977).



### 3.5.2 Prácticas vegetativas

Las prácticas vegetativas son aquellas que consideran el desarrollo de plantas o cultivos, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo. Los objetivos de estas prácticas son establecer cubiertas vegetales en áreas específicas, evitar o disminuir al máximo la erosión del suelo, y lograr una mejor producción y aprovechamiento de los terrenos al mejorar sus características físicas y químicas (Anaya, et al, 1977). Algunas prácticas vegetativas son:

**a) Rotación de cultivos :** Esta práctica es una sucesión de cultivos diferentes en ciclos continuos sobre un área de terreno determinado. El ciclo de rotación debe programarse en base a las condiciones ecológicas y a las necesidades socioeconómicas de la región. Los objetivos de una rotación bien planeada son controlar la erosión, mejorar o mantener la fertilidad del suelo, prevé la incidencia de plagas y enfermedades y conserva la humedad del suelo de una estación a otra (Anaya, et al,1977).

**b) Fajas al contorno :** Consiste en cultivar fajas alternas de anchura variable, alternando franjas con cultivos limpios (de escarda) y franjas con cultivos densos, siguiendo un programa de rotación. Esta práctica vegetativa se realiza en terrenos con pendientes del 2 al 15 %, teniendo como finalidad disminuir la velocidad de escurrimiento, incrementar la infiltración y reducir hasta un 60 % la erosión en terrenos con pendientes suaves y cuando se combina con algún tipo de terraza su disminución es de un 90 % (Anaya, et al, 1977).

**c) Abonos verdes :** Es la práctica de sembrar una determinada planta en un terreno con la finalidad de incorporarla o enterrarla al suelo, durante la época propicia de su desarrollo vegetativo, que generalmente es al iniciarse la floración. Los objetivos de esta práctica es evitar la erosión del suelo, incorporar materia orgánica al suelo y mantener y mejorar la fertilidad del suelo (Anaya, et al,1977).

### 3.6 Predicción de Pérdidas de Suelo

Se han hecho muchos intentos para relacionar las pérdidas de suelo de los lotes con las condiciones de campo a través de ecuaciones racionales o empíricas. Zingg, 1940; Smith, 1941; Browning et al., 1947; Musgrave, 1947; Smith y Whitt, 1948; Van Doren y Bartelli, 1956) citados por Figueroa (1975), siendo la más útil en la actualidad la Ecuación Universal Pérdidas de Suelo.

#### 3.6.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo ( E U P S )

Los conceptos desarrollados por muchos investigadores desde 1930, y el análisis de los datos sobre pérdida de suelo proveniente de 47 localidades en 24 estados de los E.U.A., llevaron a la conclusión que los parámetros importantes para la predicción de las pérdidas de suelo se podían agrupar en 6 grandes factores. Con base a análisis estadísticos exploratorios de los datos, se observa que los efectos de la longitud e inclinación de la pendiente, secuencia de cultivos, y las prácticas de manejo del suelo y de los cultivos se describían con más precisión en la forma de porcentajes de aumento o disminución en la pérdida de suelo, llegando a la conclusión de que los parámetros importantes para la predicción de pérdidas de suelo se agrupan en 6 grandes factores, dos factores dimensionales (lluvia y suelo) y cuatro adimensionales para modificar la pérdida básica de suelo. Para esto se definió arbitrariamente un lote unitario, para que sirviera como punto de referencia a la evaluación de los factores de la ecuación, las características del lote unitario son: 22.13 m de largo y 1.8 m de ancho, sobre un 9% de pendiente y continuamente barbechado, laboreado para romper la costra superficial (Kirkby y Morgan, 1984)

Se decidió que el terreno estuviera continuamente barbechado por dos razones: a) No hay un sistema de agricultura común a todas las regiones agrícolas, y b) Las pérdidas de suelo en cualquier otra condición estarían influenciadas por los efectos residuales y presentes de las prácticas de manejo de suelos y cultivos, que varían de una localidad a otra.. Para fines prácticos al usar el sistema métrico, se definió a la parcela unitaria con una longitud de 25 m y una pendiente del 10 %. La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo es:

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

Donde :

**A** es la pérdida de suelo calculada, en las dimensiones seleccionadas para K y por el período de tiempo seleccionada para R.

**R** es el factor por precipitación, expresado comúnmente en unidades del índice de erosividad de lluvia  $EI_{30}$ .

**K** es el factor de erosionabilidad del suelo, expresado en ton/ha/unidad de  $EI_{30}$ .

**L** es el factor adimensional de longitud de la pendiente.

**S** es el factor de inclinación de la pendiente.

**C** es el factor de cultivo y manejo de cultivos.

**P** es el factor de prácticas de conservación.

En términos generales, los primeros 4 factores tienen valores fijos en una localidad dada, y determinan el potencial de pérdida de suelo para este sitio. Los últimos 2 factores cambian con el uso y manejo de los suelos y cultivos, y afectan grandemente las relaciones entre las pérdidas de suelo actual y la potencial calculada usando los factores R, K, L y S.

### 3.6.2 Interpretación y evaluación de los factores de la EUPS

**Factor precipitación (R).** La función de R es cuantificar las fuerzas erosivas de la lluvia y la precipitación. El parámetro usado es el  $EI_{30}$  que para lluvias no orográficas es el mejor índice de erosividad. En una tormenta dada, el  $EI_{30}$  se define como el producto de la energía cinética de la lluvia en toneladas metro por hectárea por cm de precipitación, multiplicado por la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos y por  $10^{-2}$ .

Los valores de  $EI_{30}$  para lluvias individuales son casi siempre menores de 100 y están altamente correlacionados con las pérdidas de suelo. Ya que la relación es lineal, los valores de  $EI_{30}$  para una lluvia se pueden sumar para obtener valores estacionales o anuales del parámetro. La

distribución de frecuencias del  $EI_{30}$  sigue la distribución Log-Normal (Wischmeier, 1971).

El parámetro  $EI_{30}$  fue seleccionado mediante un proceso de eliminación utilizando el análisis de regresión, usando los datos de pérdida de suelo de los lotes barbechados continuamente como la variable dependiente. Se utilizó a  $R_2$  como medida de la capacidad de un parámetro o grupo de parámetros para predecir el potencial erosivo. El componente E del índice  $EI_{30}$  cuantifica la energía de una tormenta, pero no da información sobre su distribución en el tiempo o sobre la cantidad de escorrentía disponible para transportar el material disgregado. Aparentemente el término  $EI_{30}$  proporciona esta información adicional (Wischmeier, 1971).

La intensidad máxima en 30 minutos se define como el doble de la cantidad más grande que se precipita en cualquier período consecutivo de 30 minutos. En general, las mejores correlaciones entre la pérdida de suelo y el  $EI_{30}$  se obtuvieron cuando las lluvias separadas por menos de 6 horas se trataron como una sola lluvia. Hudson (1971) citado por Kirkby y Morgan, propuso un índice que denominó  $KE > 25$ , el cual fundamentalmente elimina al calcular el  $EI_{30}$ , las lluvias con intensidades menores de 25 mm/hora por considerarlas no erosivas bajo condiciones tropicales.

**Factor erosionabilidad del suelo ( K ).** Algunos suelos se erosionan más fácilmente que otros bajo condiciones similares de precipitación, topografía y manejo. El factor K de la ecuación refleja esas diferencias y junto con R da la base cuantitativa de la pérdida de suelo para la ecuación. El factor K reúne en un solo valor el efecto de las características del suelo sobre la velocidad de infiltración y la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y transporte de las partículas por la lluvia y la escorrentía. K se define como el aumento en pérdida de suelo por cada unidad adicional de  $EI_{30}$  cuando L, S, C y P permanecen constantes y son iguales a 1. (Olson y Wischmeier, 1963) citados por Kirkby y Morgan, 1984.

A fin de determinar el valor de K, Wischmeier et al. (1971), propusieron la utilización de un nomograma que se basa en la composición mecánica del suelo, el contenido de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad del perfil (Ver en el anexo Fig. 6)

**Factor longitud de la pendiente (L).** Este factor ajusta las pérdidas de suelo del lote experimental a la longitud de la pendiente en el campo. Se define como la relación entre la pérdida de suelo para una longitud particular de la pendiente con la pérdida de suelo de la parcela unitaria, con una longitud de 25 m; Para las pendientes entre 1 y 10% se utiliza la relación :

$$X = L^{0.5/5}$$

Donde : **L** es la longitud en m.

Para su aplicación en el campo, la longitud de la pendiente se ha definido como la distancia del punto de origen del flujo superficial al punto donde disminuye la pendiente provocando deposiciones del suelo o donde la escorrentía alcanza un canal bien definido. Se recomienda un exponente de 0.3 para pendientes de longitud grande e inclinaciones menores de 0.5 % y 0.6 para pendientes mayores del 10 % (Wischmeier y Smith, 1965) citado por Hudson, 1981.

**Factor de inclinación de la pendiente (S).** El factor S se relaciona con el aumento del poder erosivo de la lluvia y la escorrentía al aumentar la inclinación de la pendiente. Se define como la relación entre el suelo perdido en una pendiente dada con el suelo perdido para una pendiente del 10 % , cuando los otros factores permanecen constantes. La escorrentía se incrementa significativamente conforme aumenta la pendiente. Para los cultivos en hilera, el incremento fue curvilíneo, en los cultivos de grano pequeño fue aproximadamente lineal y para las praderas fue casi insignificante. Debido a que la escorrentía se incrementa conforme la pendiente se hace mas pronunciada, las pérdidas de suelo se incrementan más rápidamente que la escorrentía. (Wischmeier, 1971).

Los datos de los estudios en lotes bajo lluvia natural y simulada al combinarse y ajustarse a un mismo tipo de suelo y cultivo, se ajustan muy bien a una ecuación parabólica:  $A = 0.043 s^2 + 0.30s + 0.43$ , donde A es la pérdida de suelo y s es la pendiente en por ciento (Smith y Wischmeier, 1957) citado por Hudson. El valor adimensional de s, se obtiene dividiendo esta ecuación entre el valor de

A para  $s = 10\%$ . Entonces,  $S = (0.043 s^2 + 0.30 s + 0.43) / 7.73$ . Cuando esta ecuación se combina con la fórmula para la longitud de la pendiente, se obtiene:

$$LS = \sqrt{\lambda} (0.00111 s^2 + 0.00776 g + 0.0111)$$

A fin de utilizar la fórmula anterior, se asume que las pendientes son uniformes. Las pendientes cóncavas o convexas se deben subdividir para la predicción de las pérdidas de suelo. Sin embargo, los segmentos no se pueden evaluar como segmentos independientes cuando la escorrentía fluye de un segmento al otro. Por lo que los valores obtenidos con la fórmula se deben ajustar por un factor, dependiendo del número de segmentos en que se dividió la pendiente. A fin de realizar el ajuste, se deben hacer dos suposiciones: 1) El cambio en gradiente no es suficiente para causar deposición de sedimentos, 2) Se puede dividir la pendiente irregular en un número dado de segmentos, de tal manera, que para fines prácticos, se pueda considerar el gradiente de cualquier segmento uniforme (Wischmeier, 1971).

**Factor manejo de cultivos (C).** El factor C es la relación que existe entre la pérdida de suelo bajo condiciones específicas, con aquella que corresponde a un terreno continuamente barbechado. Para los cultivos, el valor C varía desde 0 hasta 1. El valor específico depende de la combinación entre las técnicas de manejo y la secuencia de cultivos. Este valor también depende del estado de desarrollo de la cobertura vegetal. A la correspondencia entre periodos de lluvias muy erosivas y condiciones de cobertura buenas o malas del suelo, dicha correspondencia difiere grandemente en las diversas áreas climáticas (Figueroa, et al, 1991).

Para calcular el valor C de un sistema de cultivos en especial de una localidad dada, el ciclo vegetativo se divide en 5 periodos como son barbecho, siembra, establecimiento, madurez y residuos. Para terrenos no agrícolas el factor C se subdivide en 3 factores que son cobertura aérea, cobertura con vegetación y residuos (Wichmeier, 1971).

De acuerdo a los diferentes valores que puede presentar la cobertura vegetal, los siguientes

valores son tomados de las tablas que presenta el Manual de Predicción de Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica del Colegio de Posgraduados, 1991.

CUADRO No. 1 VALORES DEL FACTOR C MANEJO DEL CULTIVO

COBERTURA VEGETAL	CLAVE	VALOR
Bosque inalterado	Bi	0.001
Bosque poco alterado	Bp	0.03
Bosque alterado totalmente	Ba	0.5
Agricultura intensiva	Ai	0.3
Agricultura totalmente degradada	At	0.5
Pastizal parcialmente degradado	Pp	0.01
Pastizal totalmente alterado	Pt	0.1
Matorral alterado	Ma	0.5

Fuente : C.P., 1991

**Factor prácticas de conservación (P).** Estas prácticas pueden ser terraceo, surcado al contorno, cultivos en fajas, su valor se calcula con una relación entre las pérdidas de suelo con algunas de esas prácticas, o con la pérdida de suelo surcando en sentido de la pendiente, en este caso los valores para el factor P están dados solo para surcados al contorno, ya que no existen obras de conservación de suelos realizadas (Ver cuadro 2).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CUADRO No. 2 VALORES DEL FACTOR (P) SURCADO AL CONTORNO

PENDIENTE E %	ALTURA DE SURCOS			PENDIENTE %	ALTURA DE SURCOS		
	BAJA	MODERADA	ALTA		BAJA	MODERADA	ALTA
	2.5 - 7.5 cm	7.5 - 12.5 cm	> 12.5		2.5 - 7.5 cm	7.5 - 12.5 cm	> 12.5 cm
0.5	1	0.8	0.8	15	1.0	0.6	0.3
1	0.9	0.7	0.7	16		0.7	0.3
2	0.9	0.6	0.5	17		0.7	0.3
2	0.9	0.5	0.3	18		0.7	0.3
4	0.8	0.5	0.3	19		0.8	0.4
5	0.8	0.5	0.2	20		0.8	0.4
6	0.8	0.5	0.2	21		0.9	0.5
7	0.8	0.5	0.2	22		0.9	0.5
8	0.8	0.5	0.2	23		1.0	0.6
9	0.8	0.5	0.2	24			0.6
10	0.8	0.6	0.2	26			0.7
11	0.8	0.6	0.2	28			0.8
12	0.9	0.6	0.2	30			0.9
13	0.9	0.6	0.3	32			1.0
14	0.9	0.6	0.3				

### Grados de erosión de suelos (FAO)

Los grados de erosión de los suelos en forma laminar y en canalillos, depende de las ton/ha/año de pérdida de suelo. Existen seis grados (1 - 6) que va desde la insignificante hasta la catastrófica (cuadro 3).

Cuadro 3 Grados de erosión de suelos

Grado	Pérdida de Suelo (t/ha <sup>2</sup> año <sup>2</sup> )	Nombre de la erosión
1	< 0.5	Insignificante
2	0.5 - 5	Leve
3	5.0 - 15	Moderada
4	15.0 - 50	Severa
5	50.0 - 200	Muy severa
6	> 200	Catastrófica



## **4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **4.1 Objetivos**

#### **4.1.1 Objetivo General**

Evaluar las áreas erosionadas y estimar las pérdidas de suelo y con base en esto, generar recomendaciones técnico-prácticas viables para la conservación, restauración y preservación de los recursos naturales de la subcuenca del Lago de Guadalupe.

#### **4.1.2 Objetivos Específicos**

a) Identificar las áreas erosionadas y determinar los tipos y grados de erosión existentes en la subcuenca del Lago de Guadalupe.

b) Estimar la pérdida de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) para cada Unidad de Suelo FAO-UNESCO-ISRIC presente en la subcuenca del Lago de Guadalupe.

c) Caracterizar y clasificar los suelos de la subcuenca del Lago Guadalupe utilizando Unidades de Suelo FAO-UNESCO-ISRIC.

d) Elaborar estrategias y acciones que conlleven a una planeación integral y sustentable de los recursos naturales con base a recomendaciones de uso, manejo y conservación de suelos y vegetación en la subcuenca del Lago de Guadalupe.

## 4.2 Hipótesis

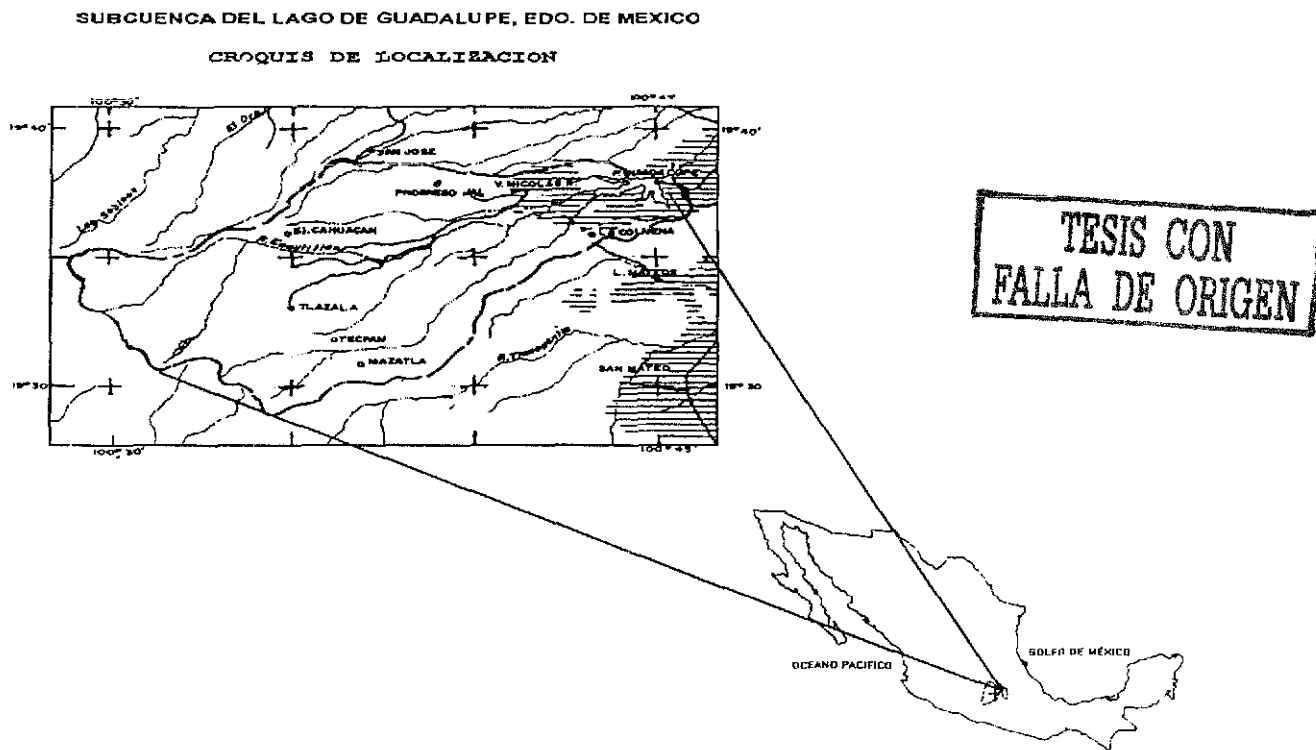
- a) Hay variación en pérdidas de suelo en áreas con diferente cobertura vegetal.
- b) La cubierta vegetal protege al suelo del impacto de la lluvia y disminuye el salpicamiento de las partículas de suelo, por lo tanto hay menor acarreo de sedimentos.
- c) Las prácticas mecánicas propician la remoción del suelo y la alteración la estructura del mismo, mejorando la capacidad de infiltración y disminuyendo el poder erosivo del agua, además la planta tiene un lugar mas propicio para el desarrollo radicular.
- d) Las Unidades de Suelo existentes en la subcuenca del Lago de Guadalupe, presentan diferentes pérdidas de suelo bajo condiciones climáticas iguales.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

### 5.1 Localización Geográfica y Política

**Localización geográfica:** La subcuenca del lago de Guadalupe se localiza sobre la vertiente oriental de la Sierra de Monte Alto. Geográficamente se ubica entre las coordenadas  $99^{\circ} 14' 05''$  y  $99^{\circ} 31' 13''$  de longitud Oeste y entre los  $19^{\circ} 28' 52''$  y  $19^{\circ} 31' 13''$  de latitud Norte (Ver croquis de localización).

**Localización política:** El área que abarca la subcuenca del lago de Guadalupe, incluye varios municipios del Estado de México que son: Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Isidro Fabela y Jilotzingo; colinda al Sur con los poblados de San Luis Ayucan, Santa Ana Xilotzingo y Santiago Tepatlaxco; al Poniente con el Valle de Toluca; al Oriente con el Valle de Cuautitlán y al Norte con los poblados de Santiago Cuautlalpan y Nicolás Romero.



**Superficie de estudio:** El área total en estudio es de 275.87 Km<sup>2</sup>, equivalente a 27,587 ha. Esta superficie está ocupada principalmente por bosque, agricultura de temporal y ganadería, aunque en la parte baja cercana a la presa de Guadalupe, tiene un alto grado de urbanización. La subcuenca tiene una longitud máxima aproximada de 29.5 km de Este a Oeste (parte más alta de la cuenca a la cortina de la presa) y la parte más ancha es de 19.5 km aproximadamente de Sur a Norte.

## **5.2 Relieve**

El relieve que presenta la subcuenca es principalmente accidentado con fuertes pendientes que llegan a rebasar el 30 %, existen otras áreas con relieve menos accidentado que el anterior, con pendientes de 8 a 20 %, y por último también se presentan mínimas áreas con pendientes menores al 8 % las cuales se encuentran en pequeñas mesetas a través de toda la subcuenca y principalmente cerca del Lago de Guadalupe. Las elevaciones mayores son el cerro La Catedral (3,850 msnm), cerro Las Palomas (3,700 msnm) y cerro Las Navajas (3,650 msnm) al Este de la subcuenca.

## **5.3 Región Fisiográfica e Hidrológica**

**Región fisiográfica :** El Estado de México y Ciudad de México cuentan con 14 subregiones con dominancia de alturas mayores a los 2000 msnm y precipitaciones que van de los 600 a los 1200 mm. La subcuenca del Lago de Guadalupe queda enclavada en su totalidad en la Región Sierra Monte de las Cruces.

**Región hidrológica:** La subcuenca del Lago de Guadalupe pertenece a la Región Hidrológica denominada Pánuco, a la Subregión Hidrológica No. 26 - 1 denominada Valle de México y a la Cuenca Hidrológica llamada Cuautitlán.

## **5.4 Geología**

La geología se compone de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas que al intemperizarse a través del tiempo, han formado las geoformas y diferentes tipos de suelo. Las rocas ígneas más comunes e identificadas son del tipo de lavas y tobas volcánicas, basaltos, riolitas y andesitas; de las

rocas sedimentarias las que se han identificado son calizas, conglomerados, lutitas y material detrítico; y en cuanto a las rocas metamórficas las mas comunes son los gneiss, esquistos, mármoles y cuarcitas (Atlas Nacional del Medio Físico, 1981).

## **5.5 Geomorfología**

La orografía del Estado de México presenta un carácter abrupto, con una gran variedad de geoformas como son sierras, montañas, valles, planicies aluviales, terrazas, barrancas y cuencas. En este caso en especial y a través de toda el área en estudio las geoformas que prevalecen son los montes, lomeríos y pequeños valles.

## **5.6 Clima**

### **5.6.1 Vientos**

A la Subregión Hidrológica del Valle de México a la que pertenece la Cuenca Hidrológica de Cuautitlán donde queda enclavada la subcuenca del Lago de Guadalupe, llegan los vientos alisios del hemisferio Norte. En el verano, la zona subtropical de alta presión se encuentra desplazada hacia el Norte, el anticiclón de las Bermudas se mueve hacia el Oeste en el Golfo de México, produciendo los vientos alisios, soplando en el Valle de México con dirección Noreste - Sureste, precipitando la humedad que traen consigo, ocasionados por los movimientos convectivos del aire y por el enfriamiento adiabático producido por el ascenso sobre las laderas montañosas. También en verano y parte del otoño en los mares se originan tormentas ciclónicas con trayectorias variadas, que cuando se acercan a la costa y se internan al país producen precipitaciones en toda la Subregión Hidrológica del Valle de México.

En el invierno la faja subtropical de alta presión se desplaza hacia el sur, quedando bajo la influencia de los vientos del Este, que en estas latitudes son vientos predominantes secos, que es lo que produce sequía en esta época del año. También se desplazan al Sur masas de aire polar continental, procedentes del Norte de los Estados Unidos y Sur de Canadá, originando los " Nortes" en el Golfo de México, influyendo en la Subregión Hidrológica del Valle de México al producir

descensos de temperatura, nubosidades y algunas precipitaciones de dos o tres días. En esta época, la Subregión Hidrológica del Valle de México se ve afectada por masas de aire frío y seco procedente de la gran cuenca del Oeste de los Estados Unidos, que producen las ondas frías características del Invierno.

### **5.6.2 Temperatura**

Debido a la baja latitud de la subcuenca, la insolación es casi uniforme durante todo el año, teniendo una temperatura media máxima de 18.4 °C en la época seca por la poca nubosidad, y una temperatura media mínima de 12.6 °C debido a la circulación vigorosa del aire.

La altitud en el Valle de México muestra una influencia clara en la temperatura, de tal manera que las isotermas se aproximan bastante a las curvas de nivel de la topografía. La isoterma anual de 15 °C coincide mucho con la curva de nivel de 2,300 msnm, y a medida que asciende, la temperatura disminuye en un promedio de 0.49 °C por cada 100 m, originando que en la parte mas alta de la subcuenca (Cerro Catedral 3,850 msnm) corresponda a la isoterma de 8.8 °C.

La subcuenca presenta dos zonas térmicas que son: una zona templada con temperatura media anual entre los 12 °C y 18 °C hasta la cota 2,800 msnm y una zona semifría con media anual entre los 5 °C y los 12 °C a partir de los 2,800 msnm.

### **5.6.3 Precipitación**

La precipitación media anual en la estación climatológica de la Presa de Guadalupe es de 711.8 mm. Precipitando la mayor parte en los meses de mayo a octubre con 637.6 mm que es el 89.49 % , y el resto de noviembre a abril con 74.2 mm que es el 10.51 % del total, siendo esta precipitación de tipo orográfico y convectivo, teniendo la fuente de humedad de los vientos alisios (Cuadro 4).

CUADRO No. 4 DATOS DE PRECIPITACION Y TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES

MES	PREC (mm)	TEMP (T <sup>0</sup> )	MES	PREC (mm)	TEMP (T <sup>0</sup> )
Enero	12.7	12.6	Julio	136.0	17.6
Febrero	2.5	13.9	Agosto	131.0	17.7
Marzo	6.2	16.4	Septiembre	121.0	17.0
Abril	27.1	17.9	Octubre	66.5	15.7
Mayo	57.1	18.4	Noviembre	20.0	14.2
Junio	126.0	18.4	Diciembre	5.7	12.9
TOTAL				711.8	X= 16

Fuente : SMM

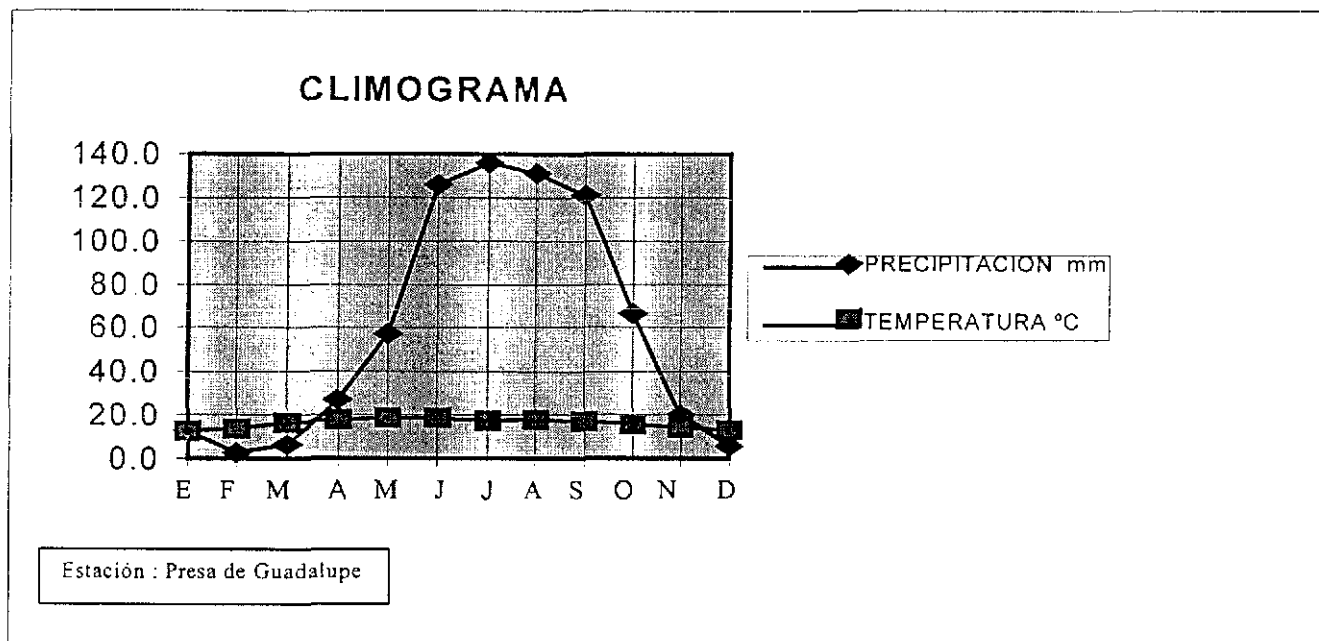


Fig. 7 Climograma

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### 5.6.4 Tipos de Clima

El Valle de México se encuentra al sur del paralelo 20° N dentro de la zona tropical, pero debido a su gran altura sobre nivel del mar (2,243 msnm) le confiere un clima de las zonas

templadas. La influencia orográfica es muy marcada en la temperatura, precipitación y en el movimiento atmosférico del aire., lo que explica la diversidad climática dentro de una zona tan pequeña como lo es el Valle de México. En el área de estudio se presentan dos tipos de clima identificados según García ( 1981 ) :

C ( W<sub>2</sub> ) ( W ) b i ... En la zona no mayor a los 2,800 msnm

C ( W<sub>2</sub> ) ( W ) b' i ..... En la zona mayor a los 2,800 msnm

#### Donde :

C ( W<sub>2</sub> ) = Clima templado subhúmedo con lluvias abundantes en verano.

( W ) = Con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % del total anual.

b = Templado con verano fresco y largo ( temperatura media anual entre 12 y 18 ° C, temperatura media del mes mas frío - 3 a 18 ° C y temperatura media del mes mas caliente entre 6.5 y 22 ° C ).

b' = Semifrío con verano fresco y largo ( temperatura media anual entre 5 ° y 12 ° C, temperatura media del mes mas frío - 3 a 18 ° C y temperatura media del mes mas caliente entre 6.5 y 22 ° C ).

i = Isotermal , con oscilaciones anuales de temperatura menor de 5 ° C.

### 5.7 Hidrografía

En la parte alta de la subcuenca persisten en gran parte del año precipitaciones, por lo que los escurrimientos son todo el año, además la presencia de vegetación hace que esta agua se infiltre y escurra por todos los manantiales que conforman el drenaje de tipo dendrítico o arborescente de la subcuenca. La principal corriente que alimenta al Lago de Guadalupe es el río Cuautitlán, que es alimentado por varios arroyos a través de su trayectoria, otros arroyos de importancia dentro de la cuenca son la Concepción que aguas abajo se llama San Pedro, el Trigo, la Cañada, Xinte, Tecuané y Plan de Guadalupe.

El mayor cuerpo de agua en la subcuenca es el "Lago de Guadalupe" que esta en la parte más baja de la subcuenca, siguiéndole la Presa "Iturbide" situada en la parte mas alta de la subcuenca y la



Presa "La Colmena" que es el embalse más pequeño (Ver plano de Drenaje Natural de la Subcuenca).

## 5.8 Vegetación

La vegetación esta conformada principalmente por comunidades de bosque de coníferas y latifoliadas típicos de estos climas templados de montaña, matorrales y pastizales inducidos que están desapareciendo debido a la acción predatoria del ganado en la subcuenca.

Los bosques de coníferas están formados por diversas especies de pinos (Pinus sp) y oyamel (Abies religiosa), los cuales se localizan hacia la zona Suroeste y que es la zona más alta de la subcuenca

El bosque de latifoliadas conformado por diversas especies del género Quercus sp, asociada con bosque de pino, predominando las latifoliadas. Otro tipo de latifoliadas usadas en las reforestaciones para contener la erosión y fomentar la reforestación en la subcuenca es el Eucalyptus sp, que se localiza en mayor proporción en los alrededores de la Presa de Guadalupe, sobre todo en las zonas de los asentamientos humanos.

Otro tipo de vegetación son los matorrales de naturaleza inerme ( sin espinas ) constituida por los géneros Baccharis, Senecio, Salvia, Mimosa y Verbesina. Estos matorrales se encuentran dispersos a través de toda la subcuenca y sobre todo en la parte centro y suroeste de la misma.

Los pastos al igual que los matorrales existen de manera natural e inducidos entre el bosque, encontrándose también dispersos en toda la subcuenca, haciéndose mas evidente el pasto inducido en las cercanías a los centros de población, ya que tratan de proteger las áreas deforestadas ocasionadas por la urbanización. Los pastos mas comunes son la Festuca, Muhlebergia, Stipa, Aristida, Bromus y Bouteloa.

## 6. METODOLOGÍA Y MATERIALES

### 6.1 Metodología

#### 6.1.1 Actividades de gabinete

En esta etapa se recopiló la información básica en cuanto a climatología y geología con cartas de escala 1:500,000 del Atlas Nacional del Medio Físico; para la topografía, edafología e hidrología, se utilizaron las cartas temáticas de INEGI escala 1:50,000 con clasificación E 14 - A 28, E 14 - A 29, E 14 - A 38 Y E 14 - A 39. Las cartas topográficas sirvieron para realizar el plano base y el drenaje de la subcuenca y con los restantes se obtuvo la información edafológica e hidrológica de la misma.

Se utilizó un mosaico fotográfico escala 1: 20 000 del año de 1990 de la subcuenca, facilitado por el Gobierno del Estado, donde se tienen localizados los diferentes usos del suelo y el porcentaje de cubrimiento que hace del mismo, con base a los diferentes tipos de vegetación localizados en la subcuenca, los cuales se vaciaron al plano topográfico base, generándose el plano de Uso Actual del Suelo. Este plano sirve para obtener los diferentes valores que el factor "C" adquiere de acuerdo al tipo y grado de cubierta vegetal del suelo presente.

Con base a las Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC y el plano topográfico base se realizó el plano Edafológico de Clasificación de Suelos de la subcuenca, que sirve para inferir las características físicas y químicas de los suelos y la importancia que tienen estas en el proceso de erosión de los suelos.

El plano topográfico base presenta los principales ríos (drenaje natural) de la subcuenca, el cual sirve para delimitar las longitudes (no mayores de 200 m) y cambios de pendiente del terreno, con lo cual se obtienen los valores de los factores longitud de la pendiente (L) y gradiente de la pendiente (S).

### **6.1.2 Actividades de campo**

Se hizo un recorrido previo al levantamiento de suelos, con la finalidad de reconocer el área y los caminos de acceso, así también, se fueron seleccionando los posibles sitios de muestreo, tanto para la apertura de pozos edafológicos como para la identificación de la cobertura vegetal que presentan las diferentes áreas que sirvieron de apoyo para los cálculos de pérdidas de suelo.

Posteriormente, se hicieron recorridos para la apertura y descripción de los perfiles de suelo y la toma de muestras por estrato u horizonte identificado. El número de pozos se determinó con base a la homogeneidad de los suelos y la distribución de las Unidades de Suelo en el área de estudio, con el fin de tener datos que permitieran caracterizar física y químicamente a éstos y clasificarlos taxonómicamente. Con base en esta caracterización se pueda utilizar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo para calcular y estimar las pérdidas de suelo. Al mismo tiempo se tomaron datos del sitio del perfil y de áreas representativas con características erosivas, que dan la pauta para hacer una interpretación mas precisa de las condiciones en que se encuentran los suelos, ya sea con cultivo, desnudos y/o erosionados, o bien, protegidos con vegetación de bosque, herbáceo y/o de pastizal.

### **6.1.3 Trabajo de laboratorio**

Las muestras de los diferentes horizontes y subhorizontes definidos en la descripción de los perfiles de suelo directamente en el campo, fueron llevadas al laboratorio para su preparación (secado y tamizado) y realizar los análisis y determinaciones físico – químicas. Esto con la finalidad de tener datos cuantitativos de las propiedades de los suelos, que darán la pauta para la descripción, caracterización y clasificación taxonómica de éstos.

#### **6.1.3.1 Propiedades físicas**

Algunas de las propiedades físicas mas útiles para caracterizar a un suelo y clasificarlo, así como para obtener algunos los datos para la utilización de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se determinaron en el laboratorio por diferentes métodos. Las determinaciones y los métodos

empleados se enlistan en el siguiente cuadro 5 .

**CUADRO No. 5 METODOS PARA LA DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS**

DETERMINACIÓN	METODO
Densidad aparente	Parafina
% de humedad a C C (%)	Olla de presión
% de humedad a P.M.P (%)	Extractor de presión
Textura	Hidrómetro de Bouyucos
% Limos + % Arenas muy finas	Pipeta
Color (seco y húmedo)	Carta Munsell
C.E. extracto de saturación (mmhos/cm)	Puente de conductividad

### 6.1.3.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas de mayor utilidad determinadas en el laboratorio para caracterizar un suelo para su manejo, clasificación taxonómica y fertilidad son realizadas bajo los siguientes métodos (Ver Cuadro 6).

**CUADRO No. 6 METODOS PARA LA DETERMINACION DE PROPIEDADES QUIMICAS**

DETERMINACIONES	METODO
pH en agua (1:2)	Potenciometro
Materia orgánica (%)	Walkley - Black
Fósforo aprovechable ( ppm )	Bray P1
Carbonatos de calcio ( % )	Neutralización ácida
CIC ( me / 100 gr )	Acetato de amonio
Cat. Int. Calcio ( me/100gr)	Estearato de amonio
Cat. Int. Magnesio ( me/100gr)	Amarillo de titán
Cat. Int. Sodio ( me/100gr)	Flamómetro
Cat. Int. Potasio ( me/100gr)	Flamómetro
Agua en el suelo a saturación (%)	Pasta saturada

### 6.1.4 Identificación de Áreas Erosionadas

Las áreas con diferentes grados de erosión son caracterizadas con base a la cobertura vegetal o

grado de protección vegetal tanto aérea como terrestre. En este caso son considerados tanto la hojarasca y residuos vegetales depositados en el suelo como plantas y árboles de copa ancha y angosta. Estas características de la vegetación son consideradas para identificar y clasificar los diferentes tipos y grados de erosión que de acuerdo al plano de uso actual prevalecen en la subcuenca y que de cierta forma algunas fueron corroboradas en los recorridos de campo.

### 6.1.5 Descripción de la Estimación de Pérdidas de Suelo

En cuanto a la estimación de las pérdidas de suelo, se utilizó un modelo matemático que considera seis factores que afectan el proceso de erosión de los suelos, este modelo es la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS):

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

**Donde :**

**A** = Pérdida de suelo anual promedio ( t / ha / año ).

**R** = Factor erosividad de la lluvia y del escurrimiento.

**K** = Factor erosionabilidad del suelo ( t / ha / UIE ).

**L** = Factor longitud del gradiente ( adim )

**S** = Factor del efecto de pendiente ( adim )

**C** = Factor del efecto de cobertura ( adim )

**P** = Factor de prácticas mecánicas ( adim )

#### 6.1.5.1 Estimación del valor de los factores de la EUPS

**Factor erosividad de la lluvia ( R ):** Se calculó con base a la fórmula del Coeficiente Climático de Fournier o Índice de Fournier modificado por PNUMA. El cual se puede calcular con datos de precipitación promedios mensuales y total anual. En este caso, para los cálculos se utilizaron datos de la estación meteorológica de la Presa de Guadalupe, por ser la estación climatológica mas representativa , ya que está dentro del área de estudio.

El cálculo se realiza sumando las precipitaciones mensuales elevadas al cuadrado y dividiéndola entre la precipitación total anual ( ver cuadro 10 ). La fórmula utilizada en el cálculo del factor de erosividad de la lluvia es la siguiente:

$$Cr = \Sigma p^2 / P$$

Donde :

p = Precipitación media mensual ( mm )

P = Precipitación anual ( mm )

**Factor erosionabilidad del suelo ( K ):** Se utilizó el Nomograma desarrollado por Wischmeier (fig. 6), el cual utiliza datos de características físicas y biológicas del suelo como son: el % de limo + arena muy fina, % arena (ambos determinados por el método de la pipeta); % de materia orgánica, obtenido por el método de Walkley – Black; estructura determinada directamente en campo y permeabilidad de los suelos, determinado por la velocidad de infiltración del agua en el suelo por el método del infiltrómetro. El procedimiento para obtener el valor del factor K con el uso del Nomograma se describe a continuación y los valores obtenidos se presentan en el cuadro 11:

- a) Se inicia en el nomograma por la escala vertical de la izquierda de la primera sección con el valor obtenido del **% de limos + arenas muy finas** ( 0.002 mm - 0.1 mm ).
- b) Se continúa horizontalmente hasta interceptar la curva mas cercana correspondiente al **% de arenas** ( 0.1 mm - 2.0 mm ).
- c) Continuando verticalmente hasta interceptar la curva correspondiente al contenido de **materia orgánica** ( % M.O. ).
- d) Se prosigue horizontalmente hasta interceptar la curva del tipo de **estructura determinada**.
- e) Se continúa verticalmente hasta interceptar la curva de la **permeabilidad adecuada**.
- f) Por último se prosigue horizontalmente hasta interceptar la escala de **erosionabilidad del suelo** localizada en la margen izquierda de la segunda sección

del nomograma con lo cual se obtiene el valor de K.

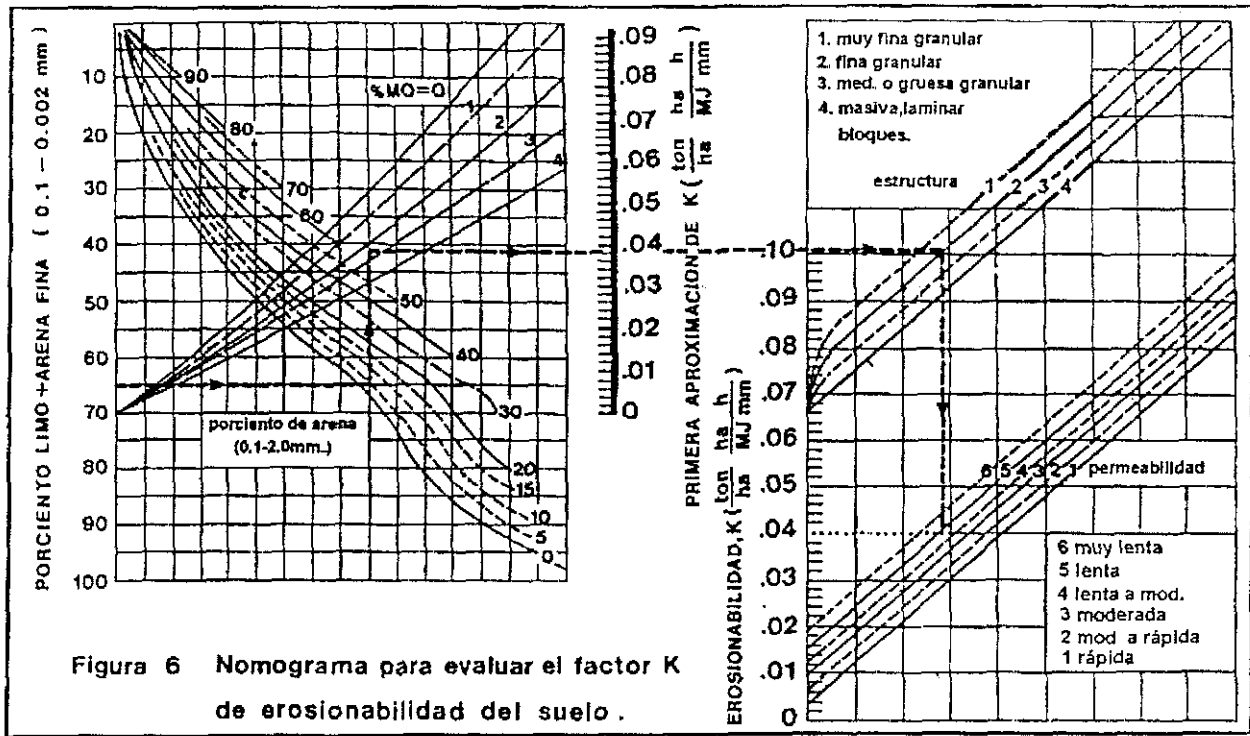


Fig. 6 Nomograma de Wischmeier

**Factor longitud de pendiente ( L ).** Se determinó directamente en el plano topográfico previamente identificado el drenaje, se marca una línea de la parte más elevada al drenaje perpendicular mas cercano. La longitud se obtiene multiplicando el valor en cm de la línea marcada por 500 m, equivalente a 1 cm en la escala 1 : 50,000 por tanto los resultados se obtienen en metros (cuadro 12). Una vez obtenida la longitud de la pendiente en campo se utiliza la ecuación generada por Wischmeier y Smith en 1965 para calcular el factor L :

$$L = ( X / 22.1 )^m$$

Donde :

L = Factor longitud de la pendiente

X = Longitud de la pendiente en campo

m = Exponente ( de acuerdo a la pendiente )

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**Valor del exponente m:**

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

$m = 0.4$  si la pendiente es menor al 5 %

$m = 0.3$  si la pendiente es menor o igual a 3 % ó mayor o igual al 1 %

$m = 0.2$  si la pendiente es menor 1 %

**Factor pendiente ( S ):** La pendiente de cada una de las áreas seleccionadas se obtiene dividiendo el valor del desnivel de la línea trazada entre la longitud calculada de esa línea multiplicada por 100, obteniendo el resultado en por ciento (%). El desnivel de la línea se determina con base a las curvas de nivel del plano. Por lo que utilizando la fórmula de Wischmeier y Smith se podrá calcular el factor S Cuadro 12):

$$S = 0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2$$

Donde :

S = Factor gradiente de la pendiente

s = Gradiente en %

**Factor cobertura vegetal ( C ):** Existen valores ya estimados y que vienen plasmados en el Manual de Predicción de Pérdidas de Suelo editado por el Colegio de Posgraduados que van de acuerdo al grado de protección del suelo, tipo y densidad de cobertura (cuadro 1).

**Factor prácticas de conservación ( P ):** Se determina con base a la existencia o no de obras de conservación de suelo. Los valores utilizados están en tablas que son obtenidos de datos estimados en el Manual de Predicción de Pérdida de Suelo editado por el Colegio de Posgraduados (cuadro 2 ).



## **6.2 Material y Equipo**

### **6.2.1 Material de campo**

El material y equipo utilizado en el trabajo de campo fue: camioneta, pala y pico, martillo pedológico, carta de colores Munsell, cinta - estatal de 2 m, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y HCl al 10 % , papel medidor de pH , clisímetro, altímetro, bolsas de polietileno de 4 kg y etiquetas, formatos para descripción de perfiles de suelo, garrafón con agua, libreta de campo y cámara fotográfica.

### **6.2.2 Material de gabinete**

El material y equipo utilizado en el trabajo de gabinete fue: Planos topográficos (4) y edafológicos (4) escala 1:50,000., planos geológicos y climáticos escala 1:500,000, así también un mosaico fotográfico de la subcuenca en blanco y negro, escala 1 : 20,000 del año de 1990, planímetro, mesa de luz y equipo de computo.

## 7. RESULTADOS

Los resultados del trabajo de investigación se presentan en cuadros para su análisis y representados y delimitados en planos, así como la descripción de los perfiles de suelos representativos para cada una de las Unidades de Suelo y el uso que actualmente tienen estos en la subcuenca, los cuales se describen a continuación:

### 7.1 Cartografía

Utilizando el plano topográfico base realizado con las cartas topográficas de INEGI ( Esc. 1:50 000 ), se obtuvieron cuatro planos que son: 1) Unidades de Suelo, 2) Uso actual del Suelo, 3) de Áreas Erosionadas, y 4) Drenaje y Sitios de Referencia (anexo de planos).

#### 7.1.1 Unidades de suelo FAO/UNESCO/ISRIC

En este plano se plasman las Unidades de Suelo tomadas de las cartas Edafológicas realizadas por INEGI, actualizando la clasificación de suelos FAO/UNESCO por la de FAO/UNESCO/ISRIC, obteniéndose la distribución y la superficie que ocupa cada Unidad de suelo.

Las principales Unidades de Suelo de acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO/ISRIC que se presentan en la subcuenca del lago de Guadalupe son los Andosoles mólicos ( ANm ), Luvisoles crómicos ( LVx ), Phaeozems lúvicos ( PHl ) , Vertisoles eútricos ( VRe ), Cambisoles húmicos (CMu) y Leptosoles líticos ( LPq ).

#### 7.1.2 Uso Actual del Suelo y de Áreas Erosionadas

Para la delimitación de los diferentes usos del suelo se utilizó un mosaico fotográfico en blanco y negro, confirmándose el uso que algunas áreas tienen en los recorridos de campo realizados, donde también se realizaron muestreos de suelo e identificación de vegetación. Con base a este plano generado se obtuvieron las superficies para cada uso del suelo.

7.1.3 El plano de áreas erosionadas se basa en la Clasificación de la Erosión FAO , la cual maneja clases de erosión de acuerdo al grado de erosión manifiesta. Es considerando para la realización de este plano el grado de alteración de la vegetación que protege al suelo y los valores obtenidos de pérdida de suelo o erosión actual (A), delimitándose las áreas con problemas de erosión y obteniéndose la superficie de las mismas.

#### **7.1.4 Drenaje natural y sitios de referencia**

En este plano es representado el drenaje natural de la subcuenca y se utilizó como base para ubicar los sitios de referencia para el cálculo de los factores LS de la Ecuación Universal.

### **7.2 Descripción interpretativa de las Unidades de Suelo obtenidas en campo**

#### **7.2.1 Andosol mólico ( ANm )**

Estos suelos presentan un horizonte A mólico; tienen una consistencia blanda y una textura que es franco limosa o mas fina sobre un promedio ponderado para todos los horizontes dentro de los 100 cm a partir de la superficie, carecen de propiedades gléyicas y de permafrost dentro de los 100 y 200 cm respectivamente.

Los Andosoles mólicos se localizan en la parte Oeste, Suroeste y Noroeste de la subcuenca, sobre todo en las partes altas de la sierra, abarcan una superficie de 12 497 ha que es el 45.3 % del total del área. Las pendientes son de moderadamente inclinadas a inclinadas, en general son mayores al 15 %, drenaje superficial rápido. La mayoría de estos suelos presentan vegetación de bosque, existiendo una superficie considerable con problemas de erosión.

## Descripción del perfil representativo

### Perfil de suelo 5

Localización : En el Cerro Prieto, a 3 Km de la Presa Iturbide (ver plano edafológico)

#### Profundidad

0 - 15 cm Horizonte húmedo con límite plano; color en seco 10 YR 3/3, pardo oscuro, en húmedo 10 YR 4/3 pardo grisáceo muy oscuro; textura franca; estructura de bloques subangulares, de tamaño medio y poco desarrollada; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces abundantes, finas, medianas y grandes, de tipo horizontal y vertical; pH ácido y muy alto contenido de MO.

#### Profundidad

15 - 30 cm Horizonte húmedo con límite plano; color en seco 10 YR, 3/3 pardo oscuro, en húmedo 10 YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro; textura franca; estructura de bloques subangulares, de tamaño medio y desarrollada; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; muchas raíces, finas y medianas, de tipo horizontal y vertical; pocas manchas chicas, de color amarillo; pH ácido y muy alto contenido de MO.

#### Profundidad

30 - 200 cm Horizonte húmedo con límite plano; color en seco 10 YR 3/3 pardo oscuro, en húmedo 10 YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro; textura franca; estructura de bloque subangulares, de tamaño medio y desarrollada; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl;

fuerte reacción al  $H_2O_2$ ; raíces pocas, finas de tipo horizontal; manchas pocas y chicas, de color amarillo; pH ácido y muy alto contenido de MO.

### Características complementarias del sitio del perfil del suelo No. 5

Geoforma	Montaña
Relieve	Ondulado
Pendiente	> 20 %
Drenaje superficial	Rápido
Modo de formación	In Situ
Grado de desarrollo	Joven
Vegetación	Oyamel y pastizal
Uso actual	Bosque

#### 7.2.2 Luvisol crómico ( LVx )

Son suelos que presentan un horizonte B árgico el cual es de pardo intenso a rojizo, sin horizontes E álbicos o cálcicos, sin plintita dentro de los 125 cm a partir de la superficie; sin propiedades vérticas, gléyicas, ni férricas; sin estancamientos dentro de los primeros 100 cm .

Los Luvisoles crómicos se localizan en la parte centro de la subcuenca, sobre todo en las pequeñas mesetas de la sierra, abarcan una superficie de 9 375 ha que es el 34 % del total del área.

Las pendientes son de planas a inclinadas, en general van de 3 a 15 %, drenaje superficial rápido. La mayoría de estos suelos son utilizados para actividades agrícolas y algo de bosque perturbado, existiendo muchos espacios desforestados y mal manejados que están ocasionando erosión en esos suelos.

## Descripción del perfil representativo

### Perfil de suelo No. 3

Localización : Sobre la curva de la carretera a Transfiguración (Ver plano edafológico)

#### Profundidad

0 - 15 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/4 pardo amarillento oscuro, en húmedo 10 YR 4/3 pardo oscuro; textura franca; estructura en bloques subangulares, de tamaño medio y ligeramente desarrollada; consistencia en seco duro, en húmedo firme y cuando saturado pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; nula reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces abundantes, finas, medianas y grandes, de tipo horizontal y vertical; pH ácido y sin MO.

#### Profundidad

15 - 35 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/4 pardo amarillento oscuro, en húmedo 10 YR 4/3 pardo oscuro; textura franca; estructura de bloque subangulares, de tamaño medio y ligeramente desarrollada; consistencia en seco muy duro, en húmedo firme y cuando saturado pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; nula reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces muchas, finas y medianas, de tipo horizontal y vertical; pH muy ácido y sin MO.

#### Profundidad

35 - 200 cm: Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 5/4 pardo amarillento. en húmedo 10 YR 4/3 pardo oscuro; textura franca arcillosa; estructura de bloque subangulares, de tamaño medio y desarrollada; consistencia en seco muy dura, en húmedo firme y en saturado pegajoso; pocos poros medianos y muchos finos; sin reacción al HCl; nula reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; pocas raíces, finas de tipo horizontal; pH muy ácido y muy bajo contenido de MO.

### Características complementarias del sitio del perfil de suelo No. 3

Geoforma	Lomerío
Relieve	Ondulado
Pendiente	15 %
Drenaje superficial	Rápido
Medo de formación	In Situ
Grado de desarrollo	Maduro
Vegetación	Tepozán, jaras y encino
Uso actual	Agricultura

#### 7.2.3 Cambisol húmico ( CMu )

Son suelos que presentan un horizonte A mólico por encima de un B cámbico, con una saturación de bases menor al 50 %, sin propiedades vérticas ni férricas en el horizonte cámbico; sin propiedades gléyicas dentro de los primeros 100 cm y sin permafrost dentro de los 200 cm a partir de la superficie.

Los Cambisoles húmicos se localizan en la parte centro y baja de la subcuenca, sobre todo alrededor del Lago de Guadalupe, abarcan una superficie de 1 310 ha que es el 4.7 % del total del área. Las pendientes son de ligeramente planas a inclinadas, en general van de 8 a 15 %, drenaje superficial rápido. La mayoría de estos suelos son utilizados para la construcción de casas habitación y otras mas han sido reforestadas con Eucaliptos, huisache y pirú, existiendo muchos espacios desforestados por el aprovechamiento clandestino que se hace de la madera, lo que propicia la erosión acelerada en estos suelos.

## Descripción del perfil representativo

### Perfil de suelos No. 8

Localización : Sobre la curva de la carretera en Bosques del Lago

#### Profundidad

0 - 10 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/3 pardo oscuro, húmedo 10 YR 4/2 pardo grisáceo oscuro; textura franca; estructura en bloques subangulares, de tamaño medios y ligeramente desarrollada; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; fuerte reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces abundantes, finas, medianas y grandes, de tipo horizontal y vertical; con muchos fragmentos rocosos de forma prismática y tamaño medio, poco intemperizadas; pH muy ácido y altos contenidos de MO.

#### Profundidad

10 - 35 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/3 pardo oscuro, húmedo 10 YR 4/3 pardo grisáceo oscuro; textura franco arcillo arenosa; estructura de bloque subangulares, de tamaño medio y desarrollada; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl, poca reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces muchas, finas y medianas, de tipo horizontal y vertical; pocos fragmentos rocosos prismáticos de tamaño mediano, poco intemperizados; pH muy ácido y medianos contenidos de M.O.

#### Profundidad

35 - 77 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/3 pardo oscuro, en húmedo 10 YR 4/2 pardo grisáceo oscuro; textura franco arcillo arenosa; estructura de bloque subangulares, de tamaño grandes y medianas y



desarrollada; consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso adherente; pocos poros medianos y muchos finos; sin reacción al HCl; baja reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces pocas, finas de tipo horizontal; pocos fragmentos rocosos prismáticos de tamaño mediano, poco intemperizados; pH muy ácido y contenidos medios de M.O.

### **Profundidad**

77 - 125 cm: Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/3 pardo oscuro, en húmedo 10 YR 4/2 pardo grisáceo oscuro; textura franco arcillo arenosa, estructura de bloque subangulares, de tamaño grandes y medianas y desarrollada; consistencia en seco dura, en húmedo firme y cuando saturado ligeramente pegajoso; pocos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; baja reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; raíces nulas; pocos fragmentos rocosos prismáticos de tamaño mediano, poco intemperizados; pH muy ácido y bajos contenidos de MO.

### **Características complementarias del sitio del perfil de suelo No. 8**

Geoforma	Lomerío
Relieve	Ondulado
Pendiente	8 %
Drenaje superficial	Rápido
Modo de formación	In Situ
Grado de desarrollo	Ligeramente desarrollado
Vegetación	Eucalipto, pirú, huisache, jaras
Uso actual	Urbano y bosque

### 7.2.4 Vertisol eútrico ( VRe )

Son suelos que presentan una saturación de bases del 50 % o mas dentro de los primeros 50 cm de profundidad a partir de la superficie, sin horizonte cálcico o yésico. Los Vertisoles eútricos se localizan en la parte norte de la subcuenca, a un lado de la presa de Guadalupe, abarcan una superficie de 2 280 ha que es el 8.3 % del total del área. Las formas de las pendientes son planas y onduladas, en general van de 3 a 8 %, drenaje superficial rápido e interno lento, poco profundos. La mayoría de estos suelos son utilizados para actividades agrícolas mal manejados que están ocasionando erosión severa en esos suelos.

#### Descripción del perfil representativo

##### Perfil de suelo No. 10

Localización : A un lado de la carretera que va a Villa Nicolás Romero, parcela de los señores Pérez Fuentes

##### Profundidad

0 - 25 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/4 pardo amarillento oscuro, en húmedo 10 YR 4/3 pardo oscuro; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares, de tamaño grandes muy desarrollada; consistencia en seco muy dura, en húmedo firme y cuando saturado muy pegajoso; muchos poros medianos y finos; sin reacción al HCl; ligera reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; sin raíces; pH muy ácido y medianos contenidos de M.O.

##### Profundidad

25 - 60 cm Horizonte húmedo con límite plano; color en seco 10 YR 4/4 pardo amarillento oscuro, en húmedo 10 YR 4/3 pardo oscuro; textura arcillo arenosa; estructura de bloque subangulares, de tamaño grande y medio y muy desarrollada; consistencia en seco muy dura, en húmedo muy firme y cuando saturado muy pegajoso; pocos poros finos; sin reacción al HCl; ligera

reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; sin raíces; pH muy ácido y altos contenidos de M.O.

### Características complementarias del sitio del perfil No.10

Geoforma	Meseta
Relieve	Plano
Pendiente	3 %
Drenaje superficial	Rápido
Modo de formación	In Situ
Grado de desarrollo	Ligeramente desarrollado
Vegetación	Huisache y pirú
Uso actual	En descanso

#### 7.2.5 Phaeozems lúvico ( PHI )

Son suelos que presentan una saturación de bases del 50 % o más dentro de los primeros 50 cm a partir de la superficie, no son calcáreos dentro de la misma profundidad y carecen de permafrost dentro de los 200 cm a partir de la superficie.

Los Phaeozems lúvicos se localizan distribuidos en toda la subcuenca, principalmente en la parte sureste, abarcan una superficie de 560 ha que es el 2.0 % del total del área. Las pendientes son inclinadas, en general son mayores a 8 %, drenaje superficial rápido y drenaje interno lento, con profundidad no mayor a 110 cm en promedio. La mayoría de estos suelos están protegidos por el bosque y en las áreas deforestadas están severamente erosionados.

#### Descripción del perfil de suelo representativo

##### Perfil de suelo No. 6

Localización : A un lado de la carretera que va de San Ildefonso a Progreso (Industrial)

**Profundidad**

0 - 15 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/3 pardo oscuro, en húmedo 10 YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro; textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares, de tamaño pequeño muy desarrollada; consistencia en seco dura, en húmedo firme y cuando saturado pegajoso; abundantes poros medianos y finos; sin reacción al HCl; nula reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; abundantes raíces, finas y medianas; pH ligeramente ácido y mediano contenido de MO.

**Profundidad**

15 - 110 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/3 pardo oscuro, en húmedo 10 YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro; textura franco arcillosa; estructura de bloque subangulares, de tamaño pequeño y ligeramente desarrollada; consistencia en seco dura, en húmedo firme y cuando saturado pegajoso; abundantes poros medios y finos; sin reacción al HCl; nula reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; sin raíces, pH ligeramente ácido y mediana contenido de MO.

**Características complementarias del sitio del perfil No.6**

Geoforma	Lomerío
Relieve	Ondulado
Pendiente	> 8 %
Drenaje superficial	Rápido
Modo de formación	In Situ
Grado de desarrollo	Ligeramente desarrollado
Vegetación	Matorral y Eucaliptus sp
Uso actual	Bosque inducido

### 7.2.6 Leptosol líticos ( LPq )

Son suelos que están limitados en profundidad por roca dura y continua o una capa cementada y continua dentro de los 10 cm a partir de la superficie. Los Leptosoles líticos se localizan distribuidos a través de toda la subcuenca, abarcan una superficie de 1 078 ha que es del 3.9 % del total del área. Las pendientes son inclinadas, en general son mayores a 8 %, drenaje superficial rápido, con profundidad no mayor a 10 cm en promedio. La mayoría de estos suelos están ligeramente protegidos de vegetación, por lo que su grado de erosión es severa.

#### Descripción del perfil de suelo representativo

##### Perfil de suelo No. 12

Localización : A un lado de la carretera que va a Isidro Fabela

##### Profundidad

0 - 10 cm Horizonte seco con límite plano; color en seco 10 YR 4/2 pardo grisáceo oscuro, en húmedo 10 YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro; textura franco arcillo limosa; estructura de bloques subangulares, de tamaño pequeño débilmente desarrollada; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable y cuando saturado ligeramente pegajoso ; abundantes poros medianos y finos; sin reacción al HCl; nula reacción al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; abundantes raíces, finas y medianas; pH ligeramente ácido y muy bajo contenido de MO.

#### Características complementarias del sitio del perfil del suelo No.12

Geoforma	Lomerío
Relieve	Ondulado
Pendiente	> 8 %
Drenaje superficial	Rápido
Modo de formación	In Situ

Grado de desarrollo	poco desarrollado
Vegetación	Matorral y pastizal
Uso actual	pastizal

De acuerdo a la delimitación de las Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC realizadas en el plano del mismo nombre (ver anexo), la superficie y el porcentaje de estas Unidades se representan en el cuadro 7.

CUADRO 7 UNIDADES DE SUELO FAO/UNESCO/ISRIC

UNIDAD DE SUELO	CLASIFICACION DE SUELO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)
Andosol mólico	ANm	12 541	45.5
Luvisol crómico	LVx	9175	33.2
Vertisol eútrico	VRe	2213	8.0
Cambizol húmico	CMu	1285	4.7
Phaeozems lúvico	PHI	1065	3.9
Leptosol lítico	LPq	963	3.5
Cuerpos de agua		345	1.2
<b>TOTAL</b>		<b>27 587</b>	<b>100.0</b>

### 7.3 Uso Actual del Suelo

La subcuenca presenta una diversidad de usos, sobresaliendo el forestal con 13 123 ha (47.6 %) del total de la superficie estudiada, la superficie de matorrales es de 1 778 ha (6.4 %), la superficie de pastizales es de 3 268 ha (11.8 %) y la superficie agrícola es de 5 200 ha (8.8 %), por último la zona urbana abarca una superficie de 3,873 ha (14.0 %) del total estudiado (Cuadro 8).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CUADRO 8. USO ACTUAL DEL SUELO

Uso del Suelo	Clave	Superficie (H2)	%
<b>Agrícola</b>	<b>A</b>	<b>5,200</b>	<b>18.8</b>
Agricultura intensiva	Ai	3,800	13.8
Agricultura degradada	Ad	1,400	5.1
<b>Matorral</b>	<b>M</b>	<b>1,778</b>	<b>6.4</b>
Matorral permanente	Mp	38	0.1
Matorral alterado	Ma	1,740	6.3
<b>Pastizal</b>	<b>P</b>	<b>3,268</b>	<b>11.8</b>
Pastizal permanente	Pp	1,430	5.2
Pastizal alterado	Pa	755	2.7
Pastizal totalmente alterado	Pt	1,083	3.9
<b>Bosque</b>	<b>B</b>	<b>13,123</b>	<b>47.6</b>
Bosque integro	Bi	12,280	44.5
Bosque alterado	Ba	683	2.5
Bosque totalmente alterado	Bt	160	0.6
<b>Zona urbana</b>	<b>Zu</b>	<b>3,873</b>	<b>14.0</b>
<b>Cuerpos de agua</b>	<b>Ca</b>	<b>345</b>	<b>1.3</b>
<b>Total</b>		<b>27,587</b>	<b>100</b>

Esto muestra que el recurso forestal es el que ocupa mayor superficie, por lo cual, es el mas importante al igual que el suelo en la zona; le sigue la superficie agrícola con cultivos como el maíz principalmente, algunas hortalizas y en menor cantidad los frutales. Si no se tiene cuidado con el cambio de uso del suelo a urbano, sobre todo en las cercanías de la Presa de Guadalupe, este puede incrementar mucho en corto tiempo.

#### 7.4 Clasificación de las áreas erosionados

Las áreas erosionadas detectadas en sus diferentes clases son determinadas con base al cálculo de la pérdida de suelo en forma laminar de los sitios de referencia por Unidad de suelo y la cobertura vegetal existente (cuadro 9)



Cuadro 9. Clases de erosión

Clase	Nombre de la erosión	Superficie (Ha)
2	Leve	17,548
3	Moderada	4,578
4	Severa	1,243

### 7.5 Cuadros de resultados del cálculo de pérdidas de suelo

Se presentan cinco cuadros donde se realizan los cálculos de pérdidas de suelo de acuerdo a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo ( EUPS ).

- **Cuadro 10** Cálculo del factor R erosividad de la lluvia.
- **Cuadro 11** Cálculo del factor K erosionabilidad del suelo
- **Cuadro 12** Cálculo de longitudes y pendientes del terreno
- **Cuadro 13** Cálculo de los factores L longitud de pendiente y S gradiente de la pendiente
- **Cuadro 14** Cálculo de las estimaciones de pérdida de suelo por la EUPS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Cuadro 10: Cálculo de la erosividad de la lluvia ( R )  
Subcuenca de la Presa de Guadalupe**

Mes	Ppcion.media mensual (mm)	X <sup>2</sup>
Enero	12.7	161.3
Febrero	2.5	6.3
Marzo	6.2	38.4
Abril	27.1	734.4
Mayo	57.7	3329.3
Junio	126.0	15876.0
Julio	136.0	18496.0
Agosto	131.1	17187.2
Septiembre	121.7	14810.9
Octubre	66.5	4422.3
Noviembre	20.0	400.0
Diciembre	5.7	32.5
	<b>713.2</b>	<b>75494.5</b>

Valor de ( R ) = 105.85

Estación Climática : Presa de Guadalupe

Período de observación : 1951 a 1981

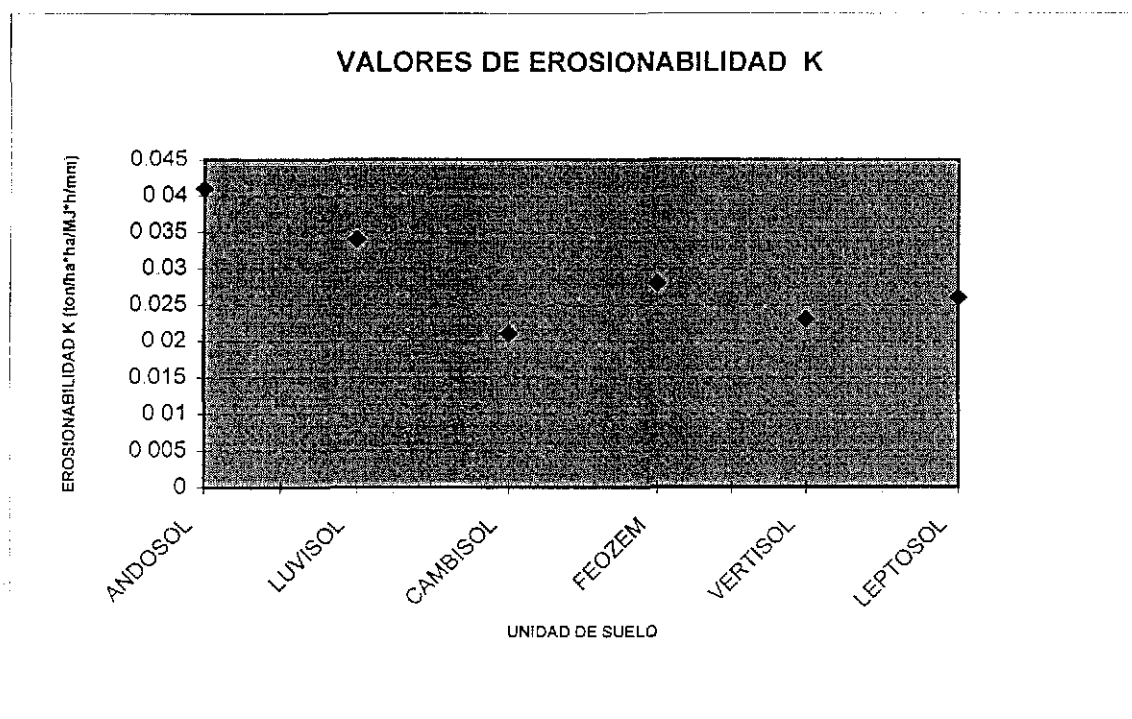
Coordenadas : Latitud 19° 38'  
Longitud 99° 16'  
Altitud 2290 msnm

Cuadro 11:

## Cálculo de la erosionabilidad (K)

UNIDAD	% LIMO + ARENA MUY FIN	DE ARENA	% M. O.	ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD	VALOR K
*ANDOSOL	$63.20 + 1.40 = 64.60$	19.2	7.06	BLOQUES	MODERADA	0.041
LUVISOL	$30.40 + 12.00 = 42.40$	39.2	2.3	BLOQUES	MODERADA	0.034
CAMBISOL	$10.40 + 13.63 = 24.03$	49.6	5.05	BLOQUES	MODERAD LENTA	0.021
FEOZEM	$25.80 + 11.60 = 37.40$	34.2	1.8	BLOQUES	MODERAD. LENTA	0.028
VERTISOL	$14.80 + 6.80 = 21.60$	43.2	2.09	BLOQUES	LENTA	0.023
LEPTOSOL	$15.30 + 12.61 = 27.91$	50.41	0.87	BLOQUES	MODERADA	0.026

\* Los valores de granulometría obtenidos para los andosoles por el método de la pipeta, no tuvieron el tratamiento químico previo de deferración, por lo que solo se observaron pseudo estructuras en microscopio de rayos X, obteniéndose valores de éstas de 58, 62 y 63 %.



Cuadro 12: Longitudes y pendientes del terreno

Punto de Referencia	Lectura ( cm )	Esc. 1:25,000 (1cm = 250m)	Longitud ( m )	Desnivel ( m )	Pendiente ( % )	Promedio ( % )
1	0.7	250	175	50	28.6	17.3
	0.9	250	225	30	13.3	
2	0.4	250	100	10	10.0	33.9
	0.8	250	200	70	35.0	
3	0.9	250	225	90	40.0	14.9
	0.6	250	150	40	26.7	
4	0.6	250	150	30	20.0	9.0
	0.7	250	175	20	11.4	
5	0.9	250	225	30	13.3	7.6
	0.7	250	175	10	5.7	
6	0.7	250	175	20	11.4	14.2
	0.4	250	100	10	10.0	
7	0.7	250	175	20	11.4	31.4
	0.6	250	150	10	6.7	
8	0.9	250	225	10	4.4	16.7
	0.5	250	125	10	8.0	
9	0.8	250	200	30	15.0	22.0
	0.6	250	150	20	13.3	
10	0.7	250	175	60	34.3	15.5
	0.5	250	125	50	40.0	
11	0.8	250	200	40	20.0	10.7
	0.9	250	225	30	13.3	
12	0.8	250	200	40	20.0	9.3
	0.5	250	125	30	24.0	
13	0.9	250	225	30	13.3	20.4
	0.7	250	175	30	17.1	
14	0.5	250	125	20	16.0	15.0
	0.8	250	200	20	10.0	
15	0.5	250	125	20	16.0	7.5
	0.6	250	150	10	6.7	
16	0.4	250	100	10	10.0	9.4
	0.8	250	200	20	10.0	
17	0.8	250	200	15	7.5	7.7
	0.7	250	175	30	17.1	
18	0.8	250	200	40	20.0	7.5
	0.5	250	125	30	24.0	
19	0.8	250	200	20	10.0	7.7
	0.8	250	200	40	20.0	
20	0.8	250	200	15	7.5	7.7
	0.7	250	175	20	11.4	
	0.5	250	125	5	4.0	

## Longitudes y pendientes del terreno

Punto de Referencia	Lectura ( cm )	Esc. 1:25,000 (1cm = 250m)	Longitud ( m )	Desnivel ( m )	Pendiente ( % )	Promedio ( % )
21	0.8	250	200	20	10.0	7.5
	0.8	250	200	10	5.0	
22	0.7	250	175	15	8.6	7.9
	0.7	250	175	15	8.6	
23	0.6	250	150	10	6.7	10.5
	0.8	250	200	30	15.0	
	0.5	250	125	10	8.0	
24	0.7	250	175	15	8.6	16.6
	0.5	250	125	20	16.0	
25	0.7	250	175	30	17.1	8.3
	0.6	250	150	10	6.7	
26	0.8	250	200	20	10.0	14.7
	0.6	250	150	20	13.3	
27	0.5	250	125	20	16.0	10.3
	0.7	250	175	20	11.4	
	0.6	250	150	5	3.3	
28	0.8	250	200	30	15.0	16.1
	0.7	250	175	30	17.1	
29	0.7	250	175	20	11.4	9.0
	0.6	250	150	10	6.7	
30	0.6	250	150	20	13.3	13.3
	0.8	250	200	10	5.0	
31	0.7	250	175	10	5.7	10.7
	0.5	250	125	20	16.0	
	0.5	250	125	20	16.0	
	0.8	250	200	10	5.0	
32	0.8	250	200	10	5.0	12.8
	0.6	250	150	20	13.3	
	0.6	250	150	30	20.0	
33	0.8	250	200	20	10.0	7.9
	0.7	250	175	10	5.7	
34	0.9	250	225	20	8.9	11.9
	0.8	250	200	30	15.0	
35	0.8	250	200	20	10.0	8.2
	0.6	250	150	10	6.7	
	0.5	251	126	10	8.0	
36	0.7	250	175	30	17.1	17.5
	0.9	250	225	40	17.8	
37	0.6	250	150	10	6.7	13.3
	0.6	250	150	20	13.3	
	0.6	250	150	30	20.0	
38	0.5	250	125	10	8.0	6.9
	0.7	250	175	10	5.7	
39	0.6	250	150	30	20.0	20.0
	0.7	250	175	20	11.4	
40	0.6	250	150	30	20.0	15.7
	0.8	250	200	30	15.0	
41	0.8	250	200	20	10.0	12.5
	0.8	250	200	20	10.0	

## Longitudes y pendientes del terreno

Punto de Referencia	Lectura ( cm )	Esc. 1:25,000 (1cm = 250m)	Longitud ( m )	Desnivel ( m )	Pendiente ( % )	Promedio ( % )
42	0.7	250	175	20	11.4	9.8
	0.8	250	200	20	10.0	
	0.5	250	125	10	8.0	
43	0.8	250	200	20	10.0	10.0
44	0.8	250	200	20	10.0	11.7
	0.9	250	225	30	13.3	
45	0.8	250	200	40	20.0	20.0
46	0.9	250	225	40	17.8	18.9
	0.8	250	200	40	20.0	
47	0.4	250	100	10	10.0	14.6
	0.7	250	175	20	11.4	
	0.9	250	225	50	22.2	
48	0.5	250	125	20	16.0	14.9
	0.5	250	125	20	16.0	
	0.8	250	200	30	15.0	
	0.7	250	175	20	11.4	
49	0.5	250	125	20	16.0	17.6
	0.7	250	175	20	11.4	
	0.7	250	175	30	17.1	
50	0.8	250	200	30	15.0	19.2
	0.6	250	150	40	26.7	
	0.8	250	200	10	5.0	
*51	0.6	250	150	50	33.3	21.5
	0.5	250	125	50	40.0	
	0.8	250	200	40	20.0	
52	0.9	250	225	20	8.9	45.5
	0.7	250	175	30	17.1	
	0.8	250	200	100	50.0	
53	0.8	250	200	100	50.0	39.3
	0.7	250	175	100	57.1	
	0.8	250	200	50	25.0	
54	0.7	250	175	60	34.3	42.1
	0.8	250	200	100	50.0	
55	0.8	250	200	50	25.0	25.0
56	0.8	250	200	90	45.0	38.3
	0.8	250	200	60	30.0	
	0.7	250	175	70	40.0	
57	0.8	250	200	70	35.0	31.7
	0.8	250	200	50	25.0	
	0.8	250	200	70	35.0	
58	0.8	250	200	40	20.0	20.0
59	0.8	250	200	60	30.0	23.0
	0.5	250	125	20	16.0	
60	0.7	250	175	50	28.6	29.3
	0.8	250	200	60	30.0	
61	0.7	250	175	50	28.6	25.7
	0.7	250	175	40	22.9	

## Longitudes y pendientes del terreno

Punto de Referencia	Lectura ( cm )	Esc. 1:25,000 (1cm = 250m)	Longitud ( m )	Desnivel ( m )	Pendiente ( % )	Promedio ( % )
62	0.8	250	200	100	50.0	41.9
	0.8	250	200	60	30.0	
	0.7	250	175	80	45.7	
63	0.8	250	200	70	35.0	41.7
	0.8	250	200	100	50.0	
	0.5	250	125	50	40.0	
64	0.7	250	175	50	28.6	32.9
	0.8	250	200	60	30.0	
	0.8	250	200	80	40.0	
65	0.8	250	200	100	50.0	46.0
	0.8	250	200	125	62.5	
	0.8	250	200	75	37.5	
	0.5	250	125	50	40.0	
	0.5	250	125	50	40.0	
66	0.5	250	125	20	16.0	15.5
	0.6	250	150	20	13.3	
	0.7	250	175	30	17.1	
67	0.9	250	225	80	35.6	35.6
68	0.8	250	200	50	25.0	39.6
	0.7	250	175	80	45.7	
	0.5	250	125	60	48.0	
69	0.5	250	125	30	24.0	20.6
	0.7	250	175	30	17.1	
	0.7	250	175	40	22.9	
70	0.8	250	200	50	25.0	24.8
	0.3	250	75	20	26.7	
	0.8	250	200	50	25.0	
71	0.8	250	200	70	35.0	25.0
72	0.8	250	200	70	35.0	37.5
	0.6	250	150	60	40.0	
73	0.7	250	175	40	22.9	22.9

Cuadro 13 Cálculo de los factores longitud y gradiente de la pendiente (LS)

SITIO DE MUESTREO		LONGITUD DE PENDIENTE ( L )				GRADIENTE DE LA PENDIENTE ( S )			F. TOPOG	PROMEDIO
Unidades de Suelo	Punto de referencia	Longitud (m)	long/22.13	Expo-nente	Valor ( L )	Pendiente ( s )	s <sup>2</sup>	Valor ( S )	( L S )	( LS )
Leptosol lítico	1	175	7.85	0.5	2.801	28.6	816.3	6.657	18.648	8.966
		225	10.09	0.5	3.176	13.3	177.8	1.821	5.783	
		100	4.48	0.5	2.118	10.0	100.0	1.165	2.467	
Leptosol lítico	2	200	8.97	0.5	2.995	35.0	1225.0	9.603	28.757	27.662
		225	10.09	0.5	3.176	40.0	1600.0	12.265	38.959	
		150	6.73	0.5	2.594	26.7	711.1	5.887	15.269	
Leptosol lítico	3	150	6.73	0.5	2.594	20.0	400.0	3.565	9.246	6.343
		175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	
		225	10.09	0.5	3.176	13.3	177.8	1.821	5.783	
Leptosol lítico	4	175	7.85	0.5	2.801	5.7	32.7	0.534	1.497	2.655
		175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	
		100	4.48	0.5	2.118	10.0	100.0	1.165	2.467	
Leptosol lítico	5	175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	2.234
		150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	
		225	10.09	0.5	3.176	4.4	19.8	0.393	1.250	
		125	5.61	0.5	2.368	8.0	64.0	0.841	1.991	
Feozem háplico	6	200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	5.659
		150	6.73	0.5	2.594	13.3	177.8	1.821	4.722	
Feozem háplico	7	175	7.85	0.5	2.801	34.3	1175.5	9.249	25.909	21.874
		125	5.61	0.5	2.368	40.0	1600.0	12.265	29.038	
		200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	
Feozem háplico	8	200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	8.230
		225	10.09	0.5	3.176	13.3	177.8	1.821	5.783	
Feozem háplico	9	200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	6.596
Feozem háplico	10	200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	11.126
		125	5.61	0.5	2.368	24.0	576.0	4.889	11.575	
Feozem lúvicos	11	225	10.09	0.5	3.176	13.3	177.8	1.821	5.783	6.425
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.694	
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
Feozem lúvicos	12	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	3.362
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
		150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	
		100	4.48	0.5	2.118	10.0	100.0	1.165	2.467	
Luvisol crómico	13	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	3.045
		175	7.85	0.5	2.801	8.6	73.5	0.928	2.600	
Luvisol crómico	14	175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.694	9.982
		200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	
		125	5.61	0.5	2.368	24.0	576.0	4.889	11.575	
Cambisol vértico	15	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	7.083
		200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	
Cambisol vértico	16	200	8.97	0.5	2.995	7.5	56.3	0.768	2.300	2.300
Cambisol vértico	17	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	3.299
		225	10.09	0.5	3.176	8.9	79.0	0.979	3.108	
Cambisol vértico	18	200	8.97	0.5	2.995	5.0	25.0	0.453	1.355	2.351
		150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	
		175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	
Cambisol vértico	19	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	2.422
		200	8.97	0.5	2.995	5.0	25.0	0.453	1.355	
Cambisol vértico	20	175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	2.414
		125	5.61	0.5	2.368	4.0	16.0	0.349	0.826	

## Cálculo de los factores longitud y gradiente de la pendiente ( L S )

SITIO DE MUESTREO		LONGITUD DE PENDIENTE ( L )				GRADIENTE DE LA PENDIENTE ( S )			F. TOPOG	PROMEDIO
Unidades de Suelo	Punto de referencia	Longitud (m)	long/22.13	Expo-nente	Valor (L)	Pendiente (s)	s <sup>2</sup>	Valor (S)	( L S )	( LS )
Cambisol vértico	21	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	2.422
		200	8.97	0.5	2.995	5.0	25.0	0.453	1.355	
Cambisol vértico	22	175	7.85	0.5	2.801	8.6	73.5	0.928	2.600	2.299
		175	7.85	0.5	2.801	8.6	73.5	0.928	2.600	
		150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	
Cambisol vértico	23	200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	3.729
		125	5.61	0.5	2.368	8.0	64.0	0.841	1.991	
		175	7.85	0.5	2.801	8.6	73.5	0.928	2.600	
Vertisol crómico	24	125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	6.746
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.654	
Vertisol crómico	25	150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	2.592
		200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	
Vertisol crómico	26	150	6.73	0.5	2.594	13.3	177.8	1.821	4.722	5.260
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
Vertisol crómico	27	125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	3.515
		175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	
		150	6.73	0.5	2.594	3.3	11.1	0.287	0.745	
Vertisol crómico	28	200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	7.145
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.654	
Vertisol crómico	29	175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	2.848
		150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	
Vertisol crómico	30	150	6.73	0.5	2.594	13.3	177.8	1.821	4.722	4.722
Vertisol crómico	31	200	8.97	0.5	2.995	5.0	25.0	0.453	1.355	3.612
		175	7.85	0.5	2.801	5.7	32.7	0.534	1.497	
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
Vertisol crómico	32	200	8.97	0.5	2.995	5.0	25.0	0.453	1.355	5.108
		150	6.73	0.5	2.594	13.3	177.8	1.821	4.722	
		150	6.73	0.5	2.594	20.0	400.0	3.565	9.246	
Luvisol crómico	33	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	2.493
		175	7.85	0.5	2.801	5.7	32.7	0.534	1.497	
Luvisol crómico	34	225	10.09	0.5	3.176	8.9	79.0	0.979	3.108	4.852
		200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	
Luvisol crómico	35	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	2.390
		150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	
		126	5.63	0.5	2.372	8.0	63.5	0.836	1.684	
Luvisol crómico	36	175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.654	8.484
		225	10.09	0.5	3.176	17.8	316.0	2.919	8.273	
Luvisol crómico	37	150	6.73	0.5	2.594	6.7	44.4	0.654	1.696	5.221
		150	6.73	0.5	2.594	13.3	177.8	1.821	4.722	
		150	6.73	0.5	2.594	20.0	400.0	3.565	9.246	
Luvisol crómico	38	125	5.61	0.5	2.368	8.0	64.0	0.841	1.991	1.744
		175	7.85	0.5	2.801	5.7	32.7	0.534	1.497	
Luvisol crómico	39	160	6.73	0.5	2.594	20.0	400.0	3.565	9.246	9.246
Luvisol crómico	40	175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	6.624
		150	6.73	0.5	2.594	20.0	400.0	3.565	9.246	
Luvisol crómico	41	200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	5.042
		200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	



## Cálculo de los factores longitud y gradiente de la pendiente ( L S )

SITIO DE MUESTREO		LONGITUD DE PENDIENTE ( L )				GRADIENTE DE LA PENDIENTE ( S )			F. TOPOG	PROMEDIO
Unidades de Suelo	Punto de referencia	Longitud (m)	long/22.13	Expo-nente	Valor ( L )	Pendiente ( s )	s <sup>2</sup>	Valor ( S )	( L S )	( LS )
Luvisol crómico	42	175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	3.160
		200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	
		125	5.61	0.5	2.368	8.0	64.0	0.841	1.991	
Luvisol crómico	43	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	3.489
Luvisol crómico	44	200	8.97	0.5	2.995	10.0	100.0	1.165	3.489	4.636
		225	10.09	0.5	3.176	13.3	177.8	1.821	5.783	
Luvisol crómico	45	200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	10.676
Luvisol crómico	46	225	10.09	0.5	3.176	17.8	316.0	2.919	9.273	9.975
		200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	
Luvisol crómico	47	100	4.48	0.5	2.118	10.0	100.0	1.165	2.467	6.682
		175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	
		225	10.09	0.5	3.176	22.2	493.8	4.275	13.579	
Luvisol crómico	48	125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	5.598
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
		200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	
		175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
Luvisol crómico	49	175	7.85	0.5	2.801	11.4	130.6	1.428	4.001	8.390
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.694	
		200	8.97	0.5	2.995	15.0	225.0	2.203	6.596	
		150	6.73	0.5	2.594	26.7	711.1	5.887	15.269	
Luvisol crómico	50	200	8.97	0.5	2.995	5.0	25.0	0.453	1.355	12.073
		150	6.73	0.5	2.594	33.3	1111.1	8.787	22.790	
Andosol háplico	51	125	5.61	0.5	2.368	40.0	1600.0	12.265	29.038	12.629
		200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	
		225	10.09	0.5	3.176	8.9	79.0	0.979	3.108	
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.694	
Andosol háplico	52	200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	48.442
		200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	
		175	7.85	0.5	2.801	57.1	3265.3	23.861	66.843	
		200	8.97	0.5	2.995	25.0	625.0	5.253	15.730	
Andosol háplico	53	175	7.85	0.5	2.801	28.6	816.3	6.657	18.648	37.123
		200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	
Andosol háplico	54	175	7.85	0.5	2.801	34.3	1175.5	9.249	25.909	40.753
		200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	
Andosol háplico	55	200	8.97	0.5	2.995	25.0	625.0	5.253	15.730	15.730
Andosol háplico	56	200	8.97	0.5	2.995	45.0	2025.0	15.253	45.678	33.931
		200	8.97	0.5	2.995	30.0	900.0	7.265	21.757	
		175	7.85	0.5	2.801	40.0	1600.0	12.265	34.358	
Andosol háplico	57	200	8.97	0.5	2.995	35.0	1225.0	9.603	28.757	24.415
		200	8.97	0.5	2.995	25.0	625.0	5.253	15.730	
		200	8.97	0.5	2.995	35.0	1225.0	9.603	28.757	
Andosol háplico	58	200	8.97	0.5	2.995	20.0	400.0	3.565	10.676	10.676
Andosol háplico	59	200	8.97	0.5	2.995	30.0	900.0	7.265	21.757	13.778
		125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	
Andosol háplico	60	175	7.85	0.5	2.801	28.6	816.3	6.657	18.648	20.203
		200	8.97	0.5	2.995	30.0	900.0	7.265	21.757	
Andosol háplico	61	175	7.85	0.5	2.801	28.6	816.3	6.657	18.648	15.612
		175	7.85	0.5	2.801	22.9	522.4	4.489	12.577	

## Cálculo de los factores longitud y gradiente de la pendiente ( L S )

SITIO DE MUESTREO		LONGITUD DE PENDIENTE ( L )				GRADIENTE DE LA PENDIENTE ( S )			F. TOPOG	PROMEDIO
Unidades de Suelo	Punto de referencia	Longitud (m)	long/22.13	Expo-nente	Valor (L)	Pendiente (s)	s <sup>2</sup>	Valor (S)	( L S )	( LS )
Andosol háplico	62	200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	40.451
		200	8.97	0.5	2.995	30.0	900.0	7.265	21.757	
		175	7.85	0.5	2.801	45.7	2089.8	15.706	43.997	
Andosol háplico	63	200	8.97	0.5	2.995	35.0	1225.0	9.603	28.757	37.798
		200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	
		125	5.61	0.5	2.368	40.0	1600.0	12.265	29.038	
Andosol háplico	64	175	7.85	0.5	2.801	28.6	816.3	6.657	18.648	25.712
		200	8.97	0.5	2.995	30.0	900.0	7.265	21.757	
		200	8.97	0.5	2.995	40.0	1600.0	12.265	36.731	
Andosol háplico	65	200	8.97	0.5	2.995	50.0	2500.0	18.565	55.598	46.191
		200	8.97	0.5	2.995	62.5	3906.3	28.268	84.656	
		200	8.97	0.5	2.995	37.5	1406.3	10.893	32.622	
		125	5.61	0.5	2.368	40.0	1600.0	12.265	29.038	
		125	5.61	0.5	2.368	40.0	1600.0	12.265	29.038	
Andosol háplico	66	125	5.61	0.5	2.368	16.0	256.0	2.449	5.798	6.071
		150	6.73	0.5	2.594	13.3	177.8	1.821	4.722	
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.694	
Andosol háplico	67	225	10.09	0.5	3.176	35.6	1264.2	9.882	31.390	31.390
Andosol háplico	68	200	8.97	0.5	2.995	25.0	625.0	5.253	15.730	33.484
		175	7.85	0.5	2.801	45.7	2089.8	15.706	43.997	
		125	5.61	0.5	2.368	48.0	2304.0	17.201	40.725	
Andosol háplico	69	125	5.61	0.5	2.368	24.0	576.0	4.889	11.575	9.635
		175	7.85	0.5	2.801	17.1	293.9	2.747	7.694	
Andosol háplico	70	175	7.85	0.5	2.801	22.9	522.4	4.489	12.577	13.034
		200	8.97	0.5	2.995	25.0	625.0	5.253	15.730	
		75	3.36	0.5	1.834	26.7	711.1	5.887	10.797	
Andosol háplico	71	200	8.97	0.5	2.995	25.0	625.0	5.253	15.730	15.730
Andosol háplico	72	200	8.97	0.5	2.995	35.0	1225.0	9.603	28.757	30.284
		150	6.73	0.5	2.594	40.0	1600.0	12.265	31.810	
Andosol háplico	73	175	7.85	0.5	2.801	22.9	522.4	4.489	12.577	12.577

**Cuadro 14 Cálculo de erosión potencial y actual utilizando la ecuación Universal (EUPS)**

$A = R K L S C P$

Unidad de Suelo	Clave Unidad	Sitio Referen.	Uso del Suelo	FACTORES						Pérdida de suelo actual	
				R	K	LS	E. Poten	C	P	A	Medía
Leptosol lítico	LPq	1	Bp	106.86	0.026	8.96	24.89	0.03	1	0.7459	0.885
Leptosol lítico	LPq	2	Bp	106.86	0.026	27.66	76.85	0.03	1	2.3055	
Leptosol lítico	LPq	3	Bi	106.86	0.026	6.34	17.61	0.001	1	0.0176	
Leptosol lítico	LPq	4	At	106.86	0.026	2.65	7.36	0.5	0.2	0.7363	
Leptosol lítico	LPq	5	Pt	106.86	0.026	2.23	6.20	0.1	1	0.6196	
Feozem háplico	FZh	6	Pp	106.86	0.028	5.66	16.94	0.01	1	0.1694	0.153
Feozem háplico	FZh	7	Bi	106.86	0.028	21.87	65.44	0.001	1	0.0654	
Feozem háplico	FZh	8	Bi	106.86	0.028	8.23	24.62	0.001	1	0.0246	
Feozem háplico	FZh	9	Bi	106.86	0.028	6.59	19.72	0.001	1	0.0197	
Feozem háplico	FZh	10	Bi	106.86	0.028	11.12	33.27	0.001	1	0.0333	
Feozem lúvicos	FZh	11	ZU	106.86	0.028	6.42	19.21		1	0.0000	
Feozem lúvicos	FZh	12	Al	106.86	0.028	3.36	10.05	0.3	0.2	0.6032	
Luvisol crómico	LVx	13	Pt	106.86	0.034	3.04	11.05	0.1	1	1.1046	0.570
Luvisol crómico	LVX	14	Bl	106.86	0.034	9.98	36.26	0.001	1	0.0363	
Cambisol vértico	CMu	15	ZU	106.86	0.021	7.08	15.89		1	0.0000	0.995
Cambisol vértico	CMu	16	Pt	106.86	0.021	2.30	5.16	0.1	1	0.5161	
Cambisol vértico	CMu	17	Bp	106.86	0.021	3.30	7.41	0.03		0.2222	
Cambisol vértico	CMu	18	At	106.86	0.021	2.35	5.27	0.5	0.2	0.5274	
Cambisol vértico	CMu	19	ZU	106.86	0.021	2.42	5.43		1	0.0000	
Cambisol vértico	CMu	20	ZU	106.86	0.021	2.41	5.41		1	0.0000	
Cambisol vértico	CMu	21	Ba	106.86	0.021	2.42	5.43	0.5	1	2.7153	
Cambisol vértico	CMu	22	ZU	106.86	0.021	2.30	5.16		1	0.0000	
Cambisol vértico	CMu	23	ZU	106.86	0.021	3.73	8.37		1	0.0000	
Vertisol eútrico	Vre	24	Al	106.86	0.023	6.74	16.57	0.3	0.3	1.4909	0.733
Vertisol eútrico	Vre	25	Al	106.86	0.023	2.60	6.29	0.3	0.2	0.3834	
Vertisol eútrico	Vre	26	Al	106.86	0.023	5.26	12.93	0.3	0.3	1.1635	
Vertisol eútrico	Vre	27	Al	106.86	0.023	3.51	8.63	0.3	0.2	0.5176	
Vertisol eútrico	Vre	28	Al	106.86	0.023	7.14	17.55	0.3	0.2	1.0529	
Vertisol eútrico	Vre	29	ZU	106.86	0.023	2.84	6.98		1	0.0000	
Vertisol eútrico	Vre	30	Al	106.86	0.023	4.72	11.60	0.3	0.3	1.0441	
Vertisol eútrico	Vre	31	Pp	106.86	0.023	3.61	8.67	0.01	1	0.0867	
Vertisol eútrico	Vre	32	Pp	106.86	0.023	5.10	12.53	0.01	1	0.1253	
Luvisol crómico	LVx	33	ZU	106.86	0.034	2.49	9.05		1	0.0000	3.575
Luvisol crómico	LVx	34	ZU	106.86	0.034	4.85	17.62		1	0.0000	
Luvisol crómico	LVx	35	Al	106.86	0.034	2.39	5.68	0.3	0.2	0.5210	
Luvisol crómico	LVx	36	At	106.86	0.034	8.48	30.81	0.5	0.3	4.5215	
Luvisol crómico	LVx	37	At	106.86	0.034	5.22	18.97	0.5	0.3	2.8448	
Luvisol crómico	LVx	38	Bi	106.86	0.034	1.74	6.32	0.001	1	0.0063	
Luvisol crómico	LVx	39	At	106.86	0.034	9.24	33.57	0.5	0.4	6.7142	
Luvisol crómico	LVx	40	At	106.86	0.034	6.62	24.05	0.5	0.3	3.6078	
Luvisol crómico	LVx	41	At	106.86	0.034	5.04	18.31	0.5	0.2	1.8372	
Luvisol crómico	LVx	42	Pt	106.86	0.034	3.16	11.48	0.1	1	1.1461	
Luvisol crómico	LVx	43	Bi	106.86	0.034	3.49	12.68	0.001	1	0.0127	
Luvisol crómico	LVx	44	Aj	106.86	0.034	4.63	16.82	0.3	0.2	1.0093	
Luvisol crómico	LVx	45	Aj	106.86	0.034	10.67	32.77	0.3	0.4	4.6520	
Luvisol crómico	LVx	46	Aj	106.86	0.034	9.97	36.22	0.3	0.4	4.2466	
Luvisol crómico	LVx	47	Bi	106.86	0.034	6.68	24.27	0.001	1	0.0243	
Luvisol crómico	LVx	48	Ma	106.86	0.034	5.60	20.35	0.5	1	10.1731	
Luvisol crómico	LVx	49	Ma	106.86	0.034	8.39	30.48	0.5	1	16.2414	
Luvisol crómico	LVx	50	Pp	106.86	0.034	12.07	43.85	0.01	1	0.4385	
Andosol mólico	ANm	51	Al	106.86	0.041	12.63	55.34	0.3	0.5	3.3003	14.578
Andosol mólico	ANm	52	Bi	106.86	0.041	48.44	212.23	0.001	1	0.2122	
Andosol mólico	ANm	53	Bi	106.86	0.041	37.12	162.63	0.001	1	0.1626	
Andosol mólico	ANm	54	Ma	106.86	0.041	40.75	176.54	0.5	1	89.2682	
Andosol mólico	ANm	55	At	106.86	0.041	15.73	63.92	0.5	0.7	24.1210	
Andosol mólico	ANm	56	Bi	106.86	0.041	33.93	148.66	0.001	1	0.1487	
Andosol mólico	ANm	57	Bi	106.86	0.041	24.41	106.95	0.001	1	0.1069	
Andosol mólico	ANm	58	Bi	106.86	0.041	10.67	46.75	0.001	1	0.0467	
Andosol mólico	ANm	59	Bi	106.86	0.041	13.77	60.33	0.001	1	0.0603	
Andosol mólico	ANm	60	Ma	106.86	0.041	20.20	83.50	0.5	1	44.2507	
Andosol mólico	ANm	61	Al	106.86	0.041	15.61	68.39	0.3	0.6	12.3105	
Andosol mólico	ANm	62	Bi	106.86	0.041	40.45	177.22	0.001	1	0.1772	
Andosol mólico	ANm	63	Al	106.86	0.041	37.80	165.61	0.3	1	49.6335	
Andosol mólico	ANm	64	Bi	106.86	0.041	25.71	112.64	0.001	1	0.1126	
Andosol mólico	ANm	65	Bi	106.86	0.041	46.19	202.37	0.001	1	0.2024	
Andosol mólico	ANm	66	Bi	106.86	0.041	6.07	26.59	0.001	1	0.0266	
Andosol mólico	ANm	67	Bi	106.86	0.041	31.39	137.53	0.001	1	0.1375	
Andosol mólico	ANm	68	Aj	106.86	0.041	33.48	146.68	0.3	0.9	39.6048	
Andosol mólico	ANm	69	Ma	106.86	0.041	9.63	42.19	0.5	1	21.0963	
Andosol mólico	ANm	70	Ma	106.86	0.041	13.03	57.09	0.5	1	26.5439	
Andosol mólico	ANm	71	Bi	106.86	0.041	15.73	68.92	0.001	1	0.0689	
Andosol mólico	ANm	72	Al	106.86	0.041	30.28	132.66	0.001	1	0.1327	
Andosol mólico	ANm	73	Al	106.86	0.041	12.57	55.07	0.5	0.6	18.5217	

Nota: E Poten = Erosión potencial o pérdida de suelo potencial      A = Erosión actual o pérdida de suelo actual



## 8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con base en el trabajo de campo y los análisis físico químicos de las muestras de suelo, así como la descripción físico-morfológica de los sitios de muestreo, poniendo énfasis en la observación de la cubierta vegetal que presentan los suelos en cada uno de los recorridos de campo, permitió ubicar y clasificar las áreas con diferente tipo de erosión y también se pudo observar los diferentes usos que tienen los suelos en la subcuenca.

El trabajo de campo permitió también la obtención de datos que sirvieron para realizar los cálculos de la predicción de pérdidas de suelo para cada unidad de suelo FAO / UNESCO/ISRIC presente en el área de estudio. Los valores de pérdida de suelo obtenidos fueron calculados con base al valor obtenido para cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, como son: el factor erosividad de la lluvia (R), erosionabilidad del suelo (K), longitud y pendiente de los terrenos (LS), cobertura vegetal (C) y manejo del suelo (P).

Con base en los cálculos de la predicción de pérdida de suelo, se realizó el análisis del efecto que tienen los diferentes valores de cada uno de los factores de la Ecuación Universal en la pérdida de suelo por Unidad de Suelo, con la finalidad de hacer notar los diferentes comportamientos de la erosión en los diferentes tipos de suelo y hacer un análisis de la erosión potencial y actual estimados.

Considerando como valor único el del índice de erosividad de la lluvia (R) en toda la subcuenca, para el cálculo de las estimaciones de la pérdida de suelo en las diferentes Unidades de Suelo, se consideran los diferentes valores de los factores RKLS, en donde se observa el efecto de estos factores en la erosión del mismo. Por último se realiza un análisis de la variación en la pérdida de suelo, considerando primeramente la cubierta vegetal en la protección del suelo y posteriormente contemplando obras de conservación de suelos.

El análisis considera como valor único para todas las Unidades de Suelo al índice de erosividad de la lluvia ( $R = 106.863 \text{ MJ mm / ha/hr/ año}$ ), calculado por el método de Fournier

modificado (cuadro 10) y los diferentes valores de los demás factores KLSCP, que son los que dan la variación del comportamiento de los suelos (cuadro 11,12,13 y 14).

## 8.1 Análisis para las Unidades de Suelo FAO/UNESCO/ISRIC

### 8.1.1 Andosoles

El análisis del comportamiento de las pérdidas de suelo que se realiza para los Andosoles, son considerados los sitios de referencia del 51 al 73 (cuadro 14), con la finalidad de que puedan ser ubicados correctamente en la descripción y análisis de los mismos.

El factor erosionabilidad del suelo (K) en los Andosoles está influenciado por varias propiedades físicas como el contenido de limo y arcilla y la estructura, químicas como el contenido de materia orgánica y actividad biológica. El valor de (K) obtenido para estos suelos es de **0.041** (cuadro 11). Estos suelos son muy susceptibles a erosionarse, ya que son suelos recientes, de poco desarrollo, donde la degradación de la materia orgánica y la presencia de óxidos de aluminio han cohesionado poco a las partículas del suelo formando una estructura prismática en bloques de baja consistencia, además la actividad biológica se ha visto retrazada en gran parte por el pH ácido (5.6) que presentan estos suelos, manifestándose mayor acumulación de la materia orgánica (humus y hojarasca) poco degradada en la superficie de estos suelos.

El producto de los factores R y K (  $106.86 \times 0.041$  ) da como resultado **4.38** ton/ha/año, valor que se toma como base para analizar el efecto de los factores LSCP restantes. Considerando los valores de longitud y pendiente (LS), estos indican que cuando son mas altos los valores, la perdida de suelo es mayor (sitios 54, 55, 60, 63, 68, 69, 70 y 73).

Al considerar la cobertura del suelo ( C ) o uso del suelo en la cual es considerada la densidad y tipos de vegetación, las pérdidas de suelo son diferentes. Se observa que el bosque intensivo (Bi) es la cobertura vegetal que predomina en estos suelos, por lo que la pérdida de

suelo es mínima o casi nula, pero cuando dichos terrenos son utilizados en agricultura (Ai) o su vegetación es matorral muy alterado (Ma) las pérdidas de suelo se ven incrementadas considerablemente.

Comparando los valores obtenidos en estos sitios, se observa como la vegetación juega un papel muy importante en la conservación de suelos, ya que en terrenos con grandes pendientes pero totalmente protegidos la pérdida de suelo es mínima o casi nula, y cuando el suelo queda desprotegido de la vegetación y con grandes pendientes, y además es utilizado en agricultura, las pérdidas de suelo son altas.

Por último, para el factor (P) prácticas de conservación, los sitios de referencia 51, 61, 63, 68 y 73 son utilizados en agricultura con lo cual se propicia mayor erosión, pero el hecho de hacer el surcado a contrapendiente evita que la erosión de estos suelos sea mayor. La pérdida de suelo en promedio para los Andosoles es de **14.58** ton/ha/año, por lo que el grado de erosión de estos suelos es considerada como moderada.

### 8.1.2 Luvisoles

Para los suelos Luvisoles los sitios de referencia a analizar son 13 y 14 y del 33 al 50, el análisis de estos sitios indicará cuales son las causas que tienen mayor efecto en el comportamiento de la pérdida de suelo.

El valor obtenido para el factor (K) para los Luvisoles es de **0.034** (ver cuadro N° 11), son suelos con buen desarrollo, pero debido a la iluviación de la arcilla y a la mayor concentración de limo ( 30.4 % ) en el horizonte superficial propicia que haya erosión. El pobre contenido de materia orgánica propicia poca cohesión de las partículas del suelo, pero el alto contenido de arcilla forma una estructura prismática en bloques angulares de buena consistencia en los estratos subsuperficiales que lo hacen mas resistente a la erosión.

El producto de los factores R y K (  $106.86 \times 0.034$  ) da como resultado **3.63** ton/ha/año, valor de la pérdida de suelo que se toma como punto de partida para analizar los demás factores (LS CP). Para estos suelos los valores de la pendiente y longitud son mucho menores que la de los Andosoles, por lo que las pérdidas de suelo para los Luvisoles son menores. Aunque la pérdida de suelo es menor, es notable el efecto de la pendiente y la longitud de pendiente (LS) en la mayor pérdida de suelo en estas unidades (sitios 36, 39, 40, 45, 46, 48 y 49).

Las pérdidas de suelos de los Luvisoles son diferentes entre los tres tipos de uso y/o cobertura vegetal ( C ) que presentan, ya que en las áreas donde existe bosque intensivo (Bi) la erosión es insignificante (sitios 38 y 43), pero las áreas abiertas a la agricultura (Ai y At) ven incrementadas las pérdidas de suelo (sitios 36, 37, 39, 40, 45 y 46) porque la capa arable es removida en la preparación del terreno, además de que quedan descubiertos gran parte del año, pero lo que reduce de cierta manera pérdida de suelo es debido a que el surcado se realiza al contorno, propiciando que la erosión no sea muy alta. En áreas donde existe vegetación de matorral alterado (Ma, sitios 38 y 43), la pérdida de suelo es la mas alta de esta Unidad de suelo, ya que la baja protección del suelo por la vegetación y las nulas prácticas de manejo han propiciado mayor erosión.

Observamos que también en estos suelos la vegetación juega un papel muy importante en la conservación de los mismos, ya que en terrenos aún con pendientes altas pero bien protegidos la pérdida de suelo es mínima o casi nula, y cuando el suelo queda desprotegido de vegetación la pérdida de suelo se ve incrementada.

Por último para el factor prácticas de conservación ( P ), que solo es aplicado en las áreas dedicadas a la agricultura, es notorio el efecto del surcado al contorno, ya que propicia que la erosión no sea mayor o mas severa (cuadro 14).

### 8.1.3 Cambisoles

Los Cambisoles son suelos donde el proceso del intemperismo de la roca madre es aún

notorio (sitios 15 al 23), observando poco desarrollo de estos suelos. Se empieza a manifestar cambios en el horizonte superficial por la iluviación de la arcilla lo que hace que se esté concentrando la arena (47%) y el limo (35.87%) en el horizonte superficial, esto lo puede hacer más susceptible a erosionarse, pero el alto contenido de materia orgánica (5.8%) está fomentando la cohesión de las partículas del suelo formando una estructura prismática en bloques, de consistencia suave y además existe acumulación de hojarasca que le da protección al suelo.

El valor de K para los Cambisoles es de **0.021**. El producto de los factores R y K ( $106.86 \times 0.021$ ) da como resultado **2.24 ton/ha/año**, valor que se tomara como punto de partida para hacer el análisis del efecto de los demás factores (LSCP). Considerando que los valores de los factores (LS) son muy bajos en estos suelos, en los sitios de referencia No. 16, 17, 18 y 21, por lo tanto los valores de pérdida de suelo con estos factores también son bajos.

Al considerar la cobertura del suelo (C) tomando en cuenta la densidad y tipos de vegetación para estos mismos sitios, las pérdidas de suelo se ven reducidas considerablemente. Solo en el sitio No. 21 la pérdida de suelo se incrementa ligeramente, porque es bosque alterado y con poca protección vegetativa en el suelo.

El factor prácticas de conservación (P) solo es aplicable para el sitio 18, pero estas áreas son de pendientes muy bajas, por lo que la pérdida de suelo es mínima. En general, las bajas pendientes en estas áreas propicia que la pérdida de suelo sea mínima, pero también se demuestra que la vegetación juega un papel muy importante en la poca erosión de los mismos (cuadro 14).

#### 8.1.4 Phaeozem

Los Phaeozem son suelos con buen desarrollo, presentan iluviación de arcilla conformando el horizonte 'B' argílico, pero conservando buenas características físicas y químicas en el horizonte superficial, esto hace que el horizonte tenga una mayor resistencia a la erosión, debido a que el contenido de materia orgánica (2.2%) está fomentando la cohesión de las



partículas del suelo formando una estructura prismática de tipo de bloques subangulares de consistencia dura (sitios 6 al 12).

El valor obtenido del factor (K) para los Phaeozem es de **0.028**. El producto de los factores R y K ( 106.86 X 0.028) da como resultado **2.99** ton/ha/año, valor que se toma como punto de análisis considerando los factores restante (LSCP) en la pérdida de suelo de estas Unidades.

Considerando que los valores de pendiente y longitudes de pendiente (LS) de estos sitios son bajos, las pérdidas de suelo también lo son. Si se analiza el sitio 7 que tiene una pendiente y longitud de pendiente muy alta, pero presenta una cobertura muy densa, lo que propicia que el valor de la pérdida de suelo sea bajo.

Al considerar la cobertura del suelo ( C ) en estas áreas y tomando en cuenta la densidad y tipos de vegetación, las pérdidas de suelo son muy reducidas. Esto vuelve a demostrar que la vegetación juega un papel muy importante en la conservación de los mismos, ya que en terrenos con grandes pendientes pero bien protegidos la pérdida de suelo es mínima, y cuando el suelo queda desprotegido de la vegetación la pérdida de suelo se incrementa, mas aún si las pendientes aumentan o bien son utilizados en agricultura sin ningún manejo.

Por último para el factor prácticas de conservación ( P ), para el sitio 12, donde la pendiente es poca y la preparación del terreno es en surcos al contorno, las pérdidas de suelo no son significativas.

### **8.1.5 Vertisoles**

El valor de (K) obtenido para los Vertisoles es de **0.023**, lo que indica que la susceptibilidad de este suelo a erosionarse es bajo, ya que son suelos con buen desarrollo, donde el alto contenido de arcilla y de materia orgánica dan una estabilidad fuerte al suelo, por lo tanto son resistentes a la erosión, ya que forman una estructura prismática de tipo blocosa de

consistencia dura, con pH ácido (5.6) que presentan estos suelos, manifestándose menor actividad biológica.

El producto de los factores R y K ( $106.86 \times 0.023$ ) da como resultado **2.45** ton/ha/año, valor aceptable dentro de los rangos permisibles de pérdidas de suelo. Considerando este valor como punto de partida para el análisis de los factores (LSCP), en los sitios del 24 al 32 todos los valores de (LS) son bajos, por lo tanto las pérdidas de suelo son bajas. Al considerar la cobertura (C) en terrenos agrícolas (sitios del 24 al 28 y el 30) que cuando menos están cubiertos 6 meses, las pérdidas de suelo son bajas. Si a estos sitios de áreas agrícolas la preparación del suelo para el cultivo es en surcos al contorno, factor (P), las pérdidas de suelo son aún menores. En lo que respecta a las áreas protegidas con pastos (sitios 31 y 32) los valores de pérdida de suelo son bajos, debido a que los suelos están poco degradados.

#### 8.1.6 Leptosoles

El valor obtenido de (K) para los Leptosoles es de **0.026** (sitios 1 al 5), estos suelos son poco desarrollados y muy delgados o ya están muy degradados, lo que indica que la susceptibilidad a la erosión puede ser muy alta. El producto de los factores R y K ( $106.86 \times 0.026$ ) da como resultado **2.77** ton/ha/año, aunque es un valor bajo y considerando que éstos son suelos muy delgados, este valor puede ser considerado como alto. En los sitios 1, 3, 4 y 5 donde los valores de (LS) son muy bajos la pérdida de suelo es baja., no así en el sitio 2, donde el valor de (LS) es alto, la pérdida de suelo se ve incrementada, aunque a valores bajos.

Al considerar la cobertura del suelo (C) para estos sitios, se considera que hay algo de protección de estos suelos, por lo que las pérdidas no son altas. En cuanto al factor (P), solo en sitio 4 es aplicable, ya que se siembra en surcos al contorno, lo que implica que la erosión sea baja.

## 8.2 Análisis de la erosión potencial y actual

Para el análisis de la **erosión potencial** se considero el promedio de la pérdida de suelo de los 73 sitios, donde solo son considerados los factores RKLS de la Ecuación Universal, el valor que se obtuvo es de 47.39 ton/ha/año el cual se considera de grado severo, si se considera que la pérdida de suelo permisible es de 11.5 ton/ha/año, la tasa estaría al 4.74 por encima de lo permitido. La **erosión actual** considera los dos factores restantes de la Ecuación Universal que son cobertura vegetal ( C ) y prácticas mecánicas de suelo (P), que para este caso el valor obtenido es de 5.6 ton/ha/año clasificada como moderada, lo que significa la importancia que tiene la cobertura vegetal en la degradación de los suelos.

Con los niveles de pérdida de suelo actuales se infiere de manera general que el proceso de erosión no es grave aún en toda la subcuenca del Lago de Guadalupe.

## 9. CONCLUSIONES

### 9.1 Evaluación del tipo y grado de erosión

1. En las áreas de mayor protección del suelo con vegetación arbórea, pastos y cubierta de hojarasca no se manifiestan problemas de erosión, presentan un alto porcentaje de retención de humedad, lo que indica que la cubierta vegetal protege al suelo de los impactos de la caída de las gotas de lluvia propiciando que el agua de lluvia se infiltre y sea conducida a las corrientes subterráneas naturales, evitando que ésta escurra superficialmente con velocidad y concentración erosiva.

2. El tipo de erosión mas común existente es la inducida, debido principalmente a la deforestación y eliminación de la cubierta vegetal aérea y del suelo, realizada por los pobladores que aprovechan irracionalmente y clandestinamente los recursos forestales. La clase principal de erosión es la hídrica manifestada en el terreno en forma laminar y en canales como las mas frecuentes y en cárcavas en algunas áreas totalmente desforestadas situadas en las zonas con mucha pendiente y en los taludes de las carreteras.

3. De todas las áreas detectadas con problemas de erosión, 1 243 ha ( 4.1 %) tienen grado de erosión severa, debido a las acciones de deforestación y sobrepastoreo que se realiza, ocasionando desprotección total del suelo. En 4 578 ha ( 16.6 %) la erosión es moderada, vislumbrándose en las áreas recientemente desmontadas los procesos erosivos de forma laminar y de canalillos, que al no protegerse estas áreas, en pocos años estarán manifestándose grados de erosión severa. El resto de la superficie se manifiestan grados de erosión de insignificante a leve.

### 9.2 Estimación de pérdidas de suelo por Unidad de Suelo

1. El cálculo estimativo de pérdidas de suelo potencial ( $AP=RKLS$ ), manifiesta que la mayor o menor cantidad de pérdida de suelo esta estrechamente determinado por la lluvia, la

erosionabilidad del suelo, el % de pendiente y la longitud de pendiente del suelo. Pero de mayor importancia es el tipo y la densidad de cobertura vegetal, lo que indica que una buena cobertura vegetal protege a los suelos, aunque existan grados altos de pendiente y longitudes de pendiente, la pérdida de suelo actual ( $A=RKLS\text{C}P$ ) no es significativa, por tanto la erosión es mínima o nula.

2. Los valores mas altos de pérdida de suelo en cada una de las Unidades de Suelo obtenidos (cuadro 14) son: Para **Leptosoles líticos** el sitio 2 con bosque ligeramente alterado (Bp) es **2.3 ton/ha/año**, considerada de grado leve. Para los **Phaeozems lúvicos** el sitio 12 utilizado en agricultura intensiva (Ai) **0.60 ton/ha/año**, que se considera de grado leve y los demás sitios de esta Unidad presentan grado insignificante. En **Cambisoles húmicos** el sitio 21 con bosque alterado (Ba) es de **2.7 ton/ha/año**, considerada como de grado leve y los restantes sitios de esta Unidad como de grado insignificante. Los **Vertisoles eútricos**, sitios 24, 26, 28 y 30 aprovechados con agricultura intensiva (Ai) la pérdida es de **1.49, 1.16, 1.05 y 1.04 ton/ha/año** respectivamente, con grados de erosión leves y en el resto de los sitios el grado de erosión es insignificante. En **Lúvisoles crómicos** los sitios No. 36,37, 40, 41, 42, 44, 45 y 46 utilizados en su mayoría con agricultura intensiva (Ai) las pérdidas de suelo son menores a **5 ton/ha/año**, lo que indica que el grado de erosión es leve; en el sitio 39 dedicado a la agricultura intensiva (Ai) la pérdida de suelo es de **6.7 ton/ha/año** y el sitio 48 con matorral alterado, la pérdida de suelo es de **10.1 ton/ha/año**, lo que indica que ambos sitios son de grado de erosión moderada; el sitio 49 con pérdida de suelo de **15.2 ton/ha/año** tiene grado de erosión severa. Por último en los **Andosoles mólicos** así como hay muchos sitios donde el grado de erosión es insignificante, también hay sitios con grados de erosión severa (sitios 55, 60, 63, 68, 69, 70 y 73); el sitio 54 con matorral alterado y con pérdida de suelo de **89.2 ton/ha/año**, presenta un grado de erosión muy severa.

3. En su gran mayoría la pérdida de suelo no rebasa los límites permisibles de 11.5 ton/ha/año (Hudson,1981), pero existen sitios de referencia que si rebasan ese límite en algunas Unidad de Suelo como los Andosoles, demostrando con ello que cualquier suelo es susceptible a erosionarse. Esto hace que se reflexione sobre el riesgo que lleva consigo el efectuar un mal manejo del suelo y las prácticas inadecuadas de la sobreexplotación del bosque. Lo que puede ocasionar que en el

mediano plazo la subcuenca puede quedar totalmente erosionada.

4. De acuerdo al valor del factor erosionabilidad del suelo ( K ) y considerando constantes los valores de los factores de longitud de pendiente ( L ), inclinación de la pendiente ( S ), cobertura vegetal ( C ) y prácticas mecánicas ( P ), la facilidad con que se erosionan los suelos del área de estudio es: *Andosol mólico* > *Luvisol crómico* > *Phaeozems lúvico* > *Leptosol lítico* > *Vertisol eútrico*.> *Cámbisol húmico*.

5. Los valores obtenidos de pérdida de suelo y el análisis que de éstos se realiza, indican que con base a la cobertura vegetal, las áreas con matorral alterado en cualquier unidad de suelo son las que mas se erosionan, seguidas de las áreas dedicadas a la agricultura y la de bosques alterados. Con respecto a la longitud de pendiente y la inclinación de la pendiente, mientras mayor sea el valor de estos, mayor será la erosión de los suelos. Considerando la pérdida de suelo por Unidad de suelo, los Andosoles y Luvisoles son los mas propensos a erosionarse.

6. Es necesario señalar que en la subcuenca, por el incremento de la mancha urbana las aguas residuales que se vierten a las corrientes naturales sin ningún tratamiento se están incrementando, lo que esta propiciando que las aguas del Lago de Guadalupe estén cada día mas contaminadas. También es importante señalar que la subcuenca carece de una Planeación Integral de Manejo, Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, lo que en cualquier momento se pueden ocasionar inundaciones o derrumbes o desgajamiento de cerros provocando desastres en las poblaciones asentadas en la subcuenca.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Es necesario que se realice una planeación integral de la subcuenca a detalle, que como fin tenga el hacer un uso, manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales de manera sustentable. Por otro lado es propiciar la participación de productores y autoridades de todos los niveles Federal, Estatal y Municipal y de todas las instituciones que tengan que ver con acciones en la subcuenca. Con la planeación integral se pueden generar acciones que conlleven a evitar futuros desastres naturales como inundaciones, derrumbes o deslizamiento de masas de tierra que afectarían a la población civil. Además el mismo plan contemplará acciones que ayuden a un desarrollo sustentable con un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos forestales.

Las acciones sobre conservación y rehabilitación de la subcuenca deben realizarse por microcuenca, jerarquizándose con base a los grados de erosión que presentan. Primero deben rehabilitarse las microcuencas donde existan asentamientos de poblaciones altas y que tengan áreas degradadas con grados severos de erosión.

Existen áreas que están siendo desforestadas y que empiezan a manifestar problemas severos de erosión. Dichas áreas están localizadas en toda la subcuenca, con diferentes pendientes, longitudes de pendiente, así como diferentes unidades de suelo y tipos texturales como son los Andosoles y Luvisoles que son los mas susceptibles a erosionarse, lo que hace que la pérdida de suelo también pueda ser mayor. Por tanto es necesario que las autoridades destinen mas recursos para la protección de los bosques y apliquen con severidad la Ley Forestal.

2. Las demandas de agua día con día son mayores en los sectores poblacional, agrícola e industrial, lo que hace mas indispensable proteger a nuestros bosques, ya que son los que propician la infiltración de agua a los acuíferos tanto en calidad como en cantidad. Es por eso que se propone que antes de las acciones de eliminar la vegetación, se tenga una estrategia de reforestación con especies naturales de desarrollo insitu, en las zonas donde es difícil que la forestación natural se lleve a cabo, con la finalidad de regenerar y conservar el bosque, disminuir el efecto de la energía cinética

de la caída de las gotas de lluvia y el golpeteo directo de éstas sobre el suelo, que es lo que induce el salpicamiento del suelo propiciando la erosión, propiciar mayor infiltración de agua a las corrientes subterráneas y acuíferos y evitar que se formen corrientes superficiales fuertes que ocasionen erosión.

Estas acciones están encaminadas a propiciar un desarrollo sustentable de la subcuenca, ya que proteger permanentemente al suelo y evitar la erosión acelerada de los mismos, además de regenerar la vegetación original, evitará la aportación de sedimentos al vaso de la presa de Guadalupe, manteniendo su capacidad de almacenamiento.

3. En la subcuenca existen suelos como los Andosoles y Luvisoles que son fácilmente degradables sin protección vegetal, ya que su desarrollo estructural es mínimo y por lo regular tienen altas pendientes, por lo que se sugiere no desforestarlos sin tener un estudio previo para el manejo y aprovechamiento integral de los recursos forestales y menos aún quererlos aprovechar en agricultura. Por otro lado, los menos susceptibles a la erosión son los Phaeozems, Vertisoles y Cambisoles, ya que son suelos más desarrollados, tienen estructura blocosa definida, son más profundos y las pendientes son mucho menores que el anterior grupo de suelos, por lo que éstos pueden ser utilizados en agricultura pero con buen manejo para evitar su degradación física (erosión) y química (fertilidad).

4. En las áreas destinadas a agricultura anual con pendientes no mayores al 10 %, la preparación del terreno (surcado) se debe seguir realizando en forma perpendicular a la pendiente, con la finalidad de disminuir la erosión, captar y aumentar la humedad del suelo y su infiltración en el mismo. Sería importante cambiar de cultivos anuales a perennes con la finalidad de evitar el movimiento constante del suelo en la preparación del terreno para la siembra. Estas acciones aparte de evitar la erosión de los suelos, mantiene también la fertilidad de los mismos, evitando la degradación química de ellos.

Para terrenos con pendientes de 10 a 15 % dedicados a la agricultura anual, se recomiendan



las terrazas de base ancha con bordo, permitiendo con esto una mayor retención de humedad e infiltración del agua en el suelo, propiciando una reducción de las pérdidas de suelo. En este caso es necesario utilizar cultivos anuales muy redituables económicamente, ya que la construcción de estas obras son costosas. En las áreas con pendientes mayores al 15 % y dedicadas a la agricultura, se recomienda realizar terrazas de banco utilizando cultivos perennes (frutales) para que la protección del suelo sea permanente y que sea recuperable la inversión realizada en la construcción de estas obras a mediano plazo.

Es recomendable que los residuos de cosecha sean incorporados año con año al suelo, para ir mejorando la fertilidad de éstos, además de propiciar mejor cohesión entre partículas del suelo favoreciendo la formación de estructura, por lo tanto, será mas difícil que el agua de escurrimiento cause erosión en estos suelos.

5. En las áreas de ladera con pendientes muy pronunciadas en las cuales hay asentamientos humanos muy fuertes, los taludes deben ser protegidos con especies arbóreas y pastizales o bien materiales cementantes, para evitar el acarreo del suelo y en un futuro derrumbes por la incidencia de las fuertes lluvias y que puedan ocasionar desastres lamentables. En cuanto a los asentamientos humanos cercanos a los drenajes naturales o ríos es necesario que sean reubicados en otras áreas menos riesgosa o niveles mas altos a los alcanzados por las corrientes en épocas de fuertes lluvias.

6. Incentivar económicamente o con despensas a los pobladores dueños de los terrenos para que cooperen con los programas de reforestación, ya sea por árbol sembrado o superficie beneficiada. Los apoyos podrán otorgarse considerando la supervivencia de las especies.

7. Sobre los drenajes que aporten mas sedimentos a los ríos, es conveniente realizar obras de infraestructura como las presas filtrantes, que sirven para controlar los sólidos en suspensión que traen las aguas consigo y para disminuir la velocidad de escurrimiento de las aguas, evitando una erosión fuerte, o bien sobre cárcavas para evitar mayor pérdida de suelo.

8. Es importante que las autoridades fomenten mas la cultura de protección a los recursos naturales. Tanto productores como autoridades deben tomar conciencia de la importancia de conservar los recursos naturales agua, suelo y vegetación, evitando con esto la degradación de la subcuenca y no querer actuar o remediar cuando este hecho el daño. Es necesario una mayor comunicación autoridades-pobladores-productores, con el fin de realizar propuestas y acciones de manejo y conservación de los recursos naturales en la subcuenca. También existe una Ley Forestal a nivel nacional generada por SEMARNAT, que debe ser aplicada y cuidar de que se cumpla por parte de autoridades y productores.

## 11. LITERATURA CITADA

1. Anaya y etal, 1977. " Manual de Conservación del Suelo y del Agua". Ed Colegio de Posgraduados, Chapingo, Edo. de México. pp. 584.
2. Arias R., H.M. 1980. " El factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la cuenca del río Texcoco". Tesis de Maestría en Ciencias. C. P , pp 113.
3. Bondy, E., L. Lyles and W. A. Hayes 1980. "Computing Soil Erosion by periods using wing - energy distribution". Soil and Water Conservation. 35 (4) , 173 - 176.
4. Cortéz T., H.G. 1991. "Caracterización de la erosividad de la lluvia en México, utilizando métodos multivariados". Tesis de Maestría . C.P. pp 168.
5. Cuanalo de la C.H. 1972. "Algunos conceptos utilizados en el Levantamientos de Suelos del área de influencia de Chapingo", Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Boletín Informativo. Diciembre, México D.F.
6. Cuanalo de la C.H. 1971. "Manual de descripción de perfiles de suelos". Chapingo
7. Delgado E, F. 1992. "Prácticas Agronómicas de Conservación de Suelos". Ed. Centro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
8. FAO. 1967. "La erosión del suelo por el agua". Ed. FAO, Roma, Italia.
9. Figueroa S. B. ( 1975 ) . "Pérdidas de suelo y nutrientes con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco". Tesis de Maestría , C.P. , pp 209 .
10. Figueroa S.B,1991. "Manual de Predicción de Pérdidas de Suelo por Erosión". Ed. Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo de México. pp. 149.
11. Figueroa,S. B.,1996. "Manual de Producción de Cultivos con Labranza de Conservación". Ed. Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Campus S.L.P. pp. 4 - 44.
12. Foster G.R. and Wischmeier W.H., 1971. "Evaluating irregular slopes for soil loess prediction Trans American Society of Agricultural Engenering". V.17 pp. 305 - 309.
13. García E. 1981. "Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen". UNAM, México.
14. Hudson N. 1981. "Soil Conservation". Cornell University press, pp. 34 - 111
15. Kirkby y Morgan, R.P. 1984. "Erosión de suelos". Editorial Limusa. México D.F. pp

- 373.
16. López F.R., 1992. "La degradación y pérdidas de los suelos agrícolas". Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial ( CIDIAT ). Mérida, Venezuela.
  17. Mooser F. 1961. "Informe sobre la geología de la cuenca del Valle de México y zonas colindantes". SRH Chevcm, México.
  18. Musgrave G.W. 1942. "The quantitative evaluation of factor in water erosion". American - Journal of Soil and Water Conservation . Vol. 2, pp 133 - 138 .
  19. Ortiz S. C. y Cuanalo de la C.H. 1977. "Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo para la cartografía de áreas erosionadas". C. P. , Chapingo México.
  20. Páez C.M. y et al, 1992. "Conservación de suelos y aguas". Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela.
  21. SARH, 1981. "Inventario de áreas erosionadas y unidades de suelos del estado de Nayarit". Subsecretaría de Agricultura y Operación, Dirección de Conservación de Suelos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO**

**ANÁLISIS DE LABORATORIO**

## ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE SUELOS

Hoja 1 de 2

No. Perfil	Profundidad	Dens. Apar. (g/cm <sup>3</sup> )	Ret. Hum. a 10°C (%)	Ret. Hum. a 15°C (%)	Ret. Hum. a 20°C (%)	Humedad Aprox. (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasific. Textural	pH en agua 1:2	Materia orgánica (%)
1	0 - 18	1.52	60.80	28.60	32.20	38.52	43.41	18.07		Franco	5.70	7.16
	18 - 120	1.14	50.60	22.50	28.10	42.21	43.81	13.98		Franco	5.10	5.75
2	0 - 20	0.91	51.10	27.20	23.90	34.75	43.65	21.60		Franco	6.20	0.00
	20 - 45	0.97	49.32	23.10	26.22	46.80	34.84	18.36		Franco	5.90	0.00
3	45 - 160	1.27	42.33	13.10	29.23	30.23	28.72	41.05		Franco arcilloso	5.40	0.43
	0 - 15	0.97	50.00	27.00	23.00	36.85	42.10	21.05		Franco	6.20	0.00
4	15 - 35	1.02	47.00	24.00	23.00	48.50	34.34	17.16		Franco	5.80	0.00
	35 - 200	1.21	32.00	14.00	18.00	33.62	27.84	38.54		Franco arcilloso	5.00	0.31
5	0 - 10	1.42	60.00	29.30	31.70	40.37	42.31	17.32		Franco	5.50	6.16
	10 - 25	1.04	49.00	23.70	26.30	41.11	43.81	15.08		Franco	5.30	6.95
6	25 - 145	0.98	50.00	26.40	24.80	44.11	43.24	12.65		Franco	5.30	4.22
	0 - 15	1.47	62.00	29.00	31.00	39.27	43.38	17.35		Franco	5.60	7.06
5	15 - 30	1.01	51.00	24.00	27.00	42.31	42.74	14.95		Franco	5.20	8.92
	30 - 200	0.93	51.00	26.00	25.00	48.20	42.80	9.00		Franco	4.90	5.28
6	0 - 18	1.24	28.60	15.54	13.60	57.60	25.40	17.00		Franco arenoso	5.50	2.60
	18 - 110	1.20	28.70	15.60	13.10	55.70	21.20	23.10		Fra arc. arenoso	5.90	1.20
No. perfil	Profundidad	Fósforo aprob. (ppm)	Carbonato de Ca (%)	ClC (me/100g)	Calcio (me/100g)	Magnesio (me/100g)	Sodio (me/100g)	Potasio (me/100g)	C-E extra (mmhos/cm)	pH Pasta saturación	Clasificación del suelo	
1	0 - 18	0.00	0.00	51.10	0.24	0.10	0.25	0.24	0.18	5.20	Andosol	
	18 - 120	0.00	1.70	49.00	0.18	0.00	0.29	0.14	0.13	5.10		
2	0 - 20	0.00	0.00	48.79	1.20	0.00	0.00	1.31	0.33	5.60	Luvisol	
	20 - 45	0.54	0.00	40.46	0.38	0.00	0.20	0.33	0.34	5.40		
3	45 - 160	0.26	0.00	32.50	0.18	0.00	0.68	0.90	0.24	4.50		
	0 - 15	0.00	0.00	49.00	1.21	0.00	0.65	1.21	0.37	5.50	Luvisol	
4	15 - 35	0.64	0.00	40.00	0.42	0.00	0.30	0.90	0.44	5.30		
	35 - 200	0.29	0.00	30.00	0.08	0.00	0.79	0.83	0.34	4.00		
5	0 - 10	0.00	0.00	53.00	0.24	0.12	0.33	0.25	0.28	5.50	Andosol	
	10 - 25	0.08	0.20	53.00	0.11	0.00	0.19	0.15	0.15	5.00		
6	25 - 145	0.07	1.20	52.00	4.13	0.00	0.15	0.11	0.12	4.80		
	0 - 15	0.00	0.00	53.00	0.25	0.17	0.30	0.29	0.33	5.50	Andosol	
5	15 - 30	0.10	1.00	53.00	0.11	0.00	0.18	0.14	0.15	4.90		
	30 - 200	0.10	0.00	52.00	4.73	0.00	0.12	0.10	0.12	4.80		
6	0 - 18	0.60	0.40	16.30	5.00	0.16	0.30	0.20	0.86	5.50	Phaeozem	
	18 - 110	0.90	1.10	15.40	5.30	0.12	0.40	0.10	0.92	5.70		

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE SUELOS

Hoja 2 de 2

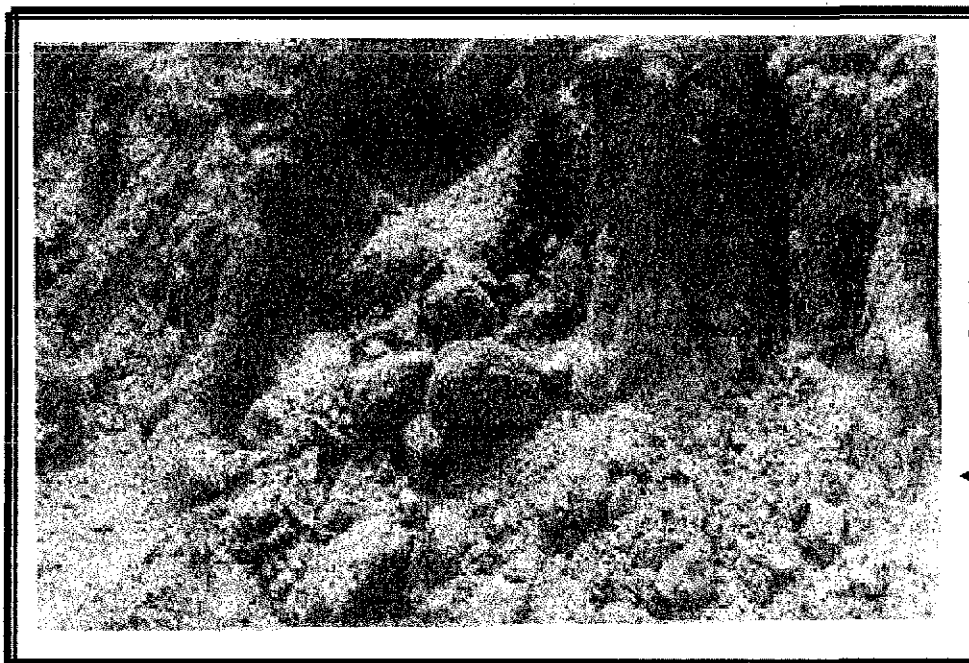
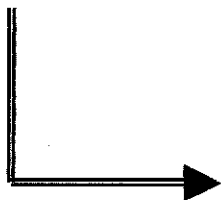
No. Perfil	Profundidad	Dens. App. (gr/cm <sup>3</sup> )	Rel. Hum. de Ca. (%)	Rel. Hum. a pmp. (%)	Humedad Aprox. (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasific. Textural	pH agua 1:2	Materia orgánica (%)
7	0 - 10	1.13	27.20	12.44	14.76	24.25	49.62	26.13	Franco	5.60	2.40
8	0 - 10	1.00	32.00	18.00	14.00	47.26	35.87	16.87	Franco	5.80	5.05
	10 - 35	1.20	15.00	8.00	7.00	60.91	18.52	20.57	Fra. arc. arenoso	5.20	2.64
	35 - 77	1.48	14.00	9.00	5.00	63.04	16.43	20.53	Fra. arc. arenoso	5.00	1.40
	77 - 125	1.55	17.00	9.00	8.00	71.20	18.52	10.28	Franco arenoso	5.90	0.10
9	0 - 15	1.18	28.60	14.34	14.26	54.20	23.80	22.00	Franco arenoso	5.50	2.20
	15 - 85	1.22	31.87	15.60	16.27	52.60	19.20	28.20	Fra. arc. arenoso	5.90	1.20
	85 - 120	1.21	30.51	15.10	15.41	52.82	22.32	24.86	Fra. arc. arenoso	5.50	0.80
10	0 - 25	1.33	32.00	16.00	16.00	30.38	14.77	54.85	Arcilloso	5.80	2.09
	25 - 60	1.44	45.00	21.00	24.00	43.61	17.35	39.04	Arcillo arenoso	6.00	3.18
11	0 - 10	1.00	32.20	18.10	14.10	48.46	33.55	17.99	Franco	5.60	5.34
	10 - 30	1.23	15.00	8.30	6.70	62.21	16.34	21.45	Fra. arc. arenoso	5.40	3.64
	30 - 105	1.50	14.10	9.20	4.90	63.82	17.76	18.42	Fra. arc. arenoso	5.20	1.80
12	0 - 10	1.24	28.60	15.54	13.06	12.95	54.57	32.48	Fra. arc. limoso	5.90	3.20
No. Perfil	Profundidad	Fósforo aprov. (ppm)	Carbonato de Ca. (%)	CIC (me/100g)	Calcio (me/100g)	Magnesio (me/100g)	Sodio (me/100g)	Potasio (me/100g)	GE ext. sat. (mimos/cm)	pH pasta saturación	Clasificación del suelo
7	0 - 10	0.14	0.22	18.51	0.80	0.00	0.00	0.40	0.00	5.70	Leptosol
8	0 - 10	1.68	2.50	54.00	0.05	0.00	0.24	0.51	0.70	5.50	Cambisol
	10 - 35	1.03	2.50	28.00	0.15	0.00	0.30	0.26	0.88	5.10	
	35 - 77	2.37	1.30	25.00	0.47	0.00	0.38	0.14	0.25	5.00	
	77 - 125	1.88	0.00	31.00	0.18	0.00	0.52	0.38	0.47	5.70	
9	0 - 15	0.50	0.60	16.30	6.20	0.16	0.60	0.20	0.86	5.70	Phaeozems
	15 - 85	0.60	1.00	16.40	5.30	0.12	0.40	0.10	0.92	5.60	
	85 - 120	0.30	1.00	16.40	3.20	0.10	0.30	0.10	0.62	5.60	
10	0 - 25	1.18	3.50	45.00	7.84	0.17	0.43	0.48	0.45	5.50	Ventisol
	25 - 60	0.74	1.50	53.00	15.25	0.52	0.87	0.10	0.48	5.70	
11	0 - 10	1.28	2.30	53.23	0.08	0.00	0.21	0.66	0.87	5.50	Cambisol
	10 - 30	1.03	2.65	26.10	0.12	0.00	0.27	0.28	0.98	5.10	
	30 - 105	1.87	1.16	24.52	0.32	0.00	0.28	0.18	0.22	5.10	
12	0 - 10	0.18	0.32	23.50	1.20	0.00	0.30	0.40	0.16	5.80	Leptosol

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **ANEXO FOTOGRAFICO**



**La deforestación propicia la erosión laminar y posteriormente la erosión en cárcavas de los suelos.**

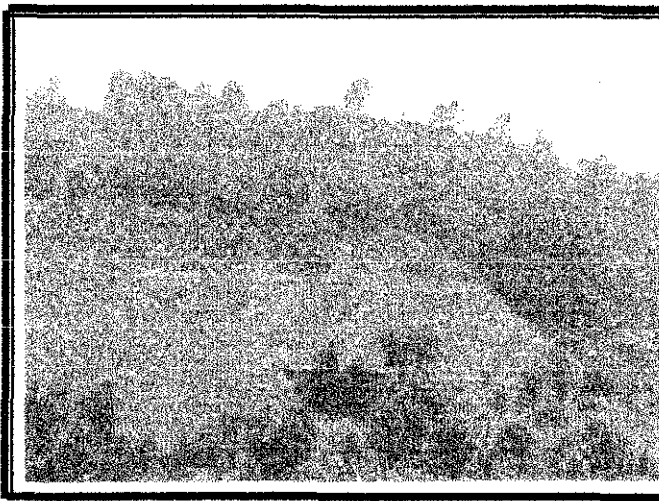
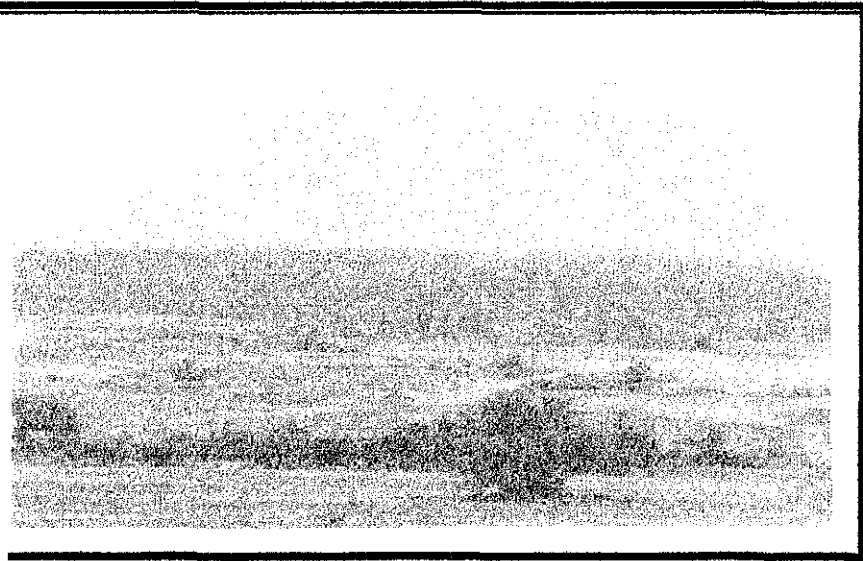
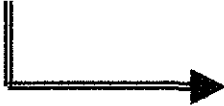


**Erosión en cárcavas en Luvisoles.**

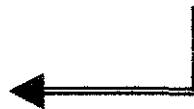


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La eliminación de la vegetación es intensa en áreas cercanas al Lago de Guadalupe, creciendo los asentamientos humanos.



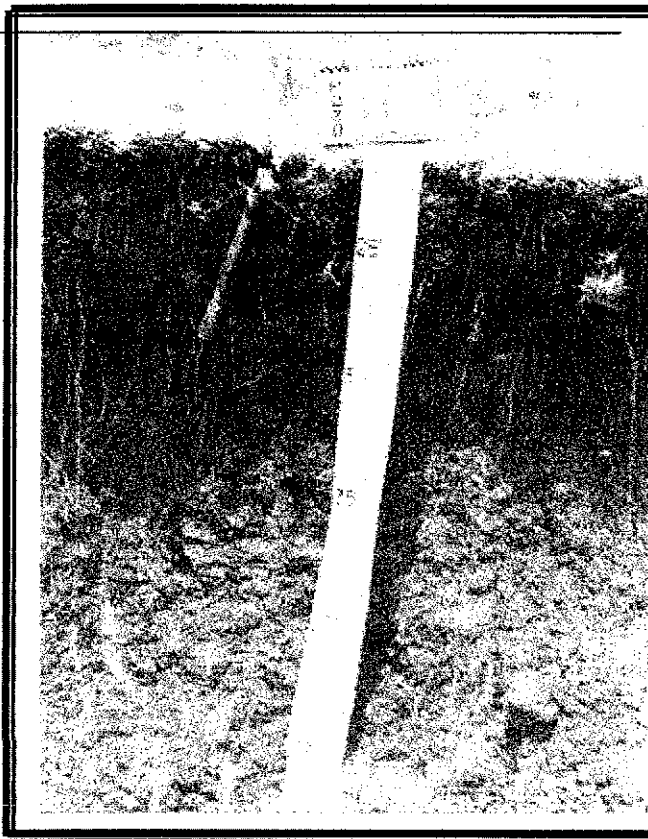
Terreno deforestado para utilizarlo en agricultura, con pendientes muy pronunciadas.



Avanza la deforestación en la subcuenca

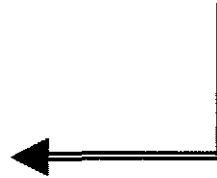


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



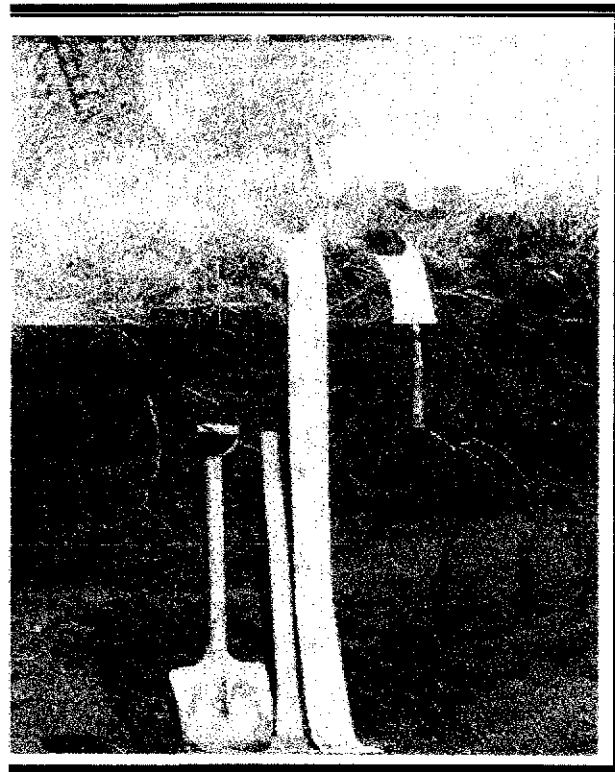
**Perfil de suelo No 3.**

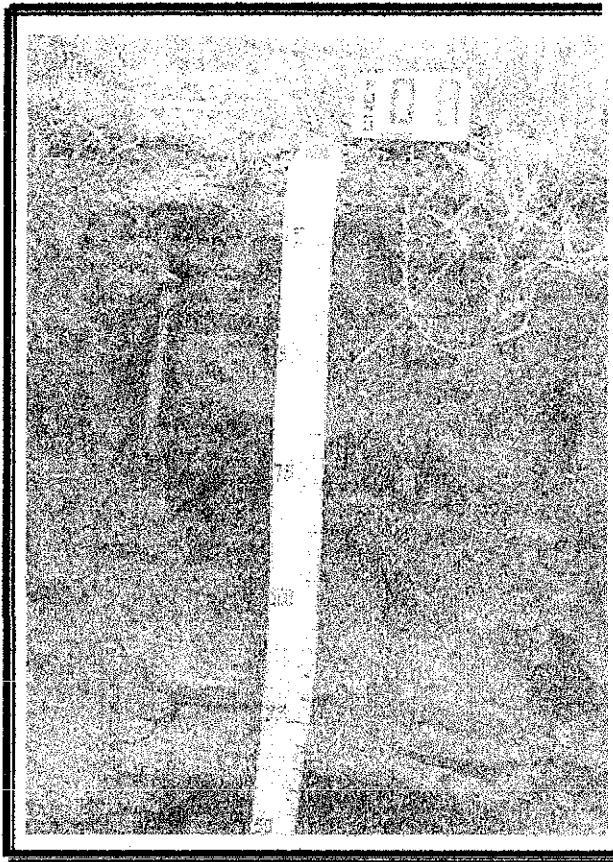
**Perfil de suelo representativo de los Luvisoles crómicos (LVx).**



**Perfil de suelo No. 5**

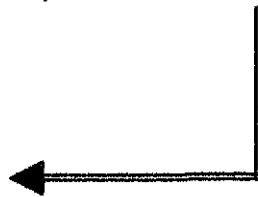
**Perfil representativo de los Andosoles mólicos (ANm), son suelos muy oscuros por el alto contenido de materia orgánica**



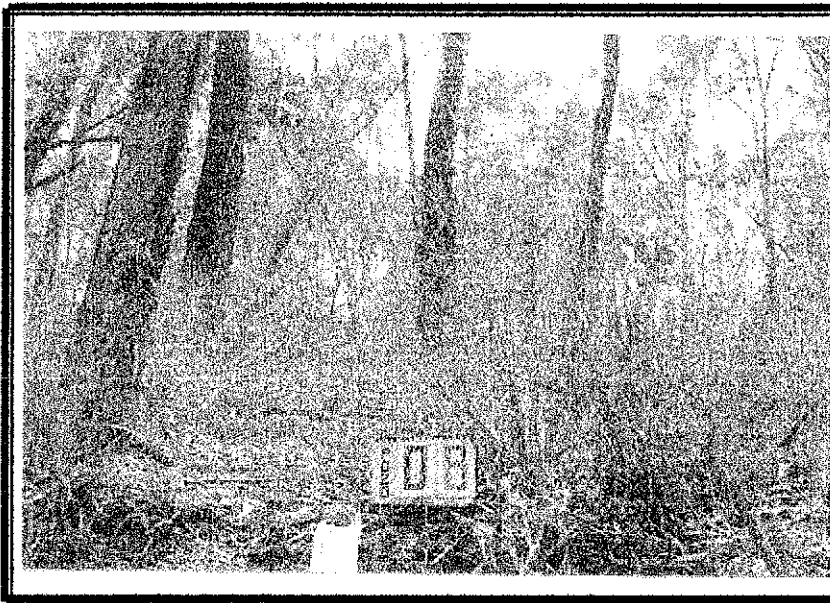


**Perfil de suelo No. 8**

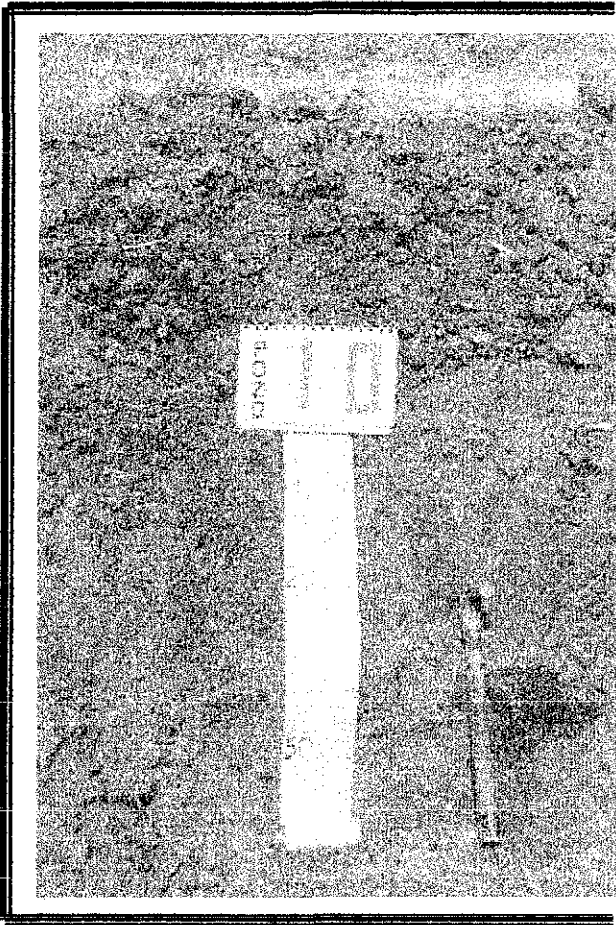
**Perfil representativo de los Cambisoles (Cmu)**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Panorámica del sitio de los Cambisoles Húmicos, son suelos con vegetación de bosque y pastizal.**



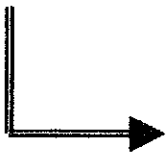
**Perfil de suelo No. 10**

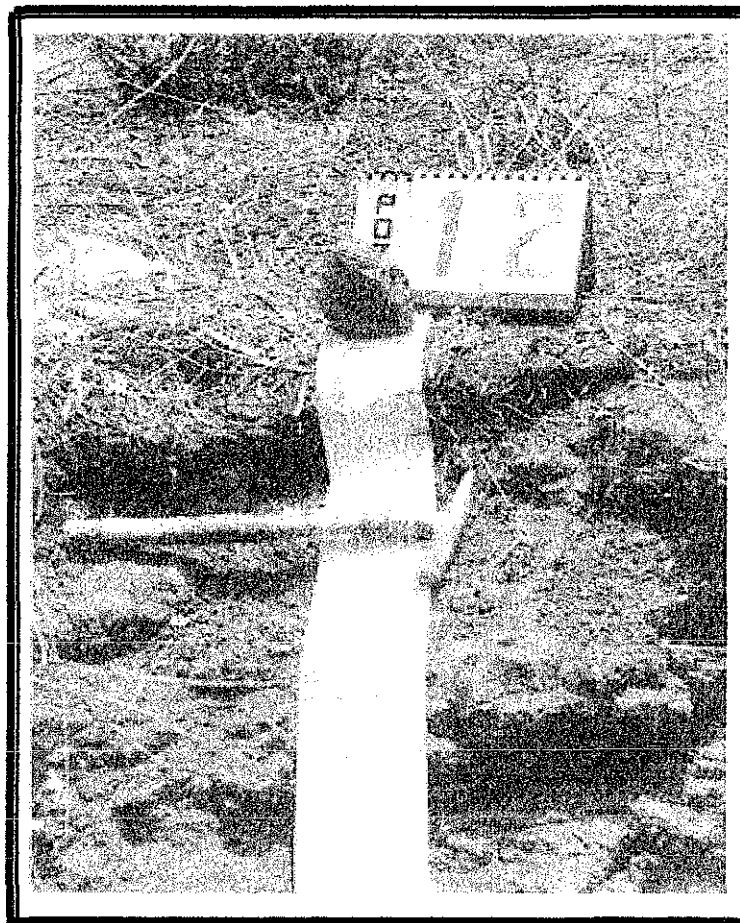
**Perfil representativo de los Vertisoles eútricos (VRe)**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

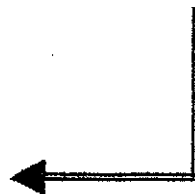
**Los Vertisoles son suelos  
dedicados a la explotación  
agrícola .**





**Perfil de suelos No. 12**

**Perfil de suelo representativo de los Leptosoles, que son suelos muy delgados que no rebasan los 10 cm de profundidad.**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

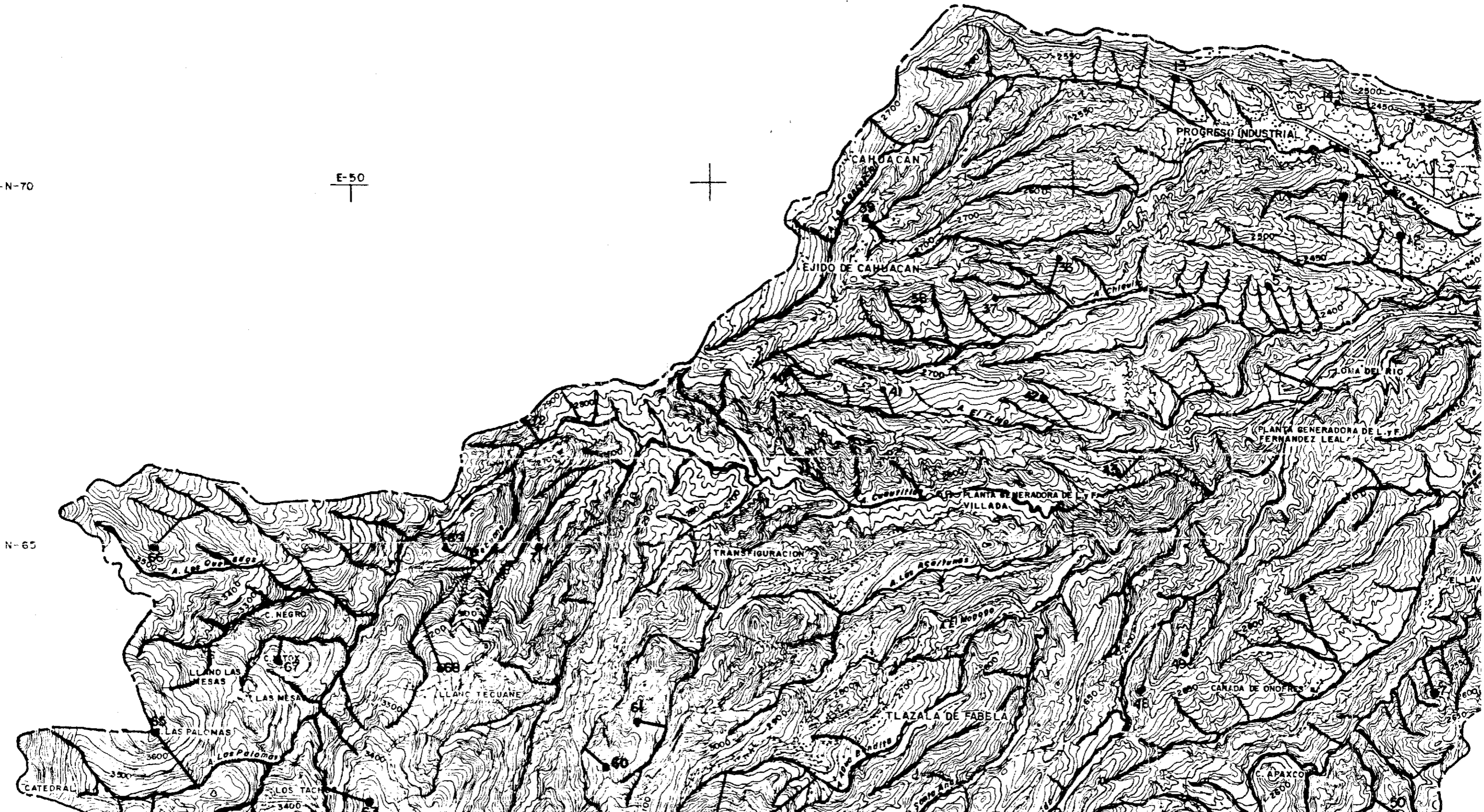
## **ANEXO DE PLANOS**

1

E-55

E-60

E-65

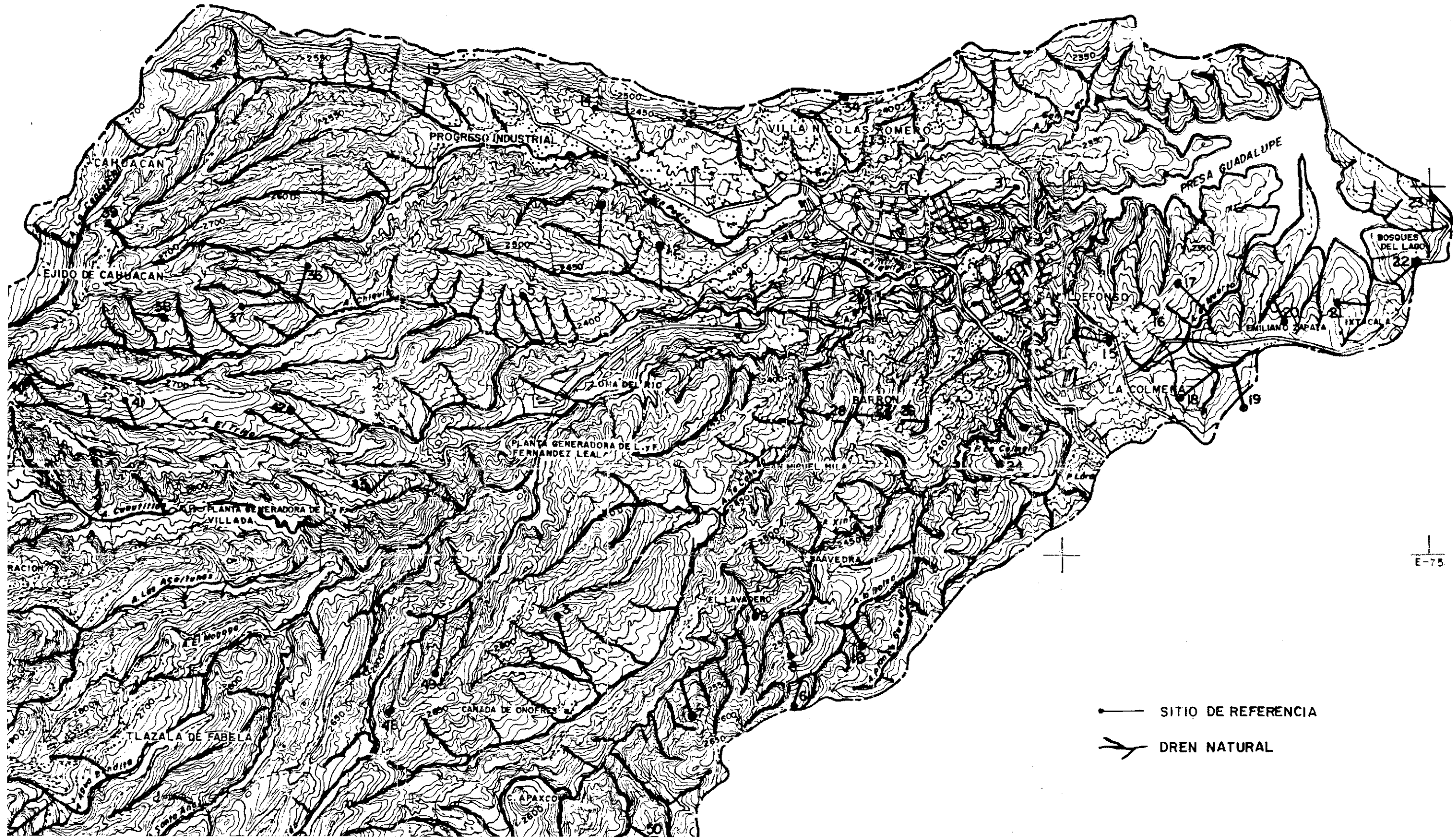


N-70

E-50

N-65





N-70

N-65

E-75

- SITIO DE REFERENCIA
- >— DREN NATURAL



N-65

N-60

N-55

3

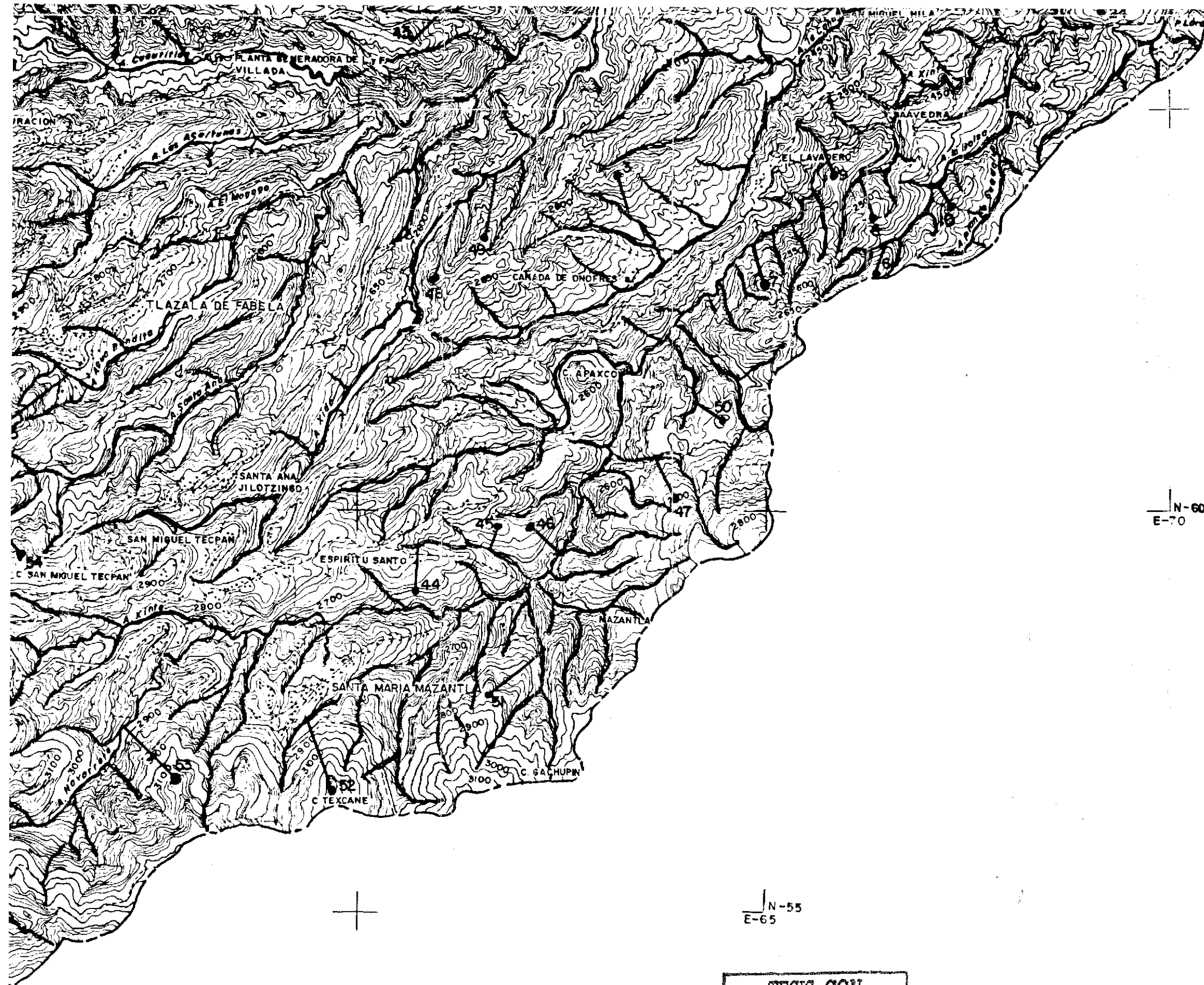
E-50

E-55

E-60

N-55  
E-65

TESIS  
FALLA DE



- SITIO DE REFERENCIA
- └─ DREN NATURAL

N-60  
E-70

N-55  
E-65

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

E-60



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS MAESTRIA EN CIENCIAS EDAFOLOGIA
DRENAJE NATURAL Y SITIOS DE REFERENCIA <i>SUCIEDAD DEL LAGO DE GUADALUPE</i>
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
TESIS REALIZADA POR : JOSE LUIS LUCIO MEDINA RUIZ

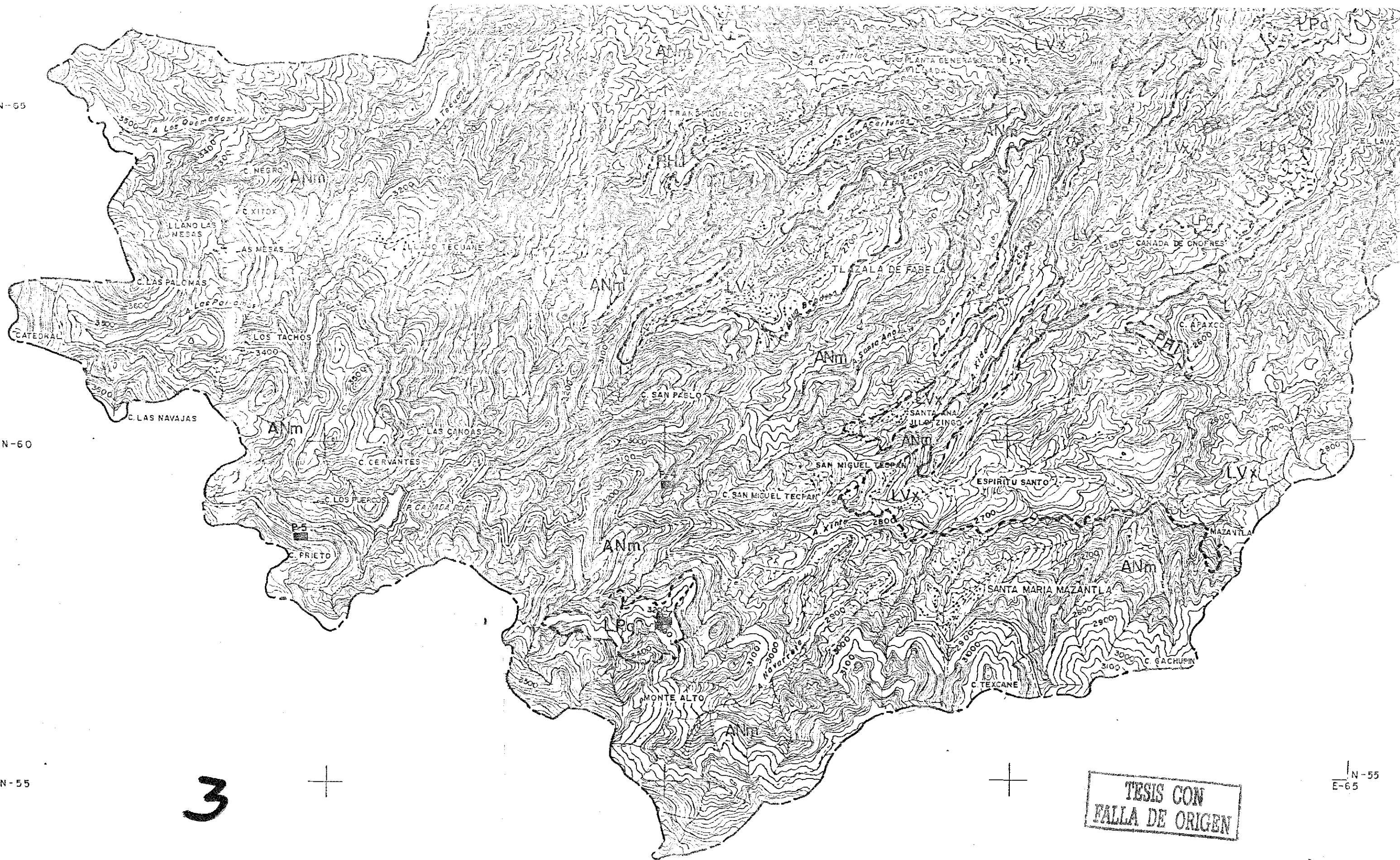
4





UNIDADES DE SUELO FAO/UNESCO/ISRIC

Clave de Sueto	Unidad de Suelo	Superficie (Ha)	%
----------------	-----------------	-----------------	---



3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

N-55  
E-65

N-55

N-60

N-55

E-50

E-55

E-60

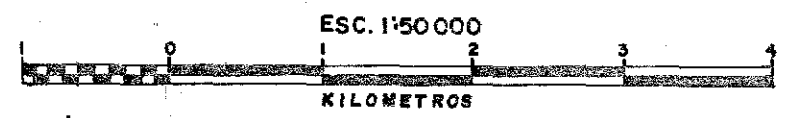


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

UNIDADES DE SUELO FAO/UNESCO/ISRIC

Clave de Suelo	Unidad de Suelo	Superficie (Ha)	%
ANm	Andosol mólico	12541	45.5
LVx	Luvisol crómico	9175	33.2
VRe	Vertisol eútrico	2213	8.0
CMu	Cambisol húmico	1285	4.7
PHI	Phaeozems lúvico	1065	3.9
LPq	Leptosolítico	963	3.5
CA	Cuerpos de agua	345	1.2
<b>TOTAL</b>		<b>27587</b>	<b>100.0</b>

P-2  
POZO AGROLOGICO



4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
EDAFOLOGIA

*UNIDADES DE SUELO FAO/UNESCO/ISRIC  
SUBCUENCA DEL LAGO DE GUADALUPE*

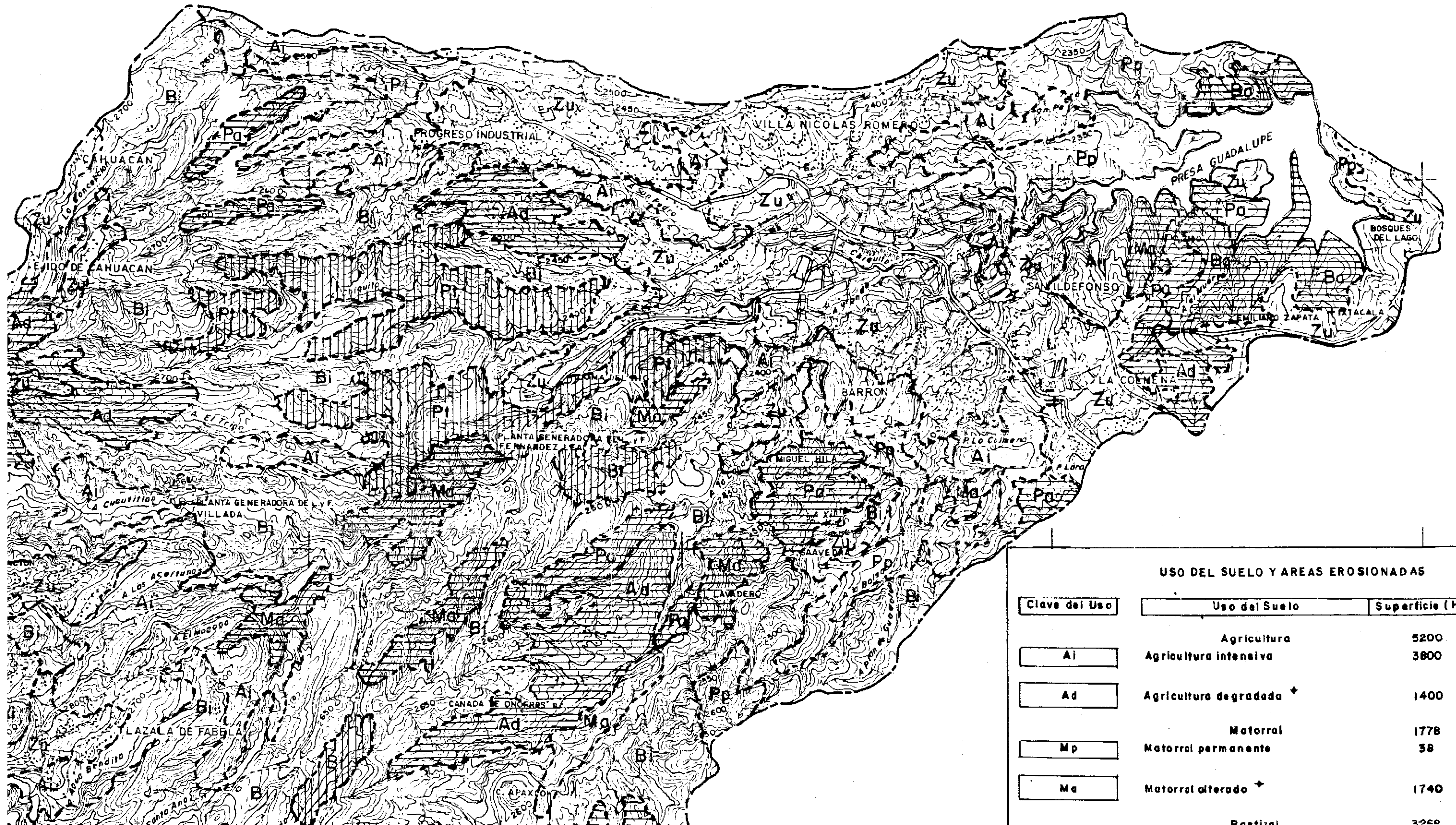
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

TESIS REALIZADA POR: JOSE LUIS LUCIO MEDINA RUIZ





2



USO DEL SUELO Y AREAS EROSIONADAS

Clave del Uso	Uso del Suelo	Superficie (Ha)	%
	Agricultura	5200	18.8
Ai	Agricultura intensiva	3800	13.8
Ad	Agricultura degradada *	1400	5.1
	Matorral	1778	6.4
Mp	Matorral permanente	38	0.1
Ma	Matorral alterado *	1740	6.3
	Bosques	3000	11.8



3

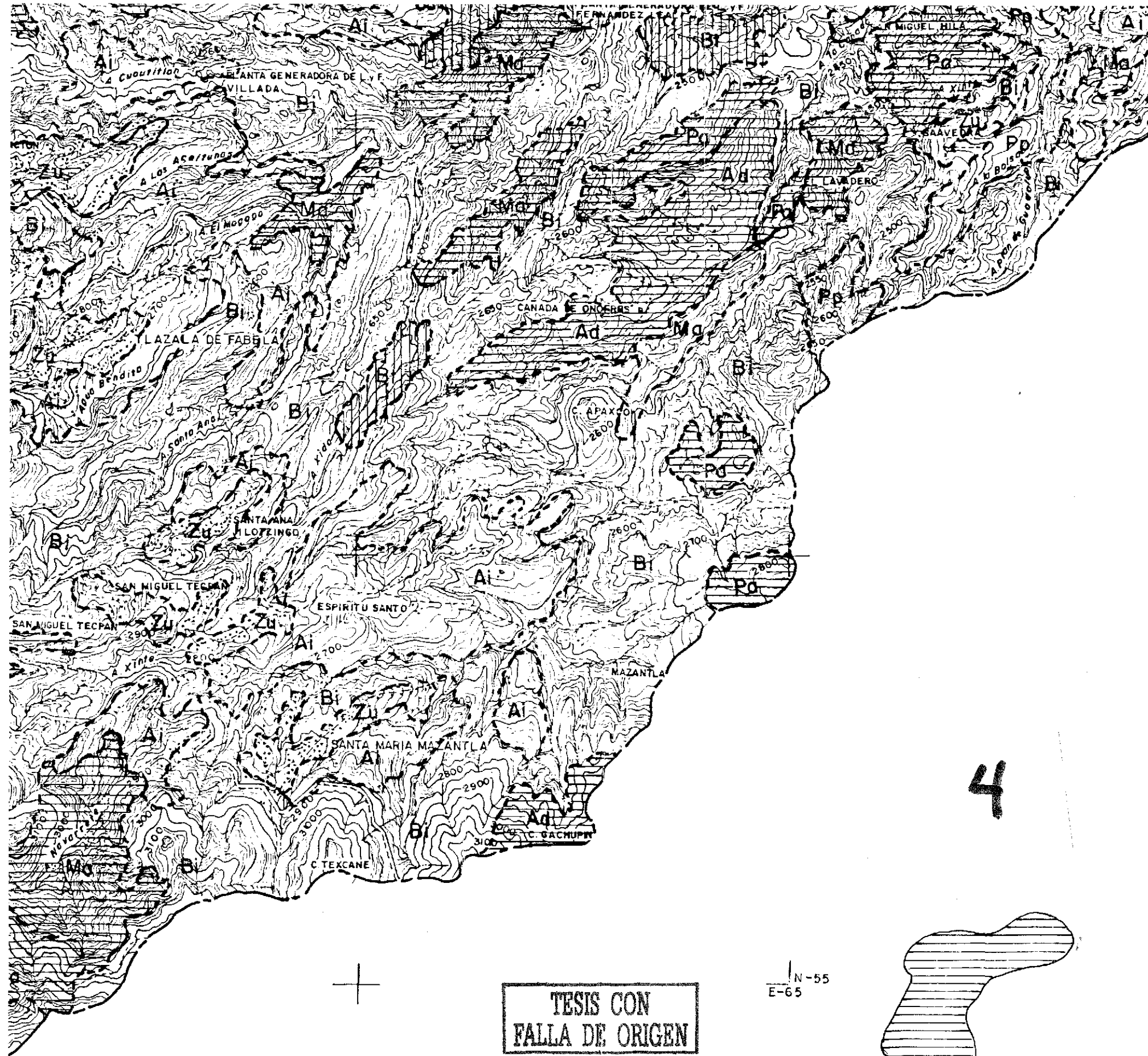
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

N-55  
E-65

E-50

E-55

E-60



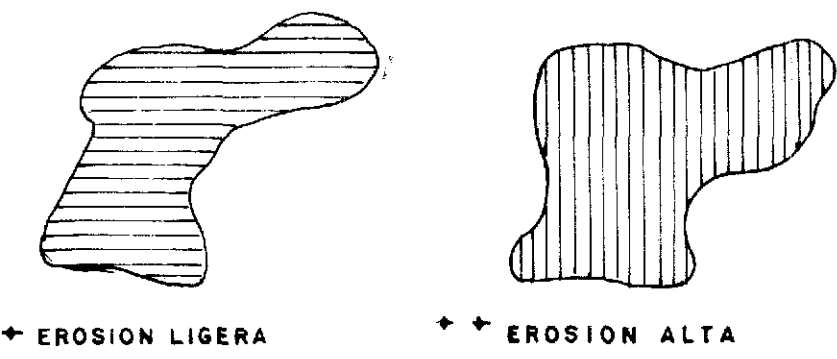
**USO DEL SUELO Y AREAS EROSIONADAS**

Clave del Uso	Uso del Suelo	Superficie (Ha)	%
	Agricultura	5200	18.8
Ai	Agricultura intensiva	3800	13.8
Ad	Agricultura degradada *	1400	5.1
	Matorral	1778	6.4
Mp	Matorral permanente	38	0.1
Ma	Matorral alterado *	1740	6.3
	Pastizal	3268	11.8
Pp	Pastizal permanente	1430	5.2
Pa	Pastizal alterado *	755	2.7
Pt	Pastizal totalmente degradado **	1083	3.9
	Bosque	13123	47.6
Bi	Bosque integro	12280	44.5
Ba	Bosque alterado *	683	2.5
Bt	Bosque totalmente alterado **	160	0.6
Zu	Zona urbana	3873	14.0
Ca	Cuerpos de agua	345	1.3
<b>TOTAL</b>		<b>27587</b>	<b>100.0</b>



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

N-55  
E-65



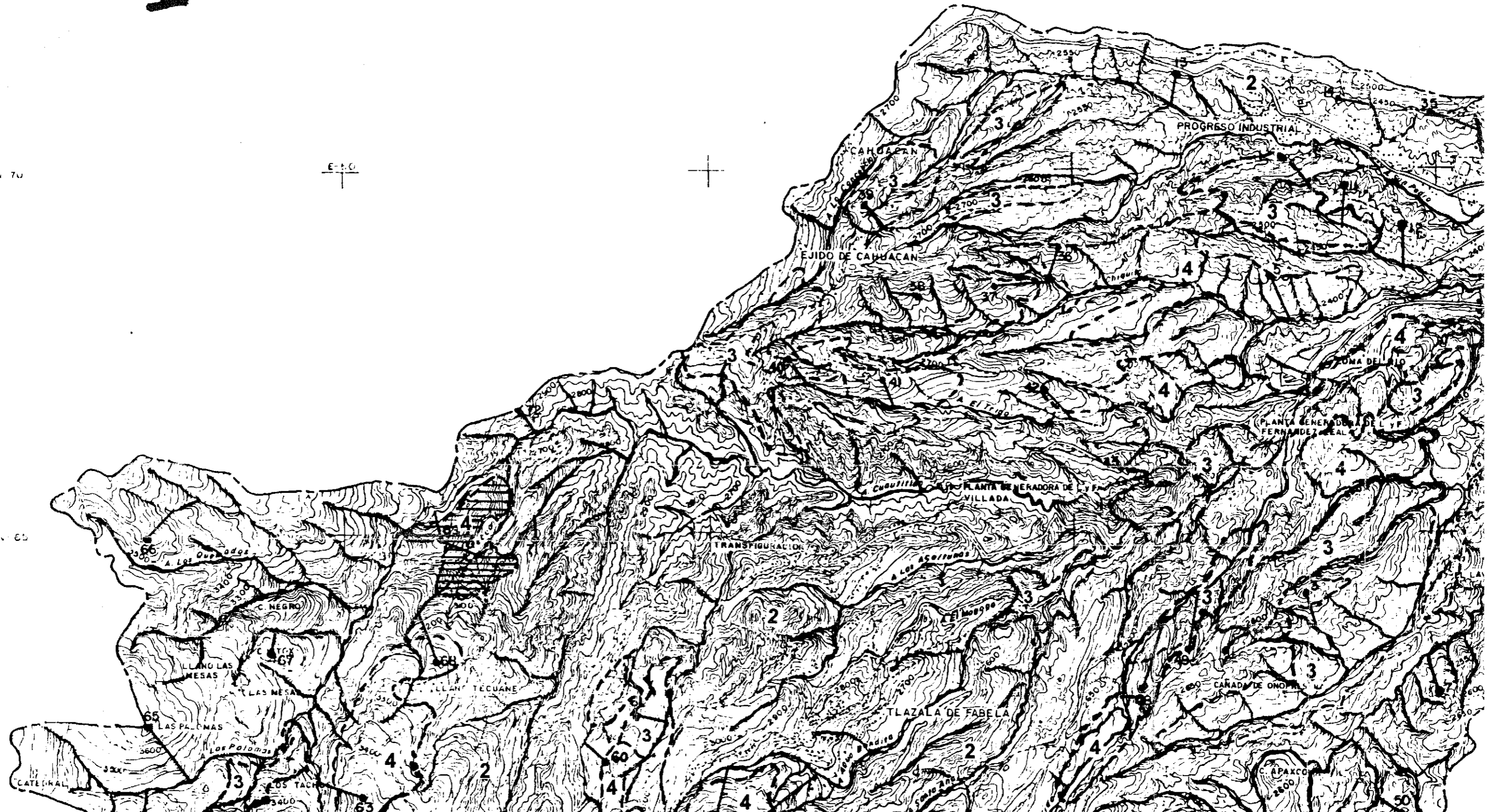
E-60

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 MAESTRIA EN CIENCIAS  
 EDAFOLOGIA  
 USO ACTUAL DEL SUELO  
 SUBCUENCA DEL LAGO DE GUADALUPE  
 DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
 TESIS REALIZADA POR : JOSE LUIS LUCIO MEDINA RUIZ

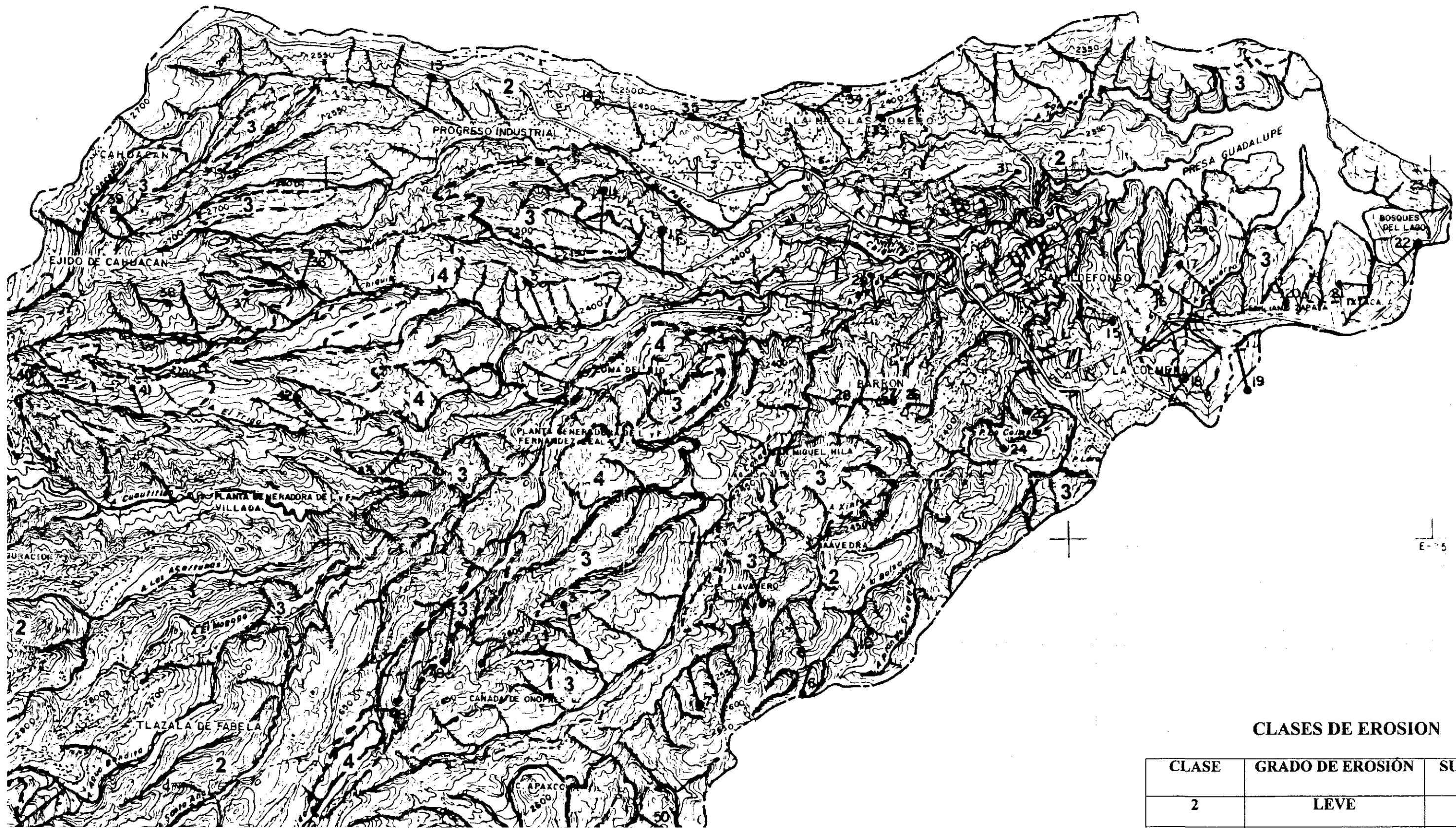
1

N 70

E-50

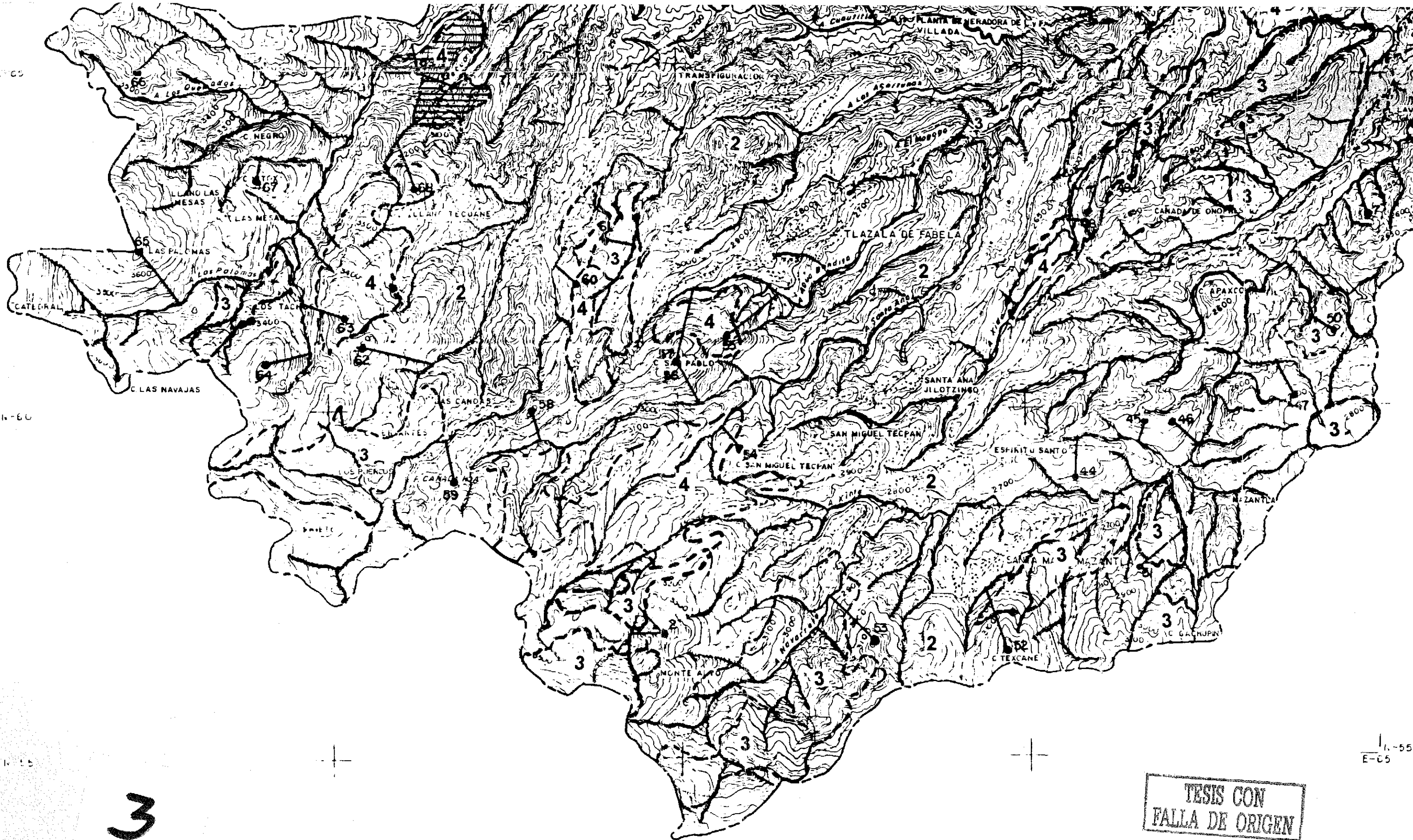


N 60



CLASES DE EROSION

CLASE	GRADO DE EROSION	SUPERFICIE (ha)
2	LEVE	17,548



3

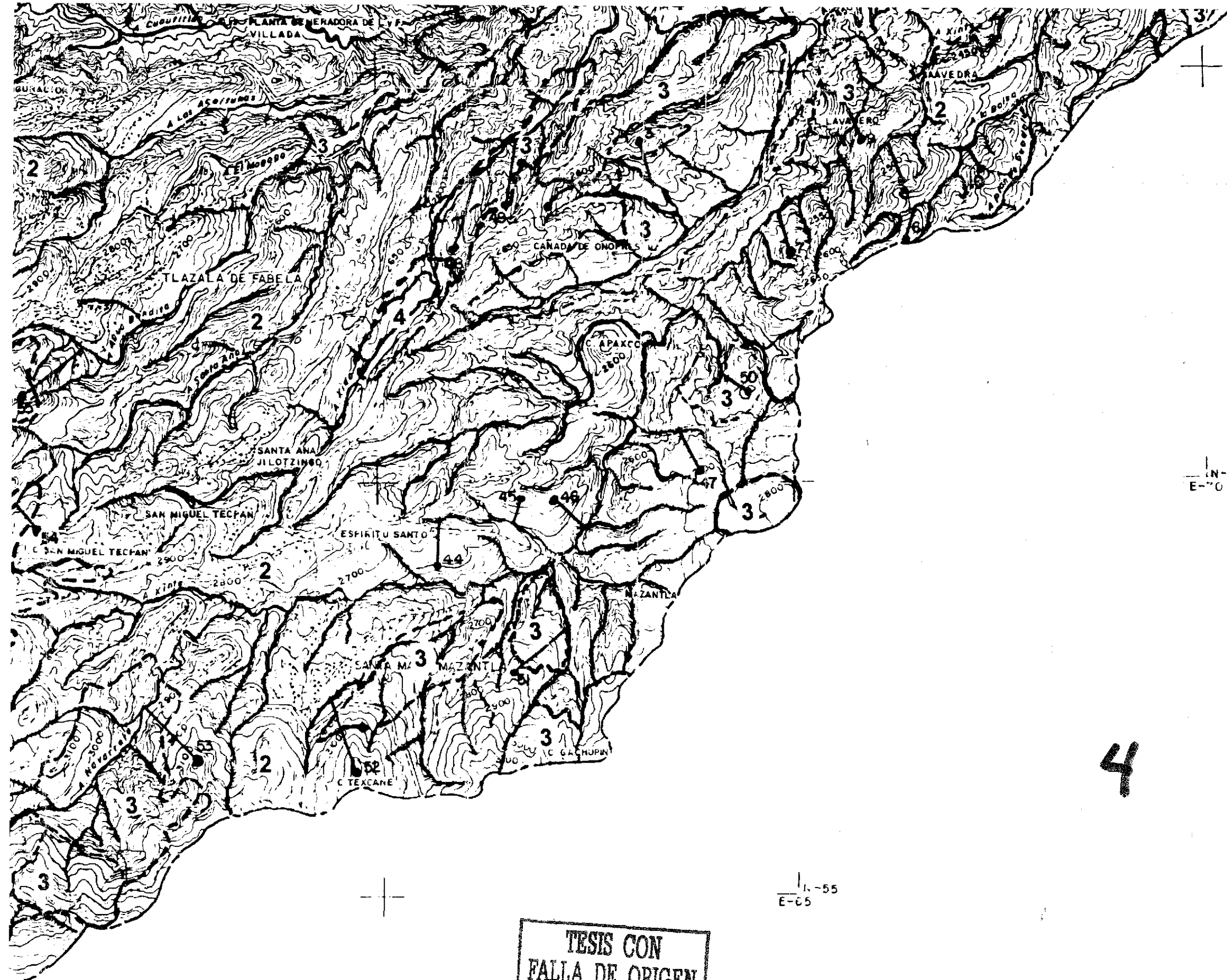
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

E-50

E-55

E-60

18-55  
E-65



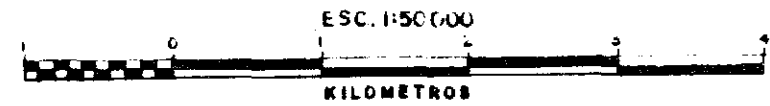
**CLASES DE EROSION**

CLASE	GRADO DE EROSION	SUPERFICIE (ha)
2	LEVE	17,548
3	MODERADA	4,578
4	SEVERA	1,243

N-60  
E-70

N-55  
E-65

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 MAESTRIA EN CIENCIAS  
 EDAFOLOGIA  
 CLASES DE EROSION  
 SUBCUENCA DEL LAGO DE GUADALUPE  
 DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
 TESIS REALIZADA POR : JOSE LUIS LUCIO MEDINA RUIZ

E-60