

35
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA

GEOMORFOLOGIA DINAMICA DE LA CUENCA
DE LA PRESA CONSTITUCION 1917,
QUERETARO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A :

VERONICA ZERMEÑO ORTIZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE I. LUGO HUBP.



MEXICO, D. F.

24 DE JULIO DE 1996.

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**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.

A mis padres:

Conchita y Miguel.

Por ser mis fieles acompañantes en los recorridos a la zona de estudio y compartir conmigo la experiencia de mi formación.

Por su apoyo incondicional en mis decisiones.

Por su invaluable amor y ser base de mi preparación personal y profesional.

A mis hermanos:

Miguel.

Por su apoyo durante la carrera y por ser mi amigo.

Sonia.

Por realizar mis trámites, leer mis borradores y vivir de cerca la elaboración de esta tesis.

Sandra.

Por compartir mis desveladas y ser además mi confidente.

Elia.

Por ayudarme en mis mapas y ser mi compañera.

Por dar tanta alegría, energía y amor en ese afán de descubrir la vida.

A mis abuelos:

José†.

Por descubrir con él, lo que es la Geografía.

Conchita.

Por conocer a través de ella mi zona de estudio.

Jesús.

Por su ternura y palabras de aliento.

Martina†.

Por su afecto sincero y espontaneidad.

De quienes siempre recibí y recibiré cariño, orientación y experiencia en cada palabra de ellos.

A mis tíos y primos maternos.

Por estar siempre cerca de la familia, compartiendo cada momento.

A mis tíos y primos paternos.

Por su afecto, aprecio y tenacidad.

A las personas que me han nutrido con amor, apoyo y entrega para llevar a cabo esta titulación.

AGRADECIMIENTOS

Mi más amplio agradecimiento y reconocimiento al Dr. José I. Lugo Hubp por su orientación en la elaboración de esta tesis, por aceptar ser director de la misma y compartir sus conocimientos y tiempo conmigo.

Al grupo examinador de esta tesis, al M. en C. Lorenzo Vázquez Selem por sembrar en mí el interés hacia la Geomorfología. A el Dr. José Luis Palacio Prieto por sus opiniones hechas al estudio y su enseñanza en el manejo de herramientas en el proceso de la información. Al Dr. José Juan Zamorano Orozco por su orientación en la elaboración del mapa morfogenético y en la fotointerpretación. Al Dr. Gerardo Bocco por sus comentarios vertidos al estudio.

Al Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez por su gran apoyo en el fortalecimiento de los conocimiento geomorfológicos, por estimularme con su valiosa dedicación a la investigación, asimismo por las facilidades brindadas en el uso de equipo y material bibliográfico durante la elaboración de esta tesis. A Laura Luna González y Ana Patricia Méndez Linares por su ayuda en la resolución de los problemas técnicos.

Al Instituto de Geografía por apoyar el estudio con el acceso a las herramientas de trabajo y en los recorridos de campo.

Al Dr. Gerardo J. Aguirre Díaz por permitir la consulta de su trabajo de tesis.

A las dependencias gubernamentales de la CNA, SARH y del Estado de Querétaro por facilitar la consulta de material para la realización del estudio.

A mis amigos de la carrera por compartir en estos años: experiencias, sueños, problemas, ideas y viajes, todo esto con el fin de crecer y aprender juntos. En especial a: Araceli Miranda Burgos, José Manuel Figueroa Mah-Eng y Manuel Eduardo Mendoza Cantú por su amistad y sobretodo por estar siempre cerca de mí.

A las personas que, aunque no las nombre en estas líneas, son parte importante de mi entorno y madurez profesional.

CONTENIDO.

	Página.
Índice de cuadros.	vi
Índice de gráficas.	vi
Índice de fotografías.	vi
Índice de mapas.	vi
índice de perfiles.	vii
 Resumen.	 1
 1- Introducción.	 2
1.1- Marco teórico.	2
1.2- Antecedentes.	4
1.3- Planteamiento del problema.	6
1.4- Objetivos.	6
1.5- Métodos.	7
1.5.1- Hipsometría.	7
1.5.2- Pendiente del terreno.	8
1.5.3- Trazo y clasificación de órdenes de corrientes fluviales.	8
1.5.4- Densidad de disección.	9
1.5.5- Profundidad de disección.	9
1.5.6- Disección total.	9
1.5.7- Perfiles geomorfológicos.	10
 2- Descripción del área de estudio.	 13
2.1- Localización.	13
2.2- Hidrografía.	14
2.3- Suelos.	16
2.4- Uso del suelo y vegetación.	18
2.5- Clima.	19
 3- Geología.	 22
3.1- Marco Regional.	22
3.2- Marco Local.	25
 4.- Geomorfología.	 33
4.1- Zonificación del relieve.	33
4.2- Morfometría.	34
4.2.1- Hipsometría.	35
4.2.2- Pendiente del terreno.	37
4.2.3- Órdenes de corrientes.	39
4.2.4- Densidad de disección.	41
4.2.5- Profundidad de disección.	41
4.2.6- Disección total.	42

4.3- Morfogénesis.	46
4.3.1- Relieve volcánico.	52
4.3.2- Relieve erosivo.	71
4.3.3- Relieve acumulativo.	73
4.4- Morfodinámica.	75
4.4.1- Erosión hídrica.	86
4.4.2- Remoción en masa.	90
4.4.3- Acumulación fluvial.	91
4.4.4- Superficies conservadas.	93
4.4.5- Acción del hombre.	93
4.4.6- Elementos complementarios.	93
5- Discusión de resultados.	96
5.1- Aplicaciones.	98
6.- Conclusiones.	100
Bibliografía.	103
Cartografía	103

Índice de cuadros

1.- Inventario de zonas erosionadas del Estado de Querétaro.	5
2.- Escurrimientos y estaciones hidrológicas.	15
3.- Unidades morfodinámicas.	80

Índice de gráficas.

1.- Climograma 2202, estación Amealco.	21
2.- Resumen de datos anuales de acarreo en suspensión, Río Galindo.	77
3.- Resumen de datos anuales de acarreo en suspensión, Río la H.	77

Índice de figuras.

1.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Perfiles geomorfológicos.	10
2.- Estado de Querétaro.	13
3.- Región hidrológica Núm. 26 y el estado de Querétaro.	14
4.- Edafología en la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro.	16
5.- Uso del suelo en la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro.	18
6.- Climas en la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro.	20
7.- Provincia fisiográfica Mesa Neovolcánica y el estado de Querétaro.	22
8.- Fragmento del mapa estructural de la porción central de México.	24
9.- Mapa geológico de la región Tlalpujahua-Amealco-Huimilpan.	26
10.- Localización de las fotografías aéreas (fotografías 1, 2, 4 y 5) en la cuenca de la Presa Constitución 1917, en base al mapa geológico.	27
11.- Zonificación geomorfológica de la cuenca de la Presa Constitución 1917.	34
12.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Hipsometría.	36
13.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Pendientes.	38
14.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Ordenes de corrientes.	40
15.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Densidad de disección.	43
16.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Profundidad de disección.	44
17.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Disección Total.	45
18.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Morfogénesis.	51
19.- Estaciones hidrométricas antes de la construcción de la Presa Constitución 1917.	76
20.- Cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Morfodinámica.	85

Índice de fotografías.

1.- Sierra del Rincón.	28
2.- Domo Riolita la Cruz, Andesita Amealco y Pómez Tabique.	29
3.- Corte de la Toba Amealco, mina de arena San Miguel.	30
4.- Riolita Galindillo, lavas y brechas intermedias no	

diferenciadas del Plioceno y Cerro del Aire.	31
5.- Complejo domos-lava-volcán intermedio Sierra de Vaquerías.	32
6.- Domo y colada de andesita, expuesta, Sierra de Vaquerías.	52
7.- Colada de andesita cubierta por piroclastos.	53
8.- Domo La Beata y mesa de lava.	55
9.- Mesa de ignimbrita, localidad Puerta de Alegrías y en segundo plano domos de la Sierra de Vaquerías.	57
10.- Presa Constitución 1917, Cerro La Estancia, planicies aluvial y de piroclastos.	61
11.- Domo no diferenciado, cercano a la población Dolores Cuadrilla de Enmedio.	63
12.- Piedemonte inferior y Cerro Galindillo.	64
13.- Volcán El Jingo.	66
14.- Desarrollo de circos erosivos activos en la Sierra de Vaquerías.	67
15.- Valle mayor de laderas escarpadas, Río Los Zúñigas.	71
16.- Valle menor desarrollado sobre la Toba Amealco .	73
17.- Abanico al pie de la Sierra de Vaquerías.	74
18.- Represa para retención de azolves emplazada en el Río Los Zúñigas.	78
19.- Erosión laminar en suelos someros.	86
20.- Escarpe y salto de cabecera, erosión laminar en suelos profundos.	87
21.- Erosión lineal en el volcán El Jingo.	88
22.- Erosión lineal en la Toba Amealco , Río Los Zúñigas.	89
23.- Salto de cabecera por alternancia litológica, nacimiento de barranco y Cerro El Serrín	90
24.- Gaviones construidos en la planicie aluvial, para evitar daños a la carretera.	92
25.- Bordo construido en el piedemonte superior.	95

Índice de perfiles.

Perfil A-A'.	68
Perfil B-B'.	70
Perfil C-C'.	60
Perfil D-D'.	62
Perfil E-E'.	54
Perfil F-F'.	59
Perfil G-G'.	65
Perfil H-H'.	56
Perfil I-I'.	72

RESUMEN.

El estudio geomorfológico de la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro., se sintetiza en mapas cuantitativos y cualitativos del relieve, siendo el sustento del análisis: los mapas, las fotografías aéreas y los recorridos en campo. Los resultados obtenidos caracterizan la génesis del relieve y la dinámica en función de la geología, edafología, pendiente, cubierta vegetal y la acción del hombre expresada en el uso del suelo e infraestructura. La conjugación de estos factores presenta características diferentes tanto en la caldera, las cimas menores, las sierras, el piedemonte, el abanico y la planicie aluvial.

En la Caldera de Amealco se observa el inicio de una erosión lineal, además de la pérdida del suelo por la actividad agrícola y ganadera en pendientes inclinadas. Las cimas menores corresponden a domos, volcanes y coladas, algunos semiseptados por el material emitido por la Caldera de Amealco, cuya particular constitución geológica y forma se refleja en una erosión laminar en suelos delgados, principalmente.

La Sierra de Vaquerías es la unidad geológicamente más compleja y donde la acción erosiva fluvial es intensa debido a la conjugación de rocas antiguas y fáciles de erosionar, pendiente fuerte, vegetación muy abierta, así como los contrastes presentes en los circos erosivos, dados por la exposición de ladera. La Sierra del Rincón es una superficie conservada donde la erosión es atenuada, a pesar de la fuerte pendiente, por la densa cubierta de árboles, reflejado en la presencia de circos erosivos inactivos.

El piedemonte volcánico, está diferenciado en dos niveles: superior e inferior, y presenta contrastes marcados. El superior, se caracteriza por la presencia de barrancos menores con una erosión remontante en las cabeceras, además de estar modificados los escurrimientos por la construcción de bordos; en los interfluvios se observa una erosión laminar en suelos profundos, cuyo espesor es de más de un metro, la acción erosiva del agua es acelerada por la agricultura y ganadería. En el piedemonte inferior la capa de suelo es muy delgada o ausente, a pesar de lo suave de la pendiente, esto ocasionado también por el uso del suelo agrícola y pecuario; se observa en general una erosión laminar en suelos someros y la presencia de barrancos mayores donde se presenta caída de rocas, erosión lineal y una fuerte disección vertical del material tobáceo emitido por la caldera. En la toba también hay canteras para extracción de material.

Por último el abanico y la planicie aluvial son consecuencia del acarreo de material en la cuenca, la depositación de este material se da al nivel de base local mostrando los escurrimientos que realizan el mayor arrastre y las fuentes productoras del material, aprovechadas por el hombre como bancos de material.

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1- MARCO TEÓRICO.

La geomorfología se define como la ciencia que se ocupa del estudio de la superficie terrestre, de su evolución y su dinámica actual por procesos endógenos y exógenos. Se conjuga con otras disciplinas como la geología, la edafología, climatología, hidrología, entre otras, de lo que resultan los conocimientos fundamentales para entender el relieve y su transformación.

Los objetivos fundamentales de los estudios geomorfológicos son: conocer el relieve a distintas escalas, clasificarlo en función del proceso que le dio origen, de su edad, su forma resultado de la evolución, y su dinámica actual, esto es, los procesos que actualmente modifican el relieve. Los temas que pueden abordarse son muy variados, van desde el relieve del fondo oceánico, erosión, ecología, sedimentos cuaternarios, cartografía geomorfológica, volcanismo, litorales, etc. Con este enfoque se definen unidades geomorfológicas a partir de formas y procesos, mismos que pueden ser locales o regionales, además de variar en frecuencia e intensidad. Esta información se plasma en mapas geomorfológicos diversos.

La escala de los mapas se relaciona estrechamente con el tipo de análisis geomorfológico. Las escalas grandes (1:50,000 o 1:25,000) son un material útil para resolver problemas contemporáneos al hombre: construcción de vías de comunicación, problemas agrícolas, así como apoyar a trabajos ambientales posteriores (Spiridonov, 1981).

Además, la geomorfología proporciona información a los responsables de la planificación del uso del terreno en función de los problemas que presenta. Los problemas ambientales están en relación estrecha con el relieve. Esto es muy complejo por la amplia variedad de condiciones físico-geográficas, lo que exige aplicar distintos métodos y criterios para proporcionar un diagnóstico.

Tricart y Kilian (1982) menciona que el análisis geomorfológico de cuencas permite identificar la situación o problemas que guardan, los cuales se relacionan con las crecidas, el transporte y acumulación efectuado por los escurrimientos, que repercuten en la longevidad de las presas, y una disminución en la calidad del agua, por citar algunos. Por ello se procura conservar e incrementar los recursos hídricos. Además, cuando el trabajo morfodinámico es acelerado, paralelamente se desarrolla un mayor transporte de sólidos y pérdida de suelo, por lo que la conservación de las tierras y aguas van de la mano.

La geomorfología dinámica estudia los procesos actuales que modifican el relieve, los que se desarrollan de forma rápida, hablando de una escala de tiempo geológico, y son esencialmente exógenos aunque directamente influenciados por

los endógenos. Uno de los procesos que contribuye a una transformación rápida de grandes superficies es el volcánico, lo que puede reconocerse en una gran parte de la República Mexicana, donde se ha manifestado incluso en la actualidad. Tal es el caso de los volcanes Xitle y Parícutín los cuales transformaron localmente el entorno, sepultaron suelos y modificaron el régimen hidrológico.

La erosión de suelos, un proceso fundamentalmente antrópico, es parte de la morfodinámica. Kirkby y Morgan (1984) mencionan que se desarrolla principalmente donde el agua no se puede infiltrar y fluye sobre la superficie; la velocidad que adquiera determina su capacidad de arrastrar material del suelo por medio de la fuerza hidráulica del flujo. Existen lugares donde se han observado acciones catastróficas por la erosión, es en zonas semiáridas y en los campos desmontados, ya que durante varios meses carecen de la cubierta vegetal y, si además corresponde al periodo de lluvias sin importar el clima, se incrementa el proceso erosivo, ya que al no existir la cubierta se dará un cambio en la erosión; así, se demuestra al señalar que "cualquier incremento en la erosión deberá reducir el nivel "aceptable" impuesto por la tasa de formación del suelo nuevo" (Kirkby y Morgan, 1984: 20).

Por otro lado, en el proceso de recopilación de información en instituciones gubernamentales, se tuvo una entrevista con autoridades de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) para exponer el objetivo del presente estudio. Dispuestos a prestar apoyo, se realizó un recorrido por la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro., donde se observó con mayor precisión que la capa del suelo es muy delgada, que el terreno se dedica a la agricultura principalmente, que la población se percata del fenómeno erosivo y busca atenuarlo con una serie de terrazas para detener el desplazamiento del suelo; se construyen barreras con rocas, de forma transversal a las corrientes superficiales, para que disminuya la capacidad hídrica de transportar el suelo y aquel que ya está siendo desplazado se represe. Asimismo, resaltan lugares donde se carece de suelo y aflora la roca madre o donde es muy delgado, como en la zona ubicada entre San Juan del Río y Amealco. En un acercamiento con las autoridades del Gobierno del Estado de Querétaro, en especial con el Departamento de Ecología, se identificaron como zonas que ellos precisan someter a estudio, debido a su problemática erosiva: la Sierra (Jalpan) y la cuenca del Río San Juan (Amealco y San Juan del Río). En su publicación enfatiza: "Se estima que poco más del 80% de las tierras del Estado padecen diversos grados de erosión, mientras que la destrucción de bosques avanza a un ritmo acelerado..." (COPLADEQ, s.f. :28).

Además, existe una infraestructura hidráulica que depende del espacio que le provee de agua. Este hecho también es un punto a considerar en el estudio, por repercutir en la vida útil que tendrá la presa si continúa un proceso erosivo como el actual.

1.2- ANTECEDENTES.

La cuenca de la Presa Constitución 1917 queda comprendida en la cartografía geomorfológica realizada por Bocco (1984), a escala 1: 250 000, la cual abarca el Bajío y porciones adyacentes; cubre un área de 23,100 km². En dicho trabajo se utilizaron mapas a escala 1: 50 000 y se integró toda la información a escalas menores.

Respecto a la tectónica de la zona, la cual está influida por dos sistemas de fallas principales, el de la fosa de Acambay y el de San Miguel de Allende-Taxco, y por su actividad, la primera ha sido más estudiada que la anterior. Demant (1978) estudió la Caldera de Amealco y definió al material emitido como rocas ácidas del Eje Neovolcánico Transversal, además de señalar el sistema de fallas del graben de Acambay y el sistema San Miguel de Allende-Taxco, de orientación NNW-SSE, sistemas que influyen directamente en el área en estudio. Se conocen los trabajos de autores como Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego (1990) quienes muestran en un mapa la distribución y orientación de las fallas y fracturas del graben de Acambay, sistema que corta en su porción sur a la Caldera de Amealco y los depósitos. Ramírez-Herrera (1994) hizo un análisis geomorfológico tectónico del graben de Acambay.

Entre la información geológica local se encuentra la generada por Sanchez-Rubio (1984), quien reconoció la estructura volcánica de la caldera y clasificó las rocas correspondientes. Suter *et al.* (1991) describieron la misma estructura volcánica, así como las sierras próximas a ésta. Aguirre-Díaz (1993b) elaboró el mapa geológico de la región de Tlalpujahuá-Amealco-Huimilpan, donde define la edad de las rocas y la estratigrafía.

Las extintas secretarías de Recursos Hidráulicos (SRH) y la de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), actual Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, realizaron estudios del estado de Querétaro; en sus publicaciones hay datos de los tipos y extensión de las áreas afectadas por erosión del suelo, con cifras sobre superficies, mas no se sabe con precisión qué lugares son los que presentan el problema, además que no se explica con detalle la metodología para su clasificación (cuadro 1).

Analizando los datos se detectan incongruencias entre los valores y para unificar criterios de análisis, hay que remitirse al método con el cual se obtuvieron. Para el caso del censo de 1960 se desconocen los pasos seguidos; para el de 1981 se utilizaron imágenes de satélite que proporcionan una información limitada de poco detalle. En cambio, para las cifras dadas en 1983, se aplicaron tanto imágenes de satélite, como fotografías aéreas, además de un muestreo en campo, lo que hace más confiables los resultados.

Cuadro 1. Inventario de zonas erosionadas del estado de Querétaro. Fuente: SRH, 1981 y SARH, 1983.

CLASE DE EROSIÓN	SRH CENSO 1960 (ha)	SRH 1981 (ha)	SARH 1983 (ha)
No manifiesta	137,760	181,251	197,300
Muy poca o leve	22,960	397,021	344,954
Moderada	367,360	193,854	321,974
Moderada-severa	206,640	396,941	281,801
Severa	413,280	562	17,600

Asimismo, la publicación de SARH de 1983, agrega con respecto a la zona objeto de estudio: "El 27 % de la superficie total del estado presenta erosión moderada. La región más afectada es la Sierra de Amealco, al sur del estado, misma que se encuentra totalmente contaminada; la vegetación natural es de bosque de encino; sin embargo, casi ha desaparecido en su totalidad debido a la agricultura de temporal y pastizales, usos que se practican en forma intensiva. Estas áreas requieren de un cambio de uso del suelo e implementar la reforestación para recuperar el suelo perdido" (SARH, 1983:42-43).

1.3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El relieve de la cuenca de la Presa Constitución 1917 es un conjunto de unidades volcánicas que relacionadas con el suelo, la vegetación, la geología y el clima dan por resultado diferentes formas del relieve y una red hidrológica característica.

La presa recibe el agua de arroyos que nacen en las montañas contiguas y en la planicie inclinada de piedemonte. En conjunto, los escurrimientos constituyen una cuenca hidrológica, donde estos influyen de manera diversa en la cantidad de material que llega a la presa, y a la vez están en estrecha relación con otros factores naturales y la actividad humana.

Por esto es interesante el estudio de esta cuenca, no a partir de un problema determinado, sino considerando los elementos del medio físico en relación estrecha y en especial, con base en el relieve - la geomorfología.

1.4- OBJETIVOS.

El objetivo general del estudio de la cuenca de la Presa Constitución 1917 es el realizar el análisis y síntesis del relieve de esta zona con base en varios mapas temáticos: morfométricos, morfogenético y morfodinámico.

En lo particular se pretende aplicar el estudio geomorfológico al conocimiento de los cambios que se producen en el relieve por fenómenos naturales y humanos, lo que tiene relación con el azolve de la presa y la modificación del escurrimiento.

1.5- MÉTODOS.

Para el análisis geomorfológico del área en estudio y conforme a la metodología expuesta por Lugo-Hubp (1991) se elaboraron diversos mapas geomorfológicos a partir de la información topográfica de mayor escala. La fuente de datos fue la cartografía editada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) a escala 1:50 000 y fotografías aéreas (1:80 000). El análisis del material se hizo en gabinete y se enriqueció con trabajo de campo.

Para la elaboración de los mapas morfométricos, el morfogenético y el morfodinámico, se utilizó el sistema de Información geográfica (SIG) **Integrated Land And Water Management Information System (ILWIS;** Sistema de Información Integrado de Terreno y Manejo de Cuencas; ILWIS, 1993).

Se digitalizaron las curvas de nivel y rasgos de referencia de la cuenca. Con esta información se generó el modelo digital del terreno (MDT) mediante la interpolación de valores para configurar una red de puntos o píxeles, de los cuales se conocen sus coordenadas X, Y y Z (Palacio-Prieto y Luna-González, 1993). Posteriormente se procesaron en Paintbrush (Windows 3.11) para la edición e impresión final de cada uno de ellos.

Se elaboraron mapas morfométricos: el hipsométrico, el de pendientes, densidad de disección del relieve, profundidad de erosión o de disección del relieve, órdenes de corrientes y disección general del relieve. Cada uno de ellos refleja características cuantitativas del relieve que facilitan la comprensión del mismo y conforme a los valores obtenidos, se pueden identificar zonas homogéneas en cuanto a morfología y procesos actuales.

Los mapas morfogenético y morfodinámico son el resultado del estudio de la Cuenca de la Presa Constitución 1917. El primero plasma el origen del relieve y la forma que presenta, mientras que el morfodinámico expresa los procesos actuales. La explicación de ambos mapas está acompañada de perfiles geomorfológicos y fotografías, con el fin de complementar lo anterior.

1.5.1- Hipsometría.

Este mapa, conocido también como altimétrico, permite una comprensión inmediata del relieve y se elaboró aplicando el método universal de colorear con tonos fríos las porciones más bajas y con cálidos las más altas. Para definir los intervalos se consideraron las cotas máxima y mínima, la distribución general altitudinal y el relieve; los intervalos se establecieron en 50 y 100 metros, guardando un equilibrio entre las superficies que cubre cada uno, de manera que no resulte una generalización ni un detalle exagerado y procurando que representaran superficies proporcionales. Este mapa como todos los morfométricos se elaboraron con el Sistema de Información Geográfica (SIG).

La altura mínima en el área en estudio es de 1930 msnm, la cual rodea al vaso de la presa; la altura máxima es mayor a los 2700 msnm, se localiza en el borde de la caldera, en la Sierra del Rincón y Vaquerías. Se agruparon rangos de alturas conforme a su distribución en la superficie y finalmente se elaboró una gráfica con la superficie de los rangos de las alturas y se variaron hasta formar una campana de Gauss. Esto con el fin de obtener una mejor distribución de los rangos de las alturas

1.5.2- Pendiente del terreno.

El mapa de pendientes resultó de la digitalización del topográfico (MDT) correspondiente, utilizando las curvas de nivel con intervalos de 10 metros. De esto resulta mucha precisión, considerando la escala final del mapa (1:160,000). La pendiente del terreno es la relación entre una distancia vertical (Y) y otra horizontal (X), donde para el mapa en cuestión el primer parámetro es constante (10 metros). Estos mapas resultan de mucha precisión hechos con el SIG, ya que señalan la pendiente de superficies pequeñas, lo que resulta en extremo complejo al hacerlo de manera manual; para ello se empleó el procedimiento descrito por Palacio-Prieto y Luna-González (1993).

Se establecieron rangos que muestran los abanicos, planicies, piedemontes y coladas (0 a 6 grados), volcanes, laderas montañosas (6 a 25 grados) y por último, las laderas más abruptas (mayores a 25 grados). Estos rangos a su vez, se subdividieron para distinguir zonas homogéneas o que representan superficies muy amplias. La gama de colores va de menor a mayor pendiente a partir del verde, amarillo, naranja y para las más abruptas, rojo y violeta.

1.5.3- Trazo y clasificación de órdenes de corrientes fluviales.

Se elaboró un mapa de órdenes de corrientes aplicando el método de Strahler, muy recomendable cuando se trata del estudio de cuencas fluviales. El trazar las corrientes de la cuenca se realiza en primera instancia para ver su distribución. Posteriormente se clasifican, se hacen mediciones y se elaboran otros mapas. La red fluvial ayuda en la identificación de las formas del relieve, permite inferir las edades relativas del mismo, la dinámica actual, si están controladas por estructuras, por la litología, por el clima o sufren alteración antrópica (represamiento). Además, los órdenes de corrientes reflejan un proceso evolutivo, en el caso de zonas con volcanes recientes como el Parícutín y Xitle los órdenes difícilmente llegan al tercero, mientras que en el relieve volcánico antiguo son de un orden mayor (Lugo-Hubp, 1991).

El trazo de las corrientes fluviales se realizó sobre el mapa topográfico, dibujando todas las impresas en las cartas y se infirieron aquellas que no aparecían, de acuerdo con las curvas de nivel. Teniendo el trazo de todos los escurrimientos, se clasifican en órdenes, conforme al método de Strahler, partiendo de aguas arriba e incrementando el orden y valor numérico aguas abajo.

Las corrientes iniciales son de primer orden y donde se unen dos de éstas, inicia la de segundo orden. En la confluencia de dos de segundo orden, surge el tercero, y así consecutivamente. Los colores van del azul al verde. Las de menor orden corresponden a corrientes jóvenes y las de mayor a las corrientes más antiguas aquellas que presentan un control estructural o litológico.

1.5.4- Densidad de disección.

Otro tipo de análisis fundamental en los estudios de cuencas hidrológicas es el de la cuantificación de longitud de cauces por km^2 (promedio). Desde el punto de vista geomorfológico es de especial interés el proceso de desarrollo de la red de cauces, o sea, la disección del relieve considerada en plano, de ahí el término de densidad de disección. El mapa de densidad de disección se elaboró dividiendo toda la cuenca en superficies irregulares con una misma configuración del drenaje. Para la edición final del mapa se definieron ocho intervalos, procurando que representen áreas de dimensiones proporcionales.

Los valores de la red fluvial se obtuvieron al dividir el mapa en zonas homogéneas, es decir, con una configuración semejante de la red. Se midió con curvímetero la longitud de las corrientes (km) y se dividió entre el área (km^2) correspondiente, obteniendo la longitud promedio de cauce por kilómetro cuadrado. Posteriormente se capturó la información en el SIG, se interpolaron los datos, contando con un análisis y definición de rangos previo. Se elaboró una tabla de clasificación para la elaboración del mapa, con base también en la confección de una gráfica de campana de Gauss, de acuerdo con la superficie total que abarcaba cada uno de los rangos.

1.5.5- Profundidad de la disección.

En las mismas superficies empleadas para el mapa anterior, se midió la profundidad de disección. Si en el mapa anterior se consideró la disección del relieve en plano, aquí se analiza en perfil, o sea, el corte vertical en metros que han formado los arroyos a través del tiempo. Este método resulta fácil de aplicar en esta zona, ya que la erosión fluvial ha sido esencialmente vertical, tanto en las montañas como en el piedemonte, donde es más marcado el fenómeno. El método consiste en subdividir la zona en estudio en superficies iguales (4 km^2) donde en cada una se determina el valor máximo de corte vertical por erosión. Los valores se obtuvieron a partir del análisis directo del mapa topográfico y los resultados se registraron en el SIG, con lo que fue posible la impresión definitiva del mapa. Los intervalos (12) se establecieron al igual que en los casos anteriores, procurando la proporción y se representan por medio de isolinéas.

1.5.6- Disección total.

De acuerdo con Lugo-Hubp (1991), varios autores que se han ocupado de los métodos morfométricos no han conseguido una fórmula de aplicación universal para la elaboración de un mapa que conjugue la disección en plano y en perfil. Sin

embargo, existe el método de la disección total, que consiste en la medición en un mapa topográfico de la longitud de curvas de nivel en superficies homogéneas. Ya que las curvas de nivel presentan mayor longitud en la medida que aumentan las corrientes fluviales y la profundidad de los cortes erosivos, reflejan en gran parte la disección total. Además, a mayor pendiente, más curvas de nivel. Así se elaboró el mapa, empleando las superficies definidas en el mapa de densidad de disección y se midieron las longitudes de las curvas de nivel cada 50 metros

Posteriormente se realizó una zonificación del relieve de la cuenca, donde cada una de las porciones se describió conforme a los resultados obtenidos con los mapas anteriores.

1.5.7- Perfiles geomorfológicos.

Los perfiles geomorfológicos asocian con el relieve factores como la litología, edafología, uso del suelo y condiciones climáticas. La escala vertical es mayor que la horizontal, lo que exagera los rasgos del terreno y facilita el análisis de los mismos (Lugo-Hubp, 1989). Los seis primeros perfiles longitudinales se trazaron por los cauces fluviales; dos inician en la Sierra de Vaquerías (A-A' y B-B'), dos en la Sierra del Rincón (C-C' y D-D') y los últimos en la Caldera de Amealco (E-E' y F-F'). Esto con el fin de correlacionar el relieve con otros elementos. El séptimo perfil (G-G') va de sur a norte sin seguir el cauce, cruzando las principales cimas y valles, inicia en la presa y finaliza en la caldera. Los últimos perfiles (H-H' e I-I') son transversales a la cuenca, no siguen los escurrimientos, se trazaron de forma que se incluyeran las cimas y valles más característicos de la cuenca (figura 1).

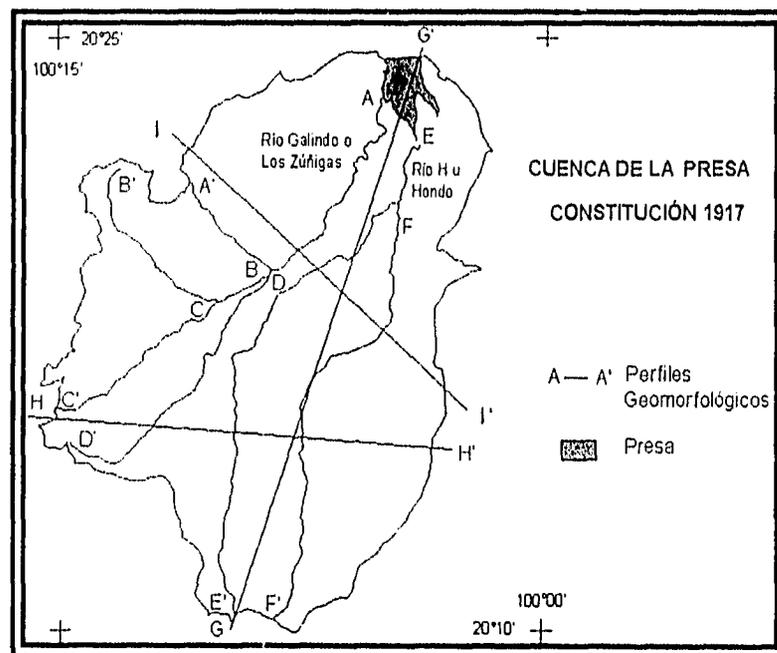
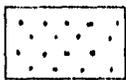


Figura 1. Cuenca de la Presa Constitución. Perfiles geomorfológicos.

En los perfiles se incluyeron los rangos de temperatura y precipitación, datos tomados de la carta estatal de fenómenos climatológicos de INEGI (1986); la geología fue tomada de Aguirre-Díaz (1993b); la edafología de las cartas del INEGI (1973 y 1982); del mismo INEGI (1978 y 1982) se retomó la información de las cartas de uso del suelo. Se empleó la leyenda siguiente:

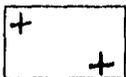
Geología.



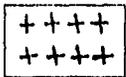
Aluvión.



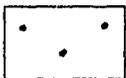
Domo-Lava Galindillo.
Riolita Galindillo.



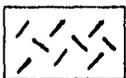
Complejo domos-lava Sierra El Rincón.
Riolita El Rincón.



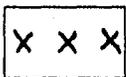
Domos-lavas centrales de la Caldera de Amealco.
Riolita La Cruz.



Traquiandesitas-traquidacitas, piroclastos-ignimbrita-**surge**.
(**Toba Amealco**).

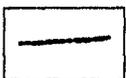


Brechas y lavas intermedias. No diferenciadas.

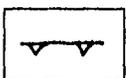


Complejo Domo-lavas Sierra de Vaquerías. Intermedias.

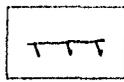
Edafología.



Litosol.



Vertisol.



Feozem



Luvisol

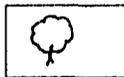
Uso del suelo.



Agrícola.



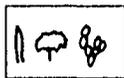
Pecuario.



Forestal. Bosque de encino.



Forestal. Bosque de pino.



Asociación de matorrales.

Finalmente, para la elaboración de los mapas morfogenético y morfodinámico se empleó el mapa topográfico, material fotográfico y la información obtenida en el trabajo de campo. El material consiste en fotografías aéreas de 1983, 1984 y 1993, a escala aproximada 1:75000, que es la menor escala de vuelo distribuida por el INEGI de la cuenca.

Con apoyo en los mapas de pendientes y topográfico, se definieron las formas y los procesos. Todos aquellos puntos de confusión se ubicaron para verificarse en el trabajo de campo. En éste, se realizaron recorridos por la zona, en una primera etapa para el reconocimiento, para observar detalles que no son fáciles de identificar en la fotografía aérea y mapas, comparar espesores del suelo, el tipo de vegetación y uso del suelo. En las siguientes salidas se verificaron los lugares seleccionados, conforme a la fotointerpretación y elaboración del mapa geomorfológico para la clasificación de procesos.

2- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.

2.1- LOCALIZACIÓN.

La cuenca de la Presa Constitución 1917 se encuentra entre los 20°10' y 20°25' de latitud norte y los 100°00' y 100°15' de longitud oeste, en el suroeste del estado de Querétaro. Cubre una superficie aproximada de 432.4 km², y pertenece a los municipios de Amealco y San Juan del Río (figura 2).

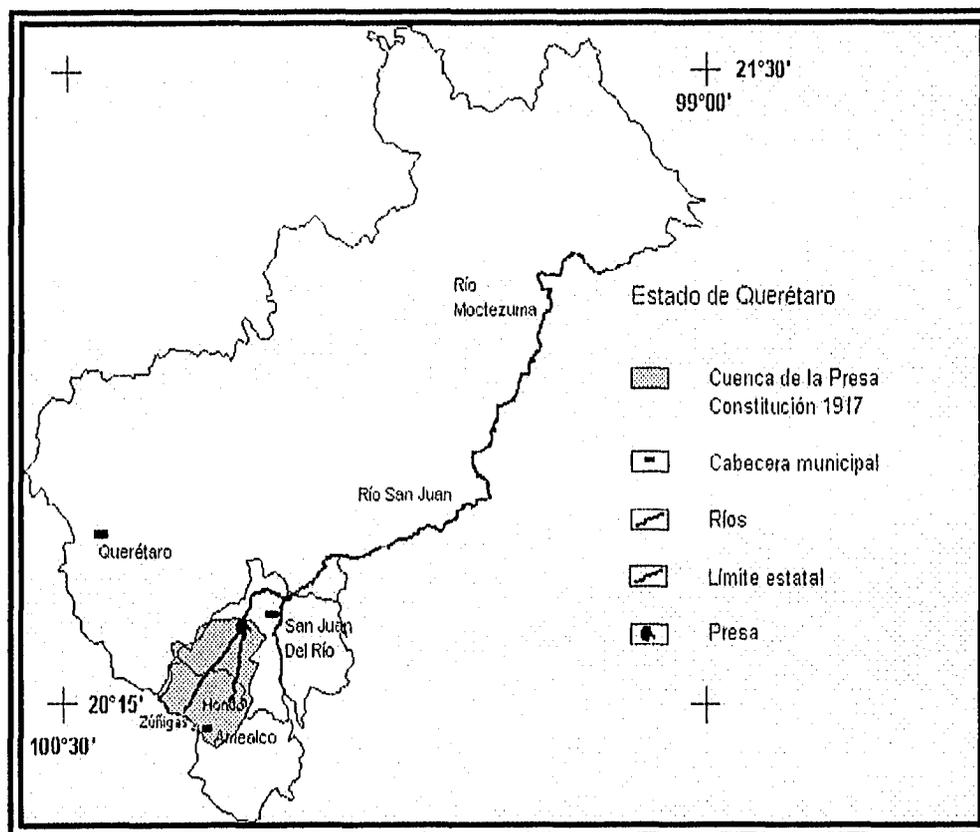


Figura 2. Estado de Querétaro. Fuente: Carta Estatal Topográfica, INEGI, 1986 (escala 1:500 000).

2.2- HIDROGRAFÍA.

Los ríos Hondo y Los Zúñigas, escurrimientos de la cuenca de la Presa Constitución 1917, son afluentes del Río San Juan, tributario del Moctezuma en la Región Hidrológica 26 del Alto Pánuco (SARH, 1971) (figura 3).

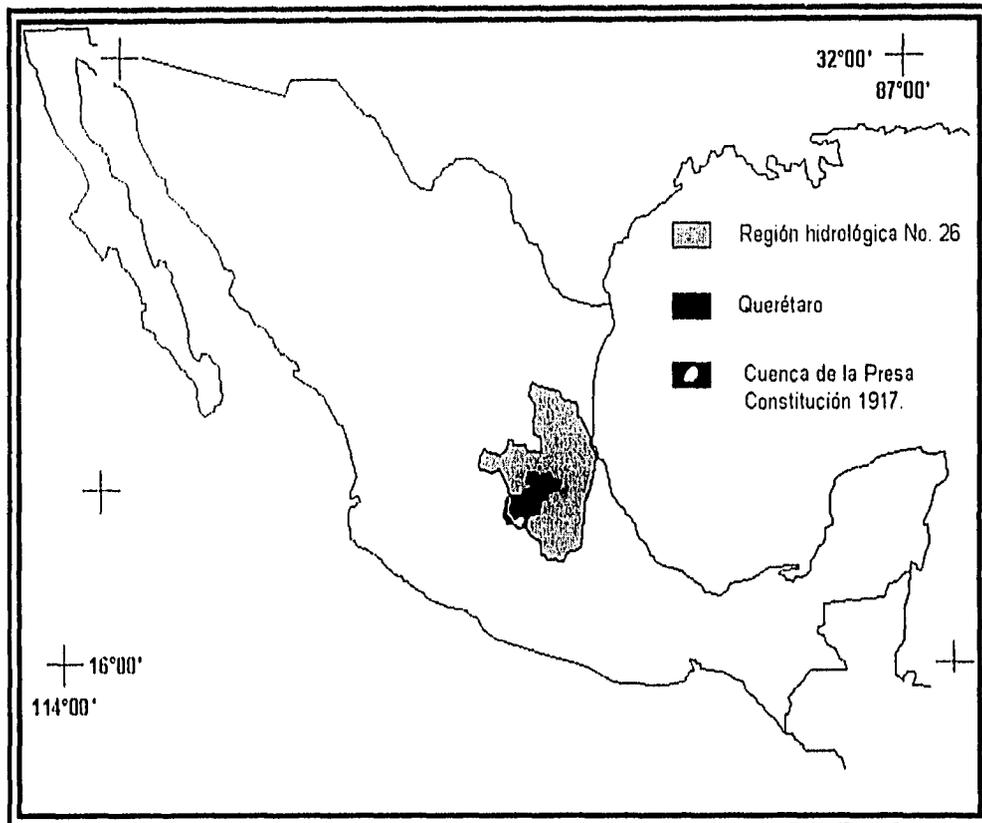


Figura 3. Región hidrológica Num. 26 y el estado de Querétaro. Fuente: Carta Estatal Hidrología Superficial, INEGI, 1986 (escala 1:500000).

La presa se construyó entre 1967 y 1969, con el fin de captar agua para el riego de 10,000 hectáreas del distrito de riego Núm. 23, San Juan del Río. La cuenca es independiente de la región hidrológica y sólo está conectada artificialmente por canales (Lomo del Toro) los cuales no inciden de manera directa sobre la cuenca, sino sólo proveen de agua a la presa y no pasan a ser un factor determinante en su funcionamiento. Anterior a la Presa Constitución 1917 ya existía la Presa Hidalgo, la cual captaba los escurrimientos procedentes de los cerros El Jingo y La Estancia, mas ésta fue inundada con la construcción de la primera.

Además de la presa existe infraestructura hidrológica menor en la cuenca, como los bordos. En la zona se calcula que existen más de 70 bordos que represan el agua de los escurrimientos menores, y están la mayoría alimentados por los escurrimientos temporales y manantiales.

La capacidad total del vaso es de 62.3 millones de metros cúbicos, a una elevación de 1,926.60 msnm, nivel de conservación (SARH, 1971).

Los principales escurrimientos son La H (u Hondo) y Galindo (o Los Zúñigas), mismos que en su confluencia forman el Río Caracol, pero dicha confluencia fue inundada en 1970, formándose ahora en el vaso de la presa. Antes de la construcción de la presa, en ambos ríos existían estaciones hidrométricas de las cuales se cuenta con los datos siguientes (cuadro 2).

Cuadro 2. Escurrimientos y estaciones hidrológicas. Fuente: Boletín Hidrológico Núm. 44, SARH, 1971.

ESTACIÓN Y RÍO.	ÁREA. km ²	ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL. Millones de m ³	ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL. Miles de m ³ /km ²	GASTO MEDIO ANUAL. m ³ /seg
Estación Galindo	148	17.6	0.119	0.558
Río Los Zúñigas				
Estación Presa Hidalgo	428	39.4	0.093	1.25
Río Caracol				
Estación La H	215	19.8	0.092	0.629
Río Hondo				

2.3- SUELOS.

De acuerdo con la cartografía temática del INEGI (1973 y 1982), los suelos se encuentran distribuidos en la cuenca de la siguiente forma (figura 4).

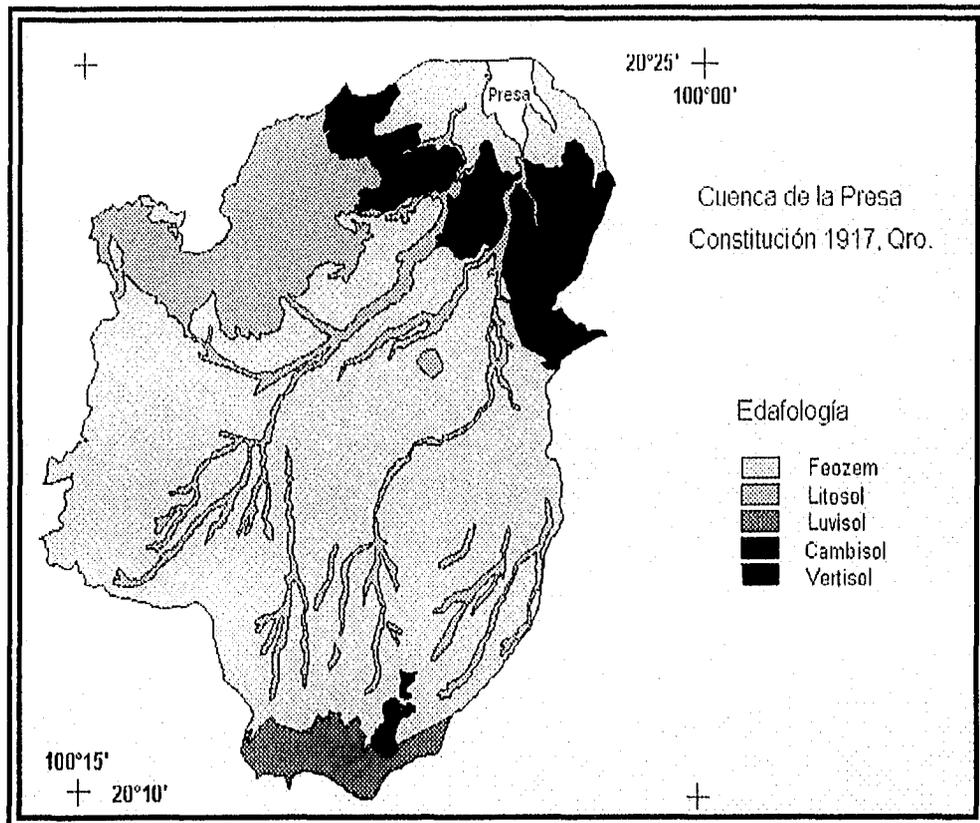


Figura 4. Edafología en la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Fuente: Carta Edafológica, INEGI 1973 y 1982.

El feozem lúvico y háplico de textura media es el predominante en el área, se presenta sobre la Toba Amealco y la Sierra del Rincón. Alrededor de la presa, cubriendo el Cerro de la Estancia, se observa la subunidad lúvica de textura media sobre terrenos planos a ligeramente ondulados. Este suelo, en la cuenca, es producto del intemperismo de la toba y riolitas.

El suelo feozem (H) se observa bajo varias condiciones climáticas y formas del terreno, alberga cualquier tipo de vegetación. Presenta una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. En terrenos planos, son

o temporal; en laderas son poco profundos, fáciles de erosionar y de menor rendimiento; utilizados en el pastoreo (ganadería) dan resultados aceptables (INEGI, 1981).

Sobre el anillo de andesita y riolita de la Caldera se observa un suelo luvisol crómico. El luvisol (L) es característico de zonas templadas o tropical lluviosas y en ocasiones, en climas ligeramente secos; son de color rojo claro, gris o pardo. La vegetación original es de selva y bosque. Empleado con fines forestales ofrecen un gran rendimiento. En la agricultura son muy productivos sólo en zonas tropicales y en la ganadería, con los pastizales cultivados o inducidos, pueden dar buenos resultados. Son muy susceptibles a la erosión si se emplean con fines agropecuarios y no se realizan técnicas de conservación (INEGI, 1981).

El cambisol crómico se desarrolla en la pómez, en una pequeña zona al norte de la cuenca; posee una textura fina a media y el terreno sobre el que se presenta es ligeramente plano con ondulaciones. El cambisol (B) corresponde a un suelo joven y poco desarrollado, se presenta en cualquier clima, excepto el árido, y alberga cualquier tipo de vegetación. Presenta en el subsuelo una capa que parece más suelo de roca, por formar terrones y llega a presentar acumulación de algunos minerales. En ocasiones se desarrollan sobre tepetates y su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta (INEGI, 1981).

El litosol (I) se presenta al oeste de la cuenca, en la Sierra de Vaquerías, y en los valles. Generalmente está asociado a todos los climas y a diversos tipos de vegetación; muestra una profundidad menor a los 10 centímetros hasta la roca, tepetate o caliche duro. Se localiza en sierras, laderas, barrancas, malpais, lomeríos y terrenos planos; pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos. Dependiendo de la topografía puede presentar una susceptibilidad moderada o alta a la erosión, especialmente si se dedica a la agricultura da buenos rendimientos y por lo general tiene una baja susceptibilidad a la erosión (INEGI, 1981). Sobre el Cerro de la Campana y el derrame del mismo, se presenta el litosol con cambisol crómico de textura media. El litosol se observa también en las laderas de los valles profundos y sobre el Cerro del Aire. Asimismo, en la mayor porción de la Sierra de Vaquerías, combinado con feozem háplico, la textura es media; sobre esta unidad, pero sobre las cumbres planas, se observa un mejor desarrollo del suelo, siendo el feozem háplico el que predomina sobre el litosol. Este suelo está relacionado con rocas intermedias (basalto y andesita).

En una franja de rocas intermedias que va de los cerros del Jingo y Buenavista hacia el noroeste, hasta el límite con la Sierra de Vaquerías, el suelo es un vertisol pélico de diferentes texturas, desarrollado tanto en superficies planas, como de fuerte pendiente. El vertisol es propio de los climas templados y cálidos con una estación seca y lluviosa bien marcada, alberga selvas bajas, pastizales y matorrales. Presenta grietas anchas y profundas durante la época de secas, con alto contenido de arcillas; en húmedo son pegajosos y secos muy duros. Son de color negro, gris y café rojizo.

alto contenido de arcillas; en húmedo son pegajosos y secos muy duros. Son de color negro, gris y café rojizo.

2.4- USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN.

El uso del suelo, de acuerdo con la información del INEGI, es el que se muestra en el mapa de la figura 5.

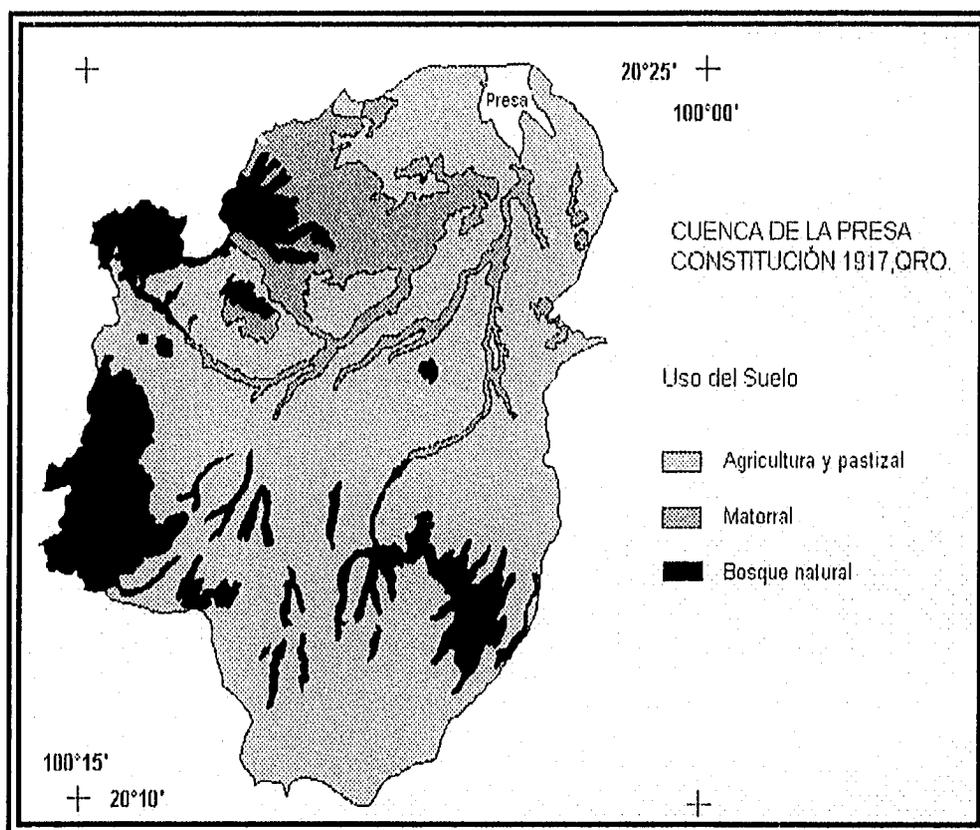


Figura 5. Uso del suelo en la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Fuente: INEGI, Carta Uso del Suelo, 1978 y 1982.

En el Cerro de la Cruz de San Juan se desarrolla una vegetación de bosque natural de pino con encinos, correspondiente a rocas riolíticas. En el anillo de la caldera se presentan extensas zonas con erosión hídrica fuerte, con pastizales inducidos y matorral subinermes.

En la porción donde los valles profundizan, se observan las laderas con un bosque natural de encinos con pastizal natural, distribuidos hasta la porción media de la cuenca. A partir de aquí, donde los valles se vuelven más profundos, se desarrolla una vegetación de matorrales subinermes con nopalera y cardonal hasta llegar a la presa.

Sobre la **Toba Ignimbrita** hay agricultura de temporal permanente con pastizal inducido. Al centro de la cuenca se observa una franja de pastizal natural e inducido, con manchones de agricultura de temporal y erosión hídrica. En las cercanías de la presa sobre el mismo material se desarrolla la actividad agrícola.

En la Sierra del Rincón el bosque de encino predomina, combinado con pino en las porciones más altas.

En la Sierra de Vaquerías no es uniforme el uso del suelo. El bosque de encino se presenta únicamente en las partes más altas. El resto es matorral inerme y subinerme combinado con nopalera, cardonal y bosque de encino. Una franja de pastizal natural se extiende en las zonas de pendiente más suave.

2.5- CLIMA.

Existen dos estaciones climatológicas en la cuenca: Amealco y Constitución 1917. El clima de la cuenca es C(wo)a-C(wo)b de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988). O sea, clima templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, presenta canícula y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5% de la total anual; la oscilación de la temperatura es menor de 5 grados centígrados (Reyna T., 1970). Hay más de cuatro días anuales con granizo, más de 40 con heladas, una precipitación media anual de 800 mm, con una intensidad de lluvia máxima en 24 horas de 30-40 mm y con una intensidad de lluvia máxima en 24 horas de 100-140 mm (Soto y Jáuregui, 1970).

El INEGI (1986) define al sur de la cuenca, en Amealco, un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 5 a 12 grados centígrados, lo que favorece el desarrollo de una vegetación natural de encinos y pinos (figura 6).

El climograma de la estación de Amealco muestra el comportamiento de la temperatura y precipitación durante el año; mayo es el mes más cálido y enero el más frío, y en cuanto a precipitación, julio es el mes más lluvioso y febrero el más seco; debido a la altitud del terreno se presentan granizadas y heladas (gráfica 1).

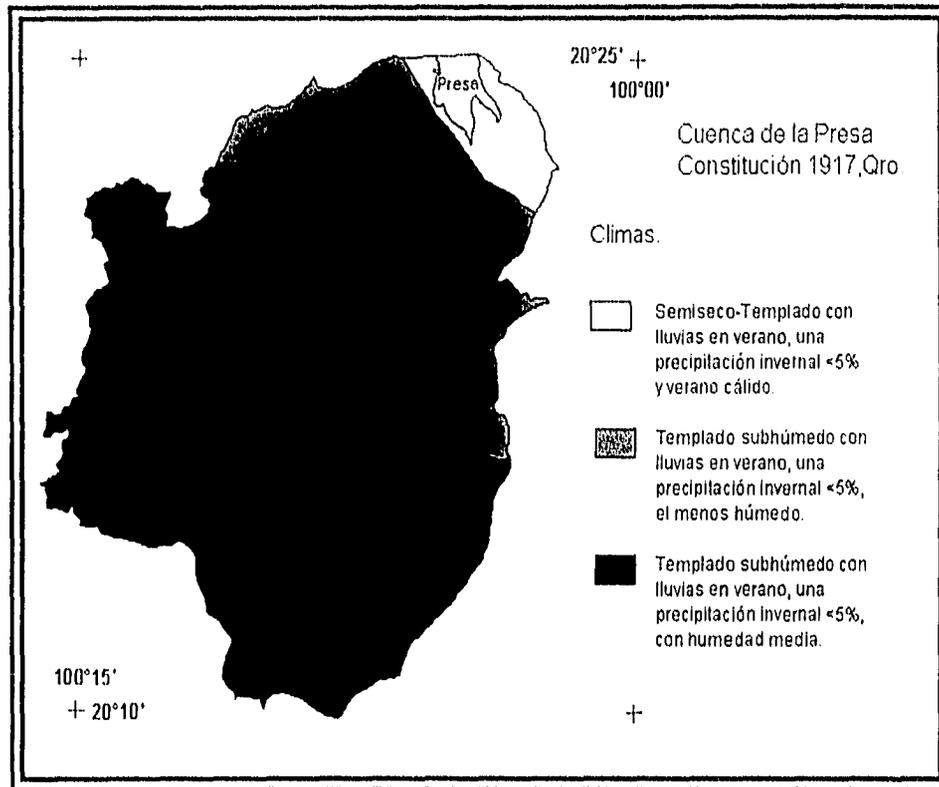
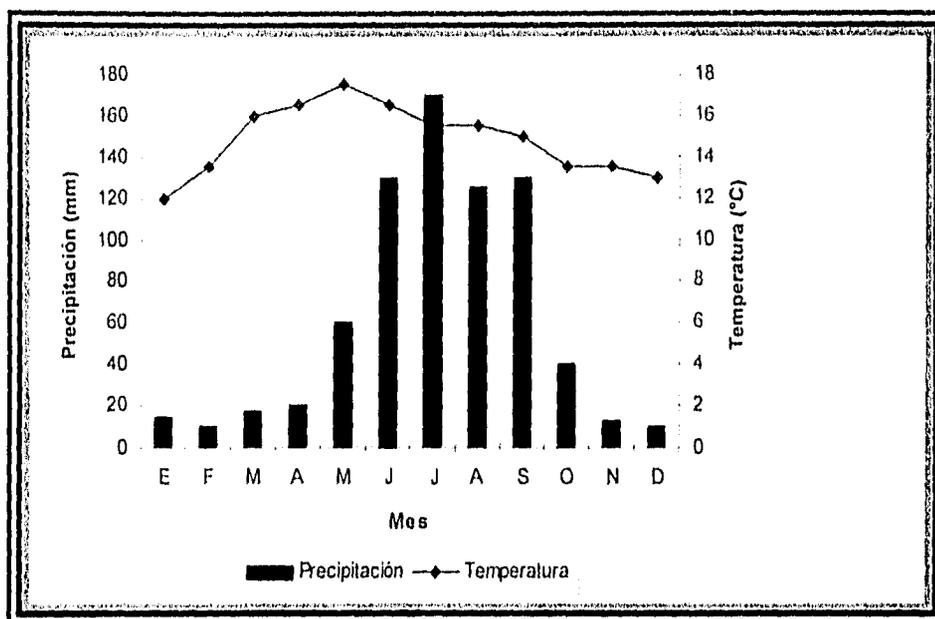


Figura 6. Climas de la cuenca de la Presa Constitución 1917, Qro. Fuente: Carta Estatal Climas, INEGI, 1986 (escala 1:500000).

El climograma nos muestra una marcada época de lluvias en el verano, la porción alta de la cuenca.

Por ser la atmósfera el aporte principal de agua al terreno, la distribución de las lluvias durante el año pueden incrementar el proceso erosivo. Esto es, como las lluvias se concentran en pocos meses del año y además son mayores a los 100 mm mensuales (junio-septiembre), el escurrimiento que se efectúe sobre el terreno tendrá mayor capacidad de erosión al estar el terreno seco. Los agregados son más fáciles de mover al presentar baja concentración de humedad y cohesión hidrostática; a diferencia de suelos con lluvias distribuidas durante todo el año y de baja intensidad, donde el agua no es un agente tan erosivo.



Gráfica 1. Climograma 2202, estación Amealco. Fuente: Síntesis Geográfica, Nomenclator y anexo cartográfico del Estado de Querétaro; INEGI, 1986.

3- GEOLOGÍA.

3.1- MARCO REGIONAL.

El área en estudio se ubica en el Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). Existen varias delimitaciones y nominaciones fisiográficas del mismo, entre ellas, la de Raisz (1964 en: UNAM, 1990) (figura 7) y la de Quiñones (1984 en: UNAM, 1990).

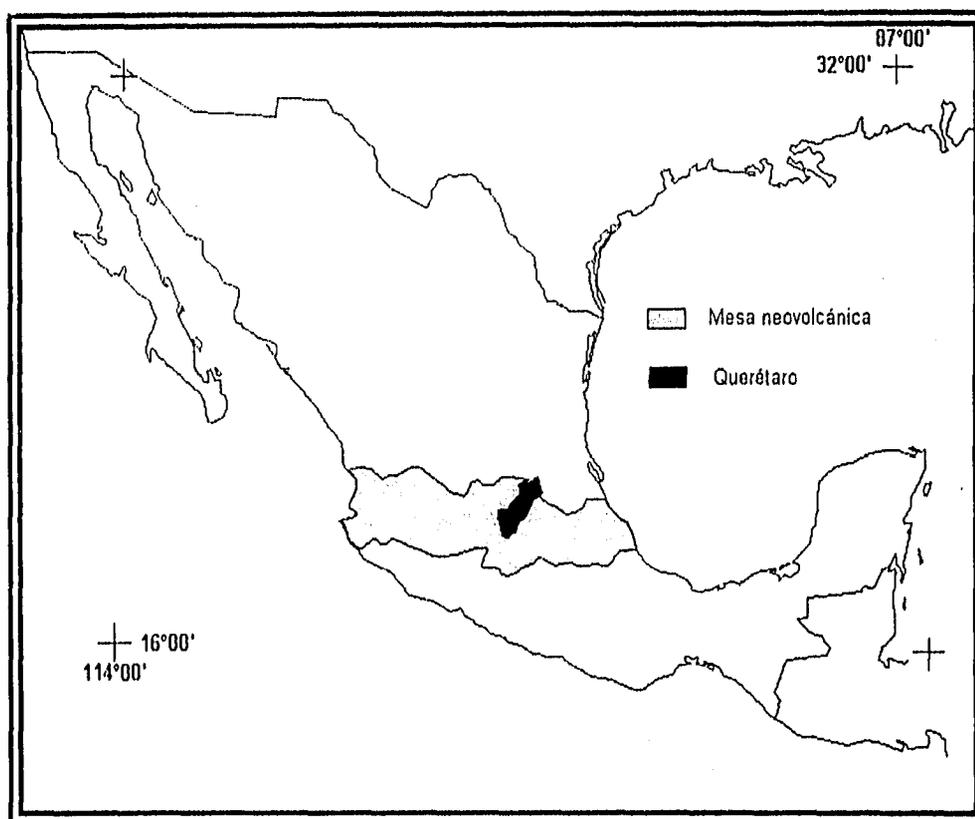


Figura 7. Provincia fisiográfica Mesa Neovolcánica y el estado de Querétaro. Fuente: Atlas Nacional de México, Clasificación de Regiones Naturales de México 1, IV.10.1, UNAM, 1990.

Es una zona volcánica que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20°, constituida de materiales variados, que forman volcanes de lava y compuestos, conos, laderas y planicies de tefra, derrames de lava y calderas. Las principales elevaciones del país se ubican sobre esta franja y las

constituyen estratovolcanes (Popocatepetl, Iztaccihuatl, Citlaltépetl, Xinantécatl, La Malinche, volcanes de Colima, etc.).

El origen del CVM se explica por la subducción de la placa de Cocos bajo el continente, con diversos ángulos, al nivel de la astenosfera. Esto origina los magmas (Mooser, 1975; Urrutia y del Castillo, 1977; Demant, 1978 en: INEGI, 1984). Negendank (1972 en: INEGI, 1984), supone el origen calcoalcalino del CVM debido a la fusión del material de la corteza inferior, más que por la fusión de la placa de Cocos con la astenosfera.

Mooser (1972 en: INEGI, 1984), explica el arreglo zigzagueante del CVM, debido a un sistema de fracturas ortogonales de dirección noreste y noroeste, y éstas últimas parecen relacionadas con los movimientos transcurrentes. Demant (1978) lo define como una banda continua de rocas con cinco focos activos y diferentes estructuras con alineaciones claras; los estratovolcanes N-S y los volcanes menores noreste-suroeste.

La cantidad de volcanes cuaternarios en el CVM es alta, con una frecuencia máxima de 3 volcanes en 100 km². (Lugo et al, 1985).

En el CVM destacan las calderas. Se han identificado seis pero es posible que además de éstas existan muchas más. Se conocen las de Amealco, La Primavera, Huichapan, Los Azufres, Chiconquiaco, Mazahua y Los Humeros (Anguita et al, 1991; Milán et al, 1993).

La porción central de México presenta fallas activas con una manifestación sísmica importante (Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1990). Se desarrolla en la zona un sistema de fallas que forman fosas y pilares tectónicos, tal como la falla Epitacio Huerta y la fosa de Acambay.

Ramírez-Herrera (1994) menciona la división del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) en las porciones occidental y oriental definida por Mooser (1969 en: Ramírez-Herrera, 1994), donde se ubica el área en estudio. Además de la serie de fallas y fracturas que cruzan al CVM, el sistema NNW-SSE denominado por Demant (1978) Taxco-San Miguel de Allende, que inciden en la porción sureste del estado de Querétaro y en la fosa de Acambay. Estas fracturas pareciera que han sido reactivadas por el volcanismo moderno provocado por la placa de Cocos. Otro rasgo son los elementos circulares-morfoestructurales, relacionados con calderas y colapsos asociados con esfuerzos volcano-tectónicos (Mooser y Ramírez, 1989 en: Ramírez-Herrera 1994).

La zona en estudio hace contacto por el sur con el CVM. Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego (1990) consideran que la Caldera de Amealco fue cortada por la falla Epitacio Huerta en su porción meridional, con una orientación NW 75°. Constituye un escarpe de hasta 150 metros de desnivel vertical (figura 8).

A esta falla, Aguirre-Díaz (1993a) le atribuye una edad anterior a 2.2 M.a., edad del volcán El Comal que se edificó sobre ésta y no fue afectado por el movimiento. El volcán pertenece a la últimas etapas de actividad de la Caldera de Amealco.

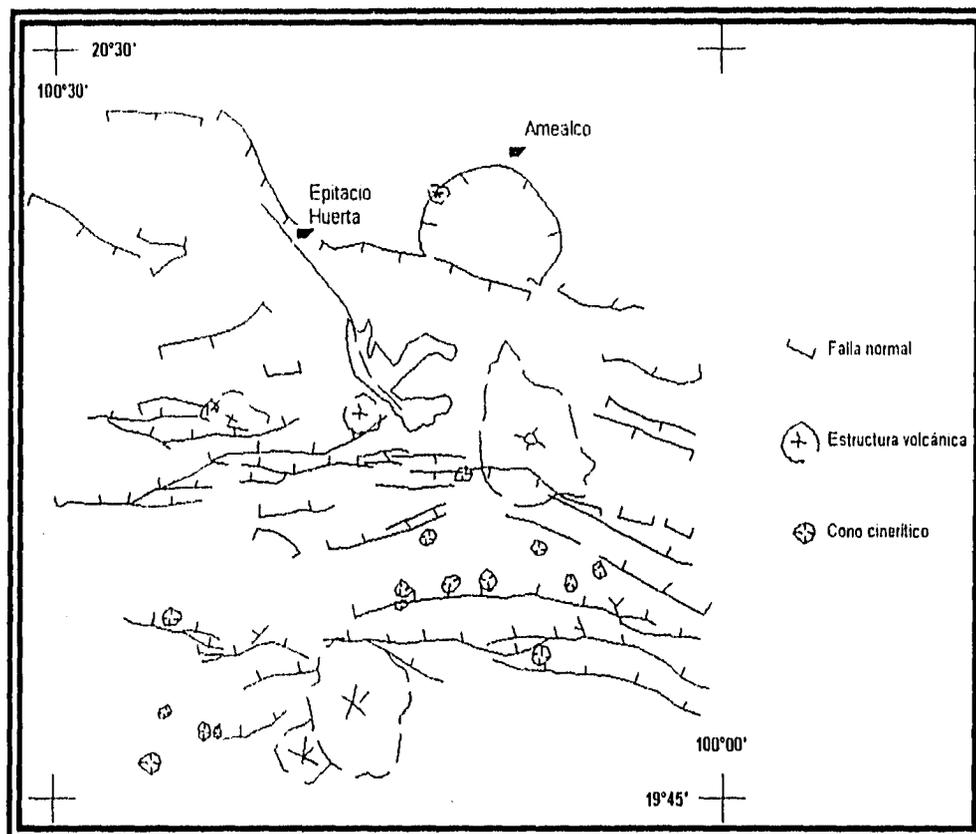


Figura 8. Fragmento del mapa estructural de la porción central de México. Fuente: Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1990.

3.2- MARCO LOCAL.

La geología de la zona es propia de rocas del tipo de basaltos-andesitas, originadas por la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana y rocas ácidas (ignimbritas), producto de las fallas San Miguel de Allende-Querétaro-Taxco, del sistema Polochic-Motagua (Demant, 1978).

Las principales unidades son las originadas por la Caldera de Amealco, la cual define el parteaguas meridional de la cuenca, y sus depósitos se extienden por toda la porción central y oriental de la misma, cubriendo más de la mitad de la superficie. Ha sido estudiada por especialistas, señalando su origen, edad y evolución; mientras que las otras han sido identificadas en función de la historia geológica de la caldera.

La edad que asigna Sanchez-Rubio (1984) a los depósitos de la caldera es de menos de 5 millones de años (Plioceno), edad de la andesita que subyace a la ignimbrita. Demant *et al.*, 1976 (en: Bocco, 1984) la identifican como "una estructura de explosión del período Oligo-mioceno, alineada sobre el sistema de fallas ENE-WSW del Plioceno-Cuaternario. Ambos lineamientos tectónicos se cruzan en forma casi ortogonal, provocando el primero de ellos las emisiones ácidas y el segundo (probablemente) las básicas, así como su semidestrucción."

En la cuenca de la Presa Constitución 1917 existen las siguientes unidades geológicas (figura 9):

- a) Aluvión y talud, del cuaternario (Q).
- b) **Riolita el Rincón**, de 2.9 M.a.
- c) **Riolita la Cruz**, de 3.9 M.a.
- d) **Andesita Amealco**, de 4.3 M.a.
- e) **Pómez Tabique**, de 4.3 M.a.
- f) **Toba Amealco**, de 4.7 M.a.
- g) **Domo-lava Riolita Galindillo**, de 4.8 M.a.
- h) Lavas y brechas intermedias no diferenciadas del Plioceno, de 5.6 a 4.8 M.a.
- i) Complejo domos-lava-volcán intermedio Sierra de Vaquerías, de 5.6 M.a.

De las unidades arriba señaladas, Aguirre-Díaz (1993b) identificó estratigráficamente y fechó a las producto de la evolución de la Caldera de Amealco, entre ellas están: la **Toba Amealco**, la **Pómez Tabique**, la **Andesita Amealco** y la **Riolita La Cruz**; el resto de las unidades son identificadas como eventos anteriores o posteriores al de la caldera.

Este autor señala que la Toba Amealco sobreyace a basaltos de 5.7 M.a. e ignimbritas félsicas de 4.7 M.a., y la interpreta como un evento más joven y explica la erupción de la caldera en cuatro episodios; el primero produjo la Toba Amealco que fluyó 20 km en dirección norte y 30 al este, cubriendo un área de 1,200 km², con espesores de 30 a 200 metros y un volumen de 36 km³ (Sanchez-Rubio, 1984). Suter *et al* (1991) calculan un volumen de 77 km³ y el colapso del aparato volcánico. Durante el segundo episodio se produjeron depósitos de pómez de caída y de flujos piroclásticos locales, ricos en pómez, emitidos del borde de la caldera. La construcción de domos de lava intermedia a sílica en el interior y borde de la caldera ocurrieron durante el tercer periodo, y en el último episodio se formaron volcanes y flujos de lava escoriácea alrededor de la caldera (Suter *et al*, 1991). El más joven es El Comal, ubicado en el interior de la caldera, datado por potasio-argón en 2.19± 0.08 M.a., mientras la caldera terminó su periodo de actividad hace 3.8 M.a. (Aguirre-Díaz, 1993b).

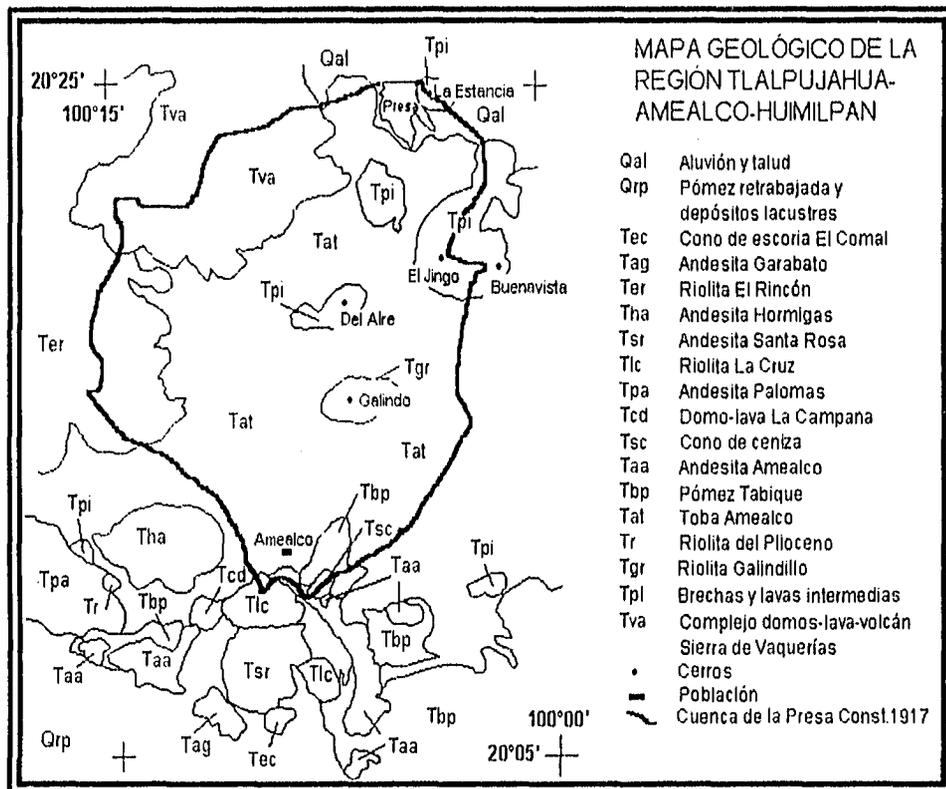


Figura 9. Mapa geológico de la región Talpujahuá-Amealco-Huimilpan. Fuente: Aguirre-Díaz (1993b).

La descripción de las unidades se acompaña con fotografías aéreas (figura 10):

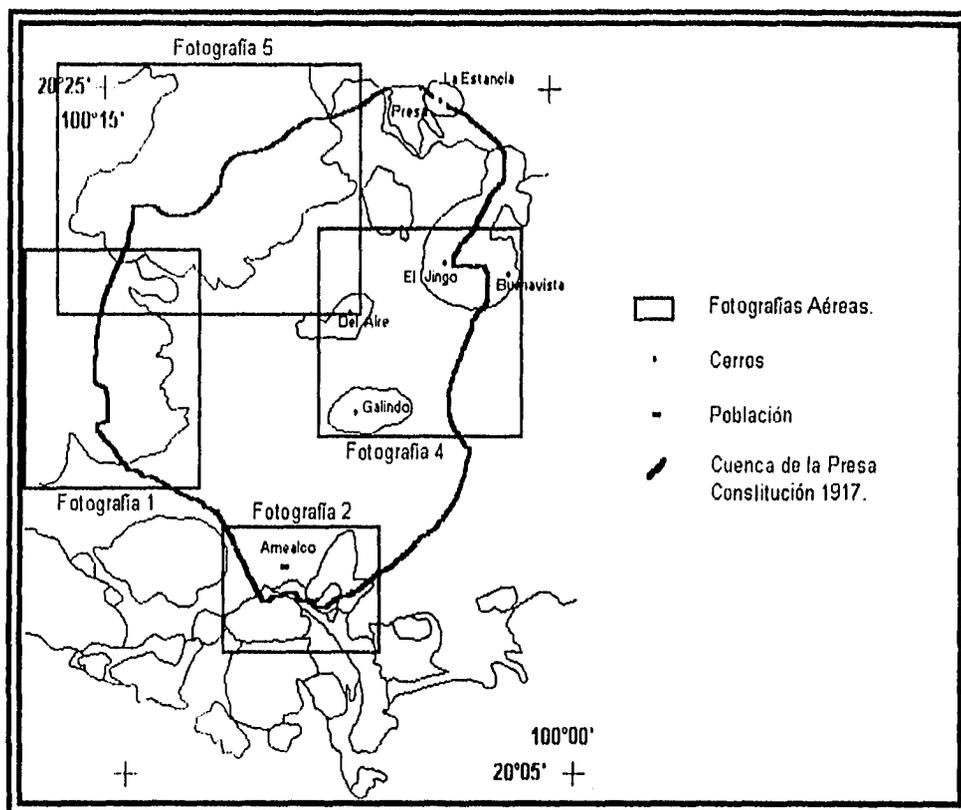


Figura 10. Localización de las fotografías aéreas (fotografías 1, 2, 4 y 5) en la cuenca de la Presa Constitución 1917, en base al mapa geológico.

a) Aluvión y talud (Qal).

Los depósitos de cuaternario corresponden al nivel base local donde se acumula el material transportado por los escurrimientos.

b) Riolita el Rincón (Ter).

Está ubicada al suroeste de la cuenca y constituida por roca ígnea extrusiva ácida. Los estudiosos de la zona le asignan edades relativas distintas. Es un depósito posterior a la ignimbrita de acuerdo con Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego (1990), mientras que Sanchez-Rubio (1984) lo identifica como **Formación Riolita Laguna de Servín**, del Mioceno, anterior a la ignimbrita. Suter *et al* (1991) señalan una formación posterior a la caldera y lo clasifican como domos de riolita, y por último, es identificada por Aguirre-Díaz (1993b) como un complejo domo-

lava correspondiente a la actividad perimetral de la caldera, y le asigna una edad de 2.9 M.a., un evento posterior a la Toba Amealco (fotografía 1).



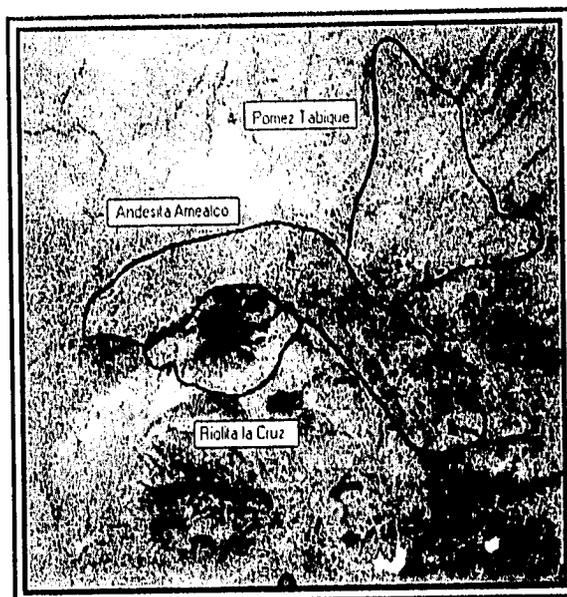
Fotografía 1. Sierra del Rincón.

c) Riolita La Cruz (Tlc).

Consiste en domos-lava en el interior de la caldera, a los cuales se les asigna una edad de 3.9 M.a. y un volumen de lava de 2.4 km^3 . De los grupos de domos que ocupan la porción norte y centro-oriente de la caldera, uno es el Cerro de La Cruz de Chiteje, una de las mayores elevaciones que cubre el anillo de la caldera (Aguirre-Díaz, 1993b) y el extremo meridional de la cuenca (fotografía 2).

d) Andesita Amealco (Taa).

Se identifica por un conjunto de domos de lava que forman el anillo de la caldera, cuya edad es de 4.3 M.a., constituida por traquiandesitas que cubren 3.5 km^3 y traquidacitas de 0.8 km^3 (Aguirre-Díaz, 1993b). El anillo de las fracturas es un cinturón curvado de más de 1.5 km de ancho y 11 km de diámetro (op. cit.). El mismo autor menciona que algunos flujos de lava y brecha se extienden más allá del anillo, los cuales fueron derivados de chimeneas originadas de fracturas y sugiere que el colapso pudo haber continuado después del emplazamiento de la andesita, mas no encontró megabloques o megabrechas de colapso en los márgenes de la caldera que evidencien este hecho (fotografía 2).



Fotografía 2. Domo Riolita la Cruz, Andesita Amealco y Pómez Tabique.

e) Pómez Tabique (Tbp).

De una edad de 4.3 M.a., es una secuencia de toba de piroclastos cuyo volumen representa 2.4 km³ de magma. La Pómez Tabique se presenta en la porción sur de la cuenca y se extiende como un lóbulo corto hacia el norte. Aguirre-Díaz (1993b) considera que son depósitos piroclásticos y epiclásticos que subyacen, sobreyacen o están interestratificados con la lava de los anillos de domo-lava. Esta representa los últimos episodios explosivos relativamente largos de la Caldera de Amealco (fotografía 2).

f) Toba Amealco (Tat).

Cubre más de la mitad de la cuenca, inicia al sur cerca de la población de Amealco y se extiende al norte, hasta las proximidades de la presa; hacia el oeste limita con las dos sierras y únicamente se introduce por el valle que las separa; al este no presenta un límite preciso. Consiste en tres ignimbritas mayores, intercaladas con ignimbritas menores no soldadas, pómez de caída y surge; Aguirre-Díaz (1993b) las identifica, a la más antigua como **Ignimbrita Amealco I**, a la posterior como **Ignimbrita Amealco II** y a la más reciente como **Ignimbrita Amealco III**; señala que se extienden hasta 25 km de la caldera, y en los casos de más de 45 km, en forma de lóbulos aislados donde sólo están contenidas una o dos ignimbritas (fotografía 3).

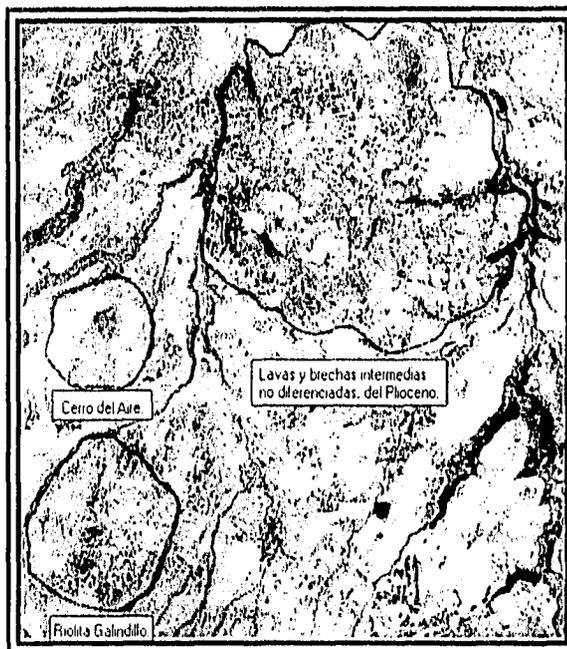


Fotografía 3. Corte de la Toba Amealco, mina de arena San Miguel.

Con respecto a la morfología del relieve, la Toba Amealco rellenó y niveló el área alrededor de la caldera, excepto las cumbres altas preexistentes (Aguirre-Díaz, 1993b). En lo más lejano de la fuente, las ignimbritas fueron retenidas por las montañas ubicadas alrededor de la caldera: como la Sierra de Vaquerías, al norte; la Sierra de Tierra Fria, al oeste; Ñado, el volcán al este y las colinas cercanas a Tlalpujahuá al sur, formando una mesa intermontana de ignimbrita que rellenó el W, N y E de la caldera, y una depresión dividida por una falla al sur de la caldera, en la cual la mesa de ignimbrita está cubierta por un volcanismo reciente y depósitos lacustres.

g) Domo-lava Riolita Galindillo (Tgr).

De las observaciones que hace Aguirre-Díaz (1993b) del Cerro Galindillo, deduce que es como un domo bajo y aislado casi cubierto totalmente por la **Toba Amealco**. En su documento cita la descripción que realizó Sanchez-Rubio (1984): " la roca de Galindillo es perlitizada, vidrio gris claro con bandeamiento de diferentes flujos, cuyas ondas rodean a la chimenea inferida " (fotografía 4).



Fotografía 4. Riolita Galindillo, lavas y brechas intermedias no diferenciadas del Plioceno y Cerro del Aire.

h) Lavas y brechas intermedias no diferenciadas, del Plioceno (Tpi).

Las elevaciones del Aire, Buenavista, Jingo y la Estancia, cuyas alturas son 2320, 2300, 2460 y 2080 msnm respectivamente, son preexistentes al desarrollo de la Caldera de Amealco, ya que están rodeadas por la **Toba Amealco** y no son de gran altura. Aguirre-Díaz (1993b) los clasifica como brechas y lavas intermedias del Plioceno, no diferenciados.

i) Complejo domos-lava-volcán intermedio Sierra de Vaquerías (Tva).

Es una unidad montañosa ubicada al noroeste, constituida de rocas basálticas y andesíticas (fotografía 5) y presenta también muchas fracturas. Es un relieve previo a la actividad de la caldera y en los cortes de barrancos se muestra subyacente a la ignimbrita (Sánchez-Rubio, 1984). Esta sierra es un volcán y

complejo de domos-lava cuya edad es de 5.6 M.a., conforme a la edad obtenida de la andesita basáltica con olivinos del flanco inferior de la unidad (Aguirre-Díaz, 1993b).



Fotografía 5. Complejo domos-lava-volcán intermedio Sierra de Vaquerías.

Además de las unidades ya descritas, el INEGI en su cartografía geológica (1974), muestra otras menores de areniscas y conglomerados. Las primeras aparecen al sur del Cerro El Jingo, parteaguas de la cuenca, y las segundas al oeste de la presa, al pie de la Sierra de Vaquerías.

4- GEOMORFOLOGÍA.

El relieve de la cuenca de la Presa Constitución 1917 consiste en formas originadas durante el Plioceno y Cuaternario por materiales volcánicos y derivados de estos.

En relación con trabajos particulares de la zona objeto de estudio, Bocco (1984) hizo un análisis regional a escala 1:250,000, el cual tiene la ventaja que permite situar la cuenca en un plano amplio.

El estudio geomorfológico se realizó con trabajo de gabinete y campo. En el primer caso se elaboró una serie de mapas temáticos con base en los métodos desarrollados por diversos autores (mencionados por Lugo-Hubp, 1986). Los mapas son de dos tipos, primero los que representan una información cuantitativa (morfométricos) y segundo, los cualitativos (morfogenético y morfodinámico). Todos ellos, en conjunto, tienen la finalidad de presentar una amplia información sobre el relieve de la zona en estudio. Los morfométricos se realizaron a partir de la interpretación de mapas topográficos a escala 1:50,000; y los mapas morfogenético y morfodinámico se hicieron fundamentalmente empleando la interpretación de fotografías aéreas de 1983, 1984 y 1993 del INEGI, a escala 1:80,000.

El trabajo de campo permitió un conocimiento más preciso de la cuenca de la Presa Constitución 1917, complementar y verificar la información obtenida en gabinete.

4.1- ZONIFICACIÓN DEL RELIEVE.

Una primera clasificación del relieve consiste en definir unidades mayores, principio fundamental en el estudio del mismo, lo que facilita el análisis posterior.

Las unidades geomorfológicas de la zona en estudio son dos conjuntos de elevaciones volcánicas (sierras de Vaquerías y del Rincón), el borde septentrional de la Caldera de Amealco, el piedemonte volcánico y un conjunto de volcanes y domos semisepultados (figura 11).

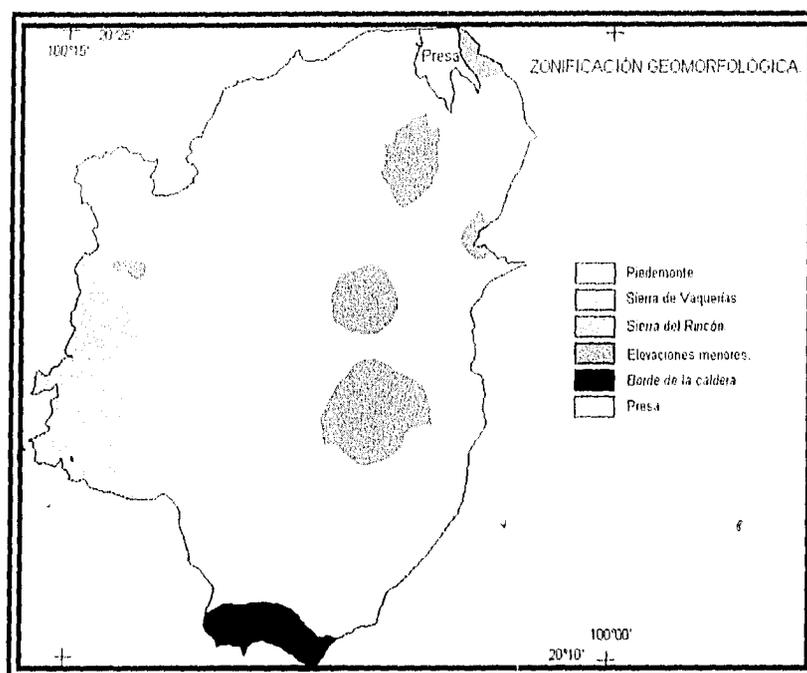


Figura 11. Zonificación geomorfológica de la cuenca de la Presa Constitución 1917.

La Sierra de Vaquerías es la estructura más antigua, de 5.7 M.a. (Aguirre-Díaz, 1993b), consistente en un estratovolcán semidestruido, domos y lavas volcánicas. La Sierra del Rincón fue posterior, de 2.9 M.a., y consiste en dos domos volcánicos y derrames o coladas de lava. La Caldera de Amealco, de 4.7 M.a., es la estructura que tiene mayor influencia en la cuenca, aunque en ésta sólo se encuentra una pequeña parte que es el borde septentrional y a partir de éste hacia el norte se extiende una planicie inclinada de aproximadamente 20 km de longitud, originada por acumulaciones volcánicas y un levantamiento del terreno en la porción meridional. La última unidad es una serie de volcanes y domos, anteriores a la formación de la Caldera de Amealco que fueron sepultados por las erupciones volcánicas correspondientes.

4.2- MORFOMETRÍA.

El siguiente paso en este estudio del relieve es el análisis de tipo cuantitativo, mismo que se realizó con distintos métodos que se explican a continuación.

4.2.1- Hipsometría.

El mapa con 13 intervalos de altitudes, muestra las unidades morfológicas principales de la cuenca, que son el piedemonte y las sierras del Rincón y Vaquerías; de igual forma, las elevaciones menores, pero no menos importantes, presentes en el piedemonte y el borde de la Caldera de Amealco (figura 12).

Las sierras se observan al oeste de la cuenca con alturas mayores a los 2700 msnm, siendo la de Vaquerías la que presenta cambios fuertes de altura, pasando de los 2700 a los 2200 msnm, la sierra no forma una sola estructura sino se halla fragmentada por valles profundos; por otro, lado la Sierra del Rincón está integrada en una sola estructura y las laderas presentan un descenso más suave, en esta sierra se aprecian pequeños barrancos y no muy profundos.

El borde exterior de la Caldera de Amealco se ubica al sur de la cuenca, con más de 2700 msnm y en él no existe un contraste importante de altura. El piedemonte es extenso y cubre la mayor superficie de la cuenca, inicia en la Caldera de Amealco y se prolonga muy suavemente hacia el norte en dirección de la presa, en éste resaltan algunas elevaciones aisladas al centro y norte de la cuenca, son de alturas diversas, algunos sobresalen con más de 100 m y otros con solo 50 m, y de dimensiones variadas, de forma circular bien definida o irregulares.

Resaltan tres barrancos estrechos al norte del piedemonte con más de 100 m de profundidad y se extienden hasta las proximidades de la presa.

La divisoria de aguas se define con alturas mayores a los 2400 msnm, al oeste en las sierras el incremento de la altura es inmediato; mientras que al este y sur de la cuenca se presenta una transición casi sin contrastes en lo que es el borde de la caldera, el piedemonte y tres elevaciones: los cerros de La Estancia, El Jingo y Buenavista.

Finalmente, alrededor de la presa se aprecia una pequeña planicie que se prolonga al oeste, delimitada por la Sierra de Vaquerías, el piedemonte y el Cerro de La Estancia, lugar donde también los barrancos no tienen continuación.

4.2.1- Hipsometría.

El mapa con 13 intervalos de altitudes, muestra las unidades morfológicas principales de la cuenca, que son el piedemonte y las sierras del Rincón y Vaquerías; de igual forma, las elevaciones menores, pero no menos importantes, presentes en el piedemonte y el borde de la Caldera de Amealco (figura 12).

Las sierras se observan al oeste de la cuenca con alturas mayores a los 2700 msnm, siendo la de Vaquerías la que presenta cambios fuertes de altura, pasando de los 2700 a los 2200 msnm, la sierra no forma una sola estructura sino se halla fragmentada por valles profundos; por otro, lado la Sierra del Rincón está integrada en una sola estructura y las laderas presentan un descenso más suave, en esta sierra se aprecian pequeños barrancos y no muy profundos.

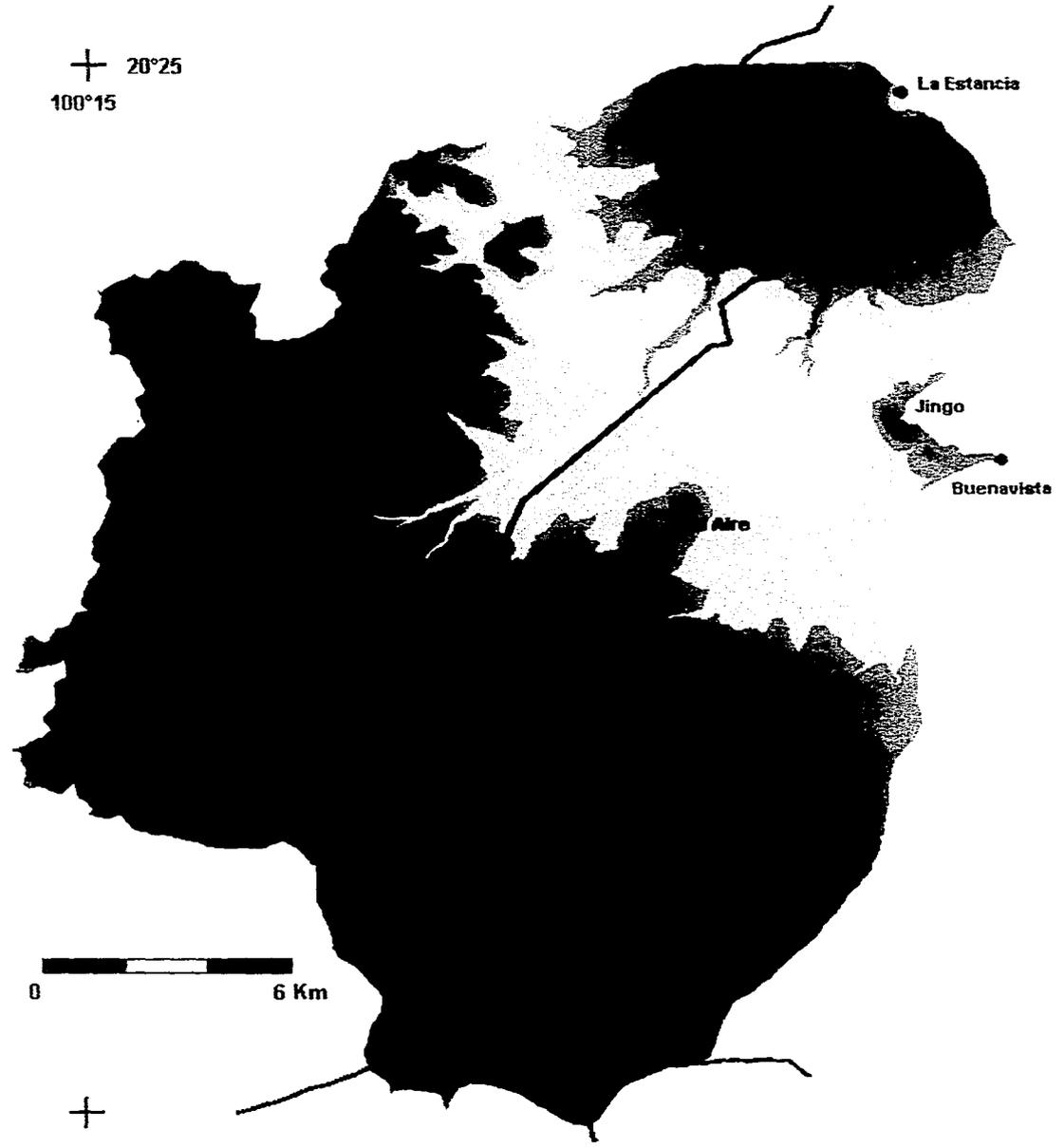
El borde exterior de la Caldera de Amealco se ubica al sur de la cuenca, con más de 2700 msnm y en él no existe un contraste importante de altura. El piedemonte es extenso y cubre la mayor superficie de la cuenca, inicia en la Caldera de Amealco y se prolonga muy suavemente hacia el norte en dirección de la presa, en éste resaltan algunas elevaciones aisladas al centro y norte de la cuenca, son de alturas diversas, algunos sobresalen con más de 100 m y otros con solo 50 m, y de dimensiones variadas, de forma circular bien definida o irregulares.

Resaltan tres barrancos estrechos al norte del piedemonte con más de 100 m de profundidad y se extienden hasta las proximidades de la presa.

La divisoria de aguas se define con alturas mayores a los 2400 msnm, al oeste en las sierras el incremento de la altura es inmediato; mientras que al este y sur de la cuenca se presenta una transición casi sin contrastes en lo que es el borde de la caldera, el piedemonte y tres elevaciones: los cerros de La Estancia, El Jingo y Buenavista.

Finalmente, alrededor de la presa se aprecia una pequeña planicie que se prolonga al oeste, delimitada por la Sierra de Vaquerías, el piedemonte y el Cerro de La Estancia, lugar donde también los barrancos no tienen continuación.

+ 20°25
100°15



+ CUENCA DE LA PRESA CONSTITUCIÓN 1917, Q.R.O.

HIPSOMETRÍA

Metros	
	<1950
	1950-2000
	2000-2050
	2050-2100
	2100-2150
	2150-2200
	2200-2250
	2250-2300
	2300-2400
	2400-2500
	2500-2600
	2600-2700
	> 2700
	Presas
	Población
	Carretera
	Elevaciones

0 6 Km

+

20°10 +
100°00

Tesis de Licenciatura 1996
Verónica Zermeño Ortiz

Mapa 12

4.2.2- Pendiente del terreno.

El objetivo de este mapa es definir la inclinación de las superficies (figura 13). Estos parámetros se deben fundamentalmente a los tipos de procesos volcánicos que formaron el relieve original y los procesos modeladores posteriores.

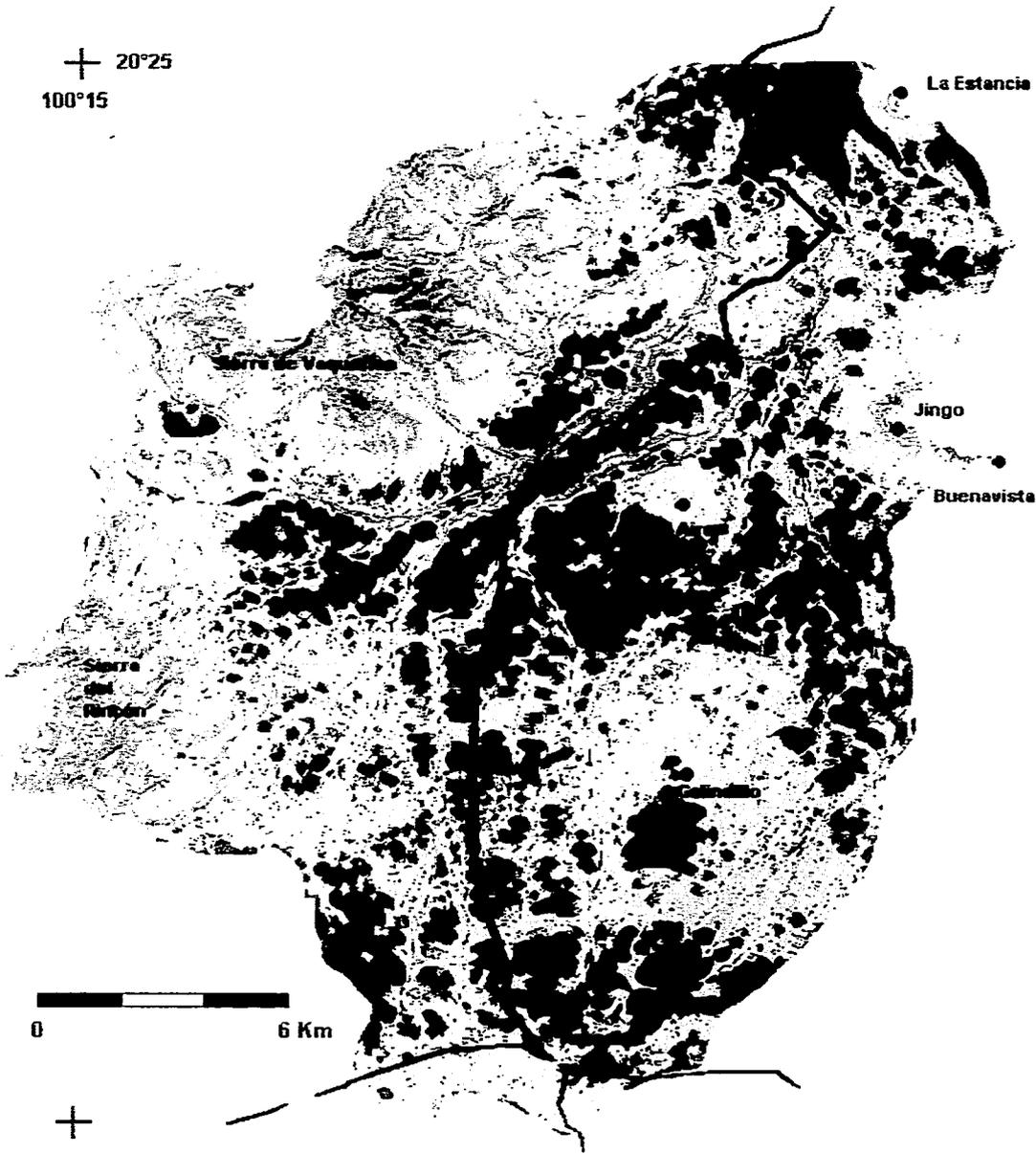
Los intervalos de pendientes definidos muestran las distintas unidades morfológicas. Así, se definieron las siguientes categorías:

- a) $< 0.5^\circ$. Corresponde a pequeñas planicies aisladas en la cuenca.
- b) $0.5-1.5^\circ$. Piedemonte de suave inclinación, extendido de sur a norte en la porción central de la cuenca, alrededor de la presa y en la zona de unión entre las dos sierras.
- c) $1.5-3^\circ$. Es una superficie también considerablemente amplia que junto con la anterior constituye la mayor parte del piedemonte.
- d) $3-6^\circ$. Se define con mucha precisión la unión del piedemonte con la base de las sierras y elevaciones y algunas laderas montañosas suaves.
- e) $6-12^\circ$. Corresponde a laderas de elevaciones montañosas donde se incrementa la pendiente, y también con algunas porciones de las laderas de los barrancos mayores.
- f) $12-25^\circ$. Define casi en su totalidad las laderas de las dos sierras y las laderas de los barrancos mayores; respecto a las elevaciones menores definen las más notables por sus dimensiones y altura.

Los intervalos restantes (dos) son característicos de laderas montañosas abruptas y cortes erosivos mayores del piedemonte en su porción septentrional.

Este mapa, como todos los temáticos elaborados, además de la información numérica contenida y su relación general con el relieve, es de gran utilidad porque es una base para el estudio de la morfogénesis y la morfodinámica, así como por su relación con otros mapas morfométricos.

+ 20°25
100°15



0 6 Km

+ CUENCA DE LA PRESA
CONSTITUCIÓN 1917, QRO.

PENDIENTES

	Grados
	< 0.5
	0.5 - 1.5
	1.5 - 3
	3 - 6
	6 - 12
	12 - 25
	25 - 35
	> 35
	Presas
	Población
	Carreteras
	Elevaciones

Tesis de Licenciatura 1996
Verónica Zermeño Ortiz

20°10 +
100°00

4.2.3- Órdenes de corrientes.

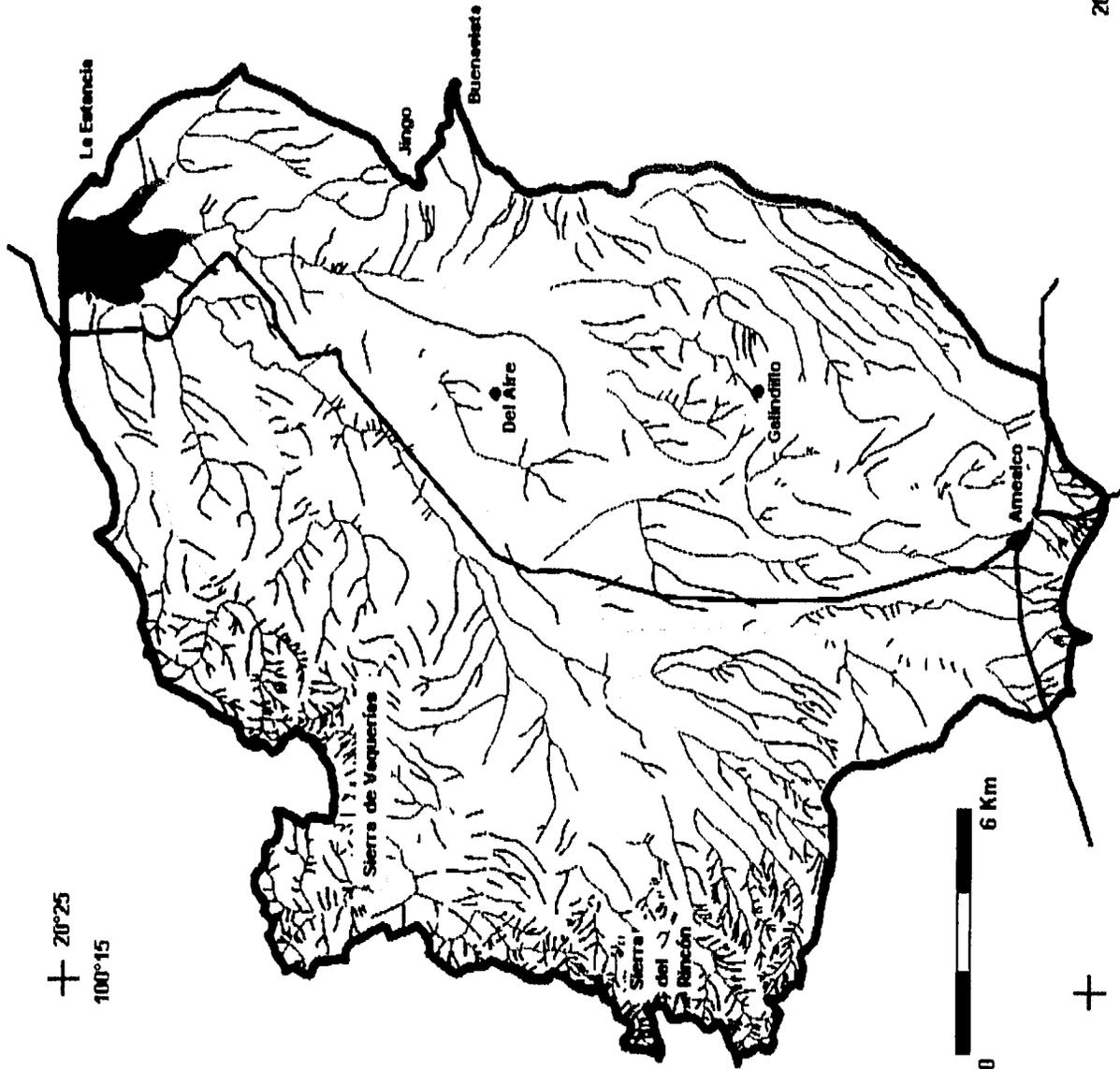
Las corrientes fluviales por sí solas reflejan la configuración del relieve, la dureza de la roca y la susceptibilidad a la disección, los contactos litológicos, asimismo señalan la presencia de fallas y fracturas.

La cuenca de la Presa Constitución 1917 presenta como orden máximo, un valor sexto; se trata de una red fluvial bien desarrollada, sobre todo, en un tiempo prolongado (figura 14).

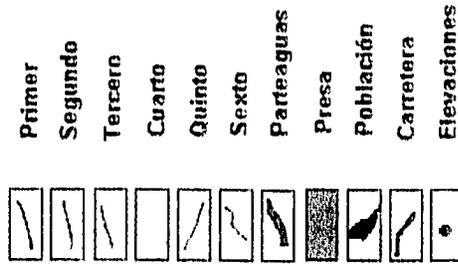
- Las corrientes de quinto y cuarto orden corresponden a cauces de longitud considerable que atraviesan la cuenca a lo largo del piedemonte; éstos coinciden con los barrancos mayores.
- Las de tercer orden son escasas en la mayor parte de la cuenca, mas siguen los contactos litológicos, bordean coladas de lava y las sierras.
- Las de segundo orden son extensas y predominan en el piedemonte, corresponden a las rocas de mayor dureza y a la zona de menor pendiente en la cuenca.
- Las corrientes de primer orden son abundantes en las dos sierras, lo que es característico del relieve montañoso.

+ CUENCA DE LA PRESA CONSTITUCIÓN 1917, QRO.

+ 20°25
100°15



ORDENES DE CORRIENTES



Tesis de Licenciatura 1996
Verónica Zermeño Ortiz

Mapa 14

+ 20°10
100°00

4.2.4- Densidad de disección.

Este mapa muestra la longitud (km) de cauces fluviales por km². Es la densidad de cauces o de disección del relieve considerada en planta.

Los intervalos representados son los siguientes (figura 15):

- a) <1.2 km/km².- Son los valores más bajos, mismos que se reconocen al suroeste y al centro de la cuenca, así como alrededor de la presa; corresponden con las elevaciones presentes en el piedemonte y superficies planas.
- b) 1.2 a 2 km/km².- Estos valores se presentan principalmente al centro-oriente de la cuenca, sobre superficies planas o de muy baja pendiente.
- c) 2-4 km/km².- Se reconocen con claridad en las sierras, especialmente la de Vaquerías.
- d) > 4 km/km².- Estos valores se observan únicamente en la Sierra del Rincón, en una porción extensa de ésta.

En este mapa se reconoce que la alimentación hídrica principal de la cuenca se encuentra en las elevaciones montañosas, marca las diferencias litológicas de las sierras, donde la de Vaquerías es más resistente, en comparación con la del Rincón, la cual presenta un valor mayor y es más joven. El análisis de la disección del relieve se complementa con el mapa siguiente.

4.2.5- Profundidad de disección.

Este factor se refiere al corte vertical (en m) que realizan las corrientes fluviales y tiene relación estrecha con la edad del relieve, la litología, la estructura geológica, la actividad tectónica y las condiciones climáticas.

Los valores (en m) se distribuyen de la siguiente manera en la cuenca (figura 16):

- a) < 40.- Son los valores menores y se aprecian alrededor de la presa, en el borde exterior de la Caldera de Amealco, al centro y sur del piedemonte.
- b) 40-100.- Se reconocen en el norte del piedemonte, en la zona donde se presentan las elevaciones y en los márgenes de las sierras.
- c) 100-250.- Incluye a la zona de los barrancos mayores del piedemonte y la Sierra del Rincón.

d) > 250.- Se aprecian únicamente en el centro de la Sierra de Vaquerías y el corte máximo alcanza los 350 m.

Este mapa mostró una relación directa entre la edad del relieve y la profundidad de disección, para el caso de la Sierra de Vaquerías. En la porción meridional de la cuenca, misma que comprende el borde de la caldera y la parte superior del piedemonte, los valores son bajos, de menos de 50 metros, mientras que en el resto del piedemonte predominan los valores mayores a 50 metros y de hasta 200 metros, lo que refleja para estas zonas una erosión prolongada en el tiempo, totalmente de tipo vertical y posiblemente favorecida por fracturas y el tipo de roca.

Como sucede normalmente, en este tipo de análisis de disección no se reconoce una relación estrecha entre los valores de densidad y de profundidad. En términos generales, se infiere para la cuenca de la Presa Constitución 1917, que los valores altos de profundidad corresponden a los relieves más antiguos, mientras que las altas concentraciones de corrientes fluviales son propias de relieves jóvenes, y por lo mismo, de poca profundidad.

4.2.6- Disección total.

El medir la longitud de curvas de nivel, en superficies determinadas en un mapa topográfico, es un método para inferir la disección del relieve, donde interviene la pendiente y la disección en planta y en perfil.

Las distribución de los valores de longitud de curvas de nivel, entre el área (km/km^2) es la siguiente (figura 17):

- a) < 1.6.- Abarca todo el piedemonte y la planicie que bordea la presa.
- b) 1.6- 3.- Señala la zona de contacto entre las sierras y coladas con el piedemonte.
- c) 3-6.- Marca la zona de transición del piedemonte con las sierras.
- d) > 6.- Indica las zonas de mayor acción erosiva, como lo es la parte superior y central de las sierras de Vaquerías y del Rincón.

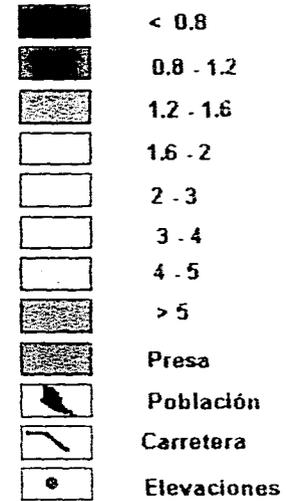
Del mapa resulta una información interesante, ya que por un lado los intervalos corresponden con gran precisión a las montañas y el piedemonte, y por otro, señalan las diferencias litológicas en la cuenca.

+ 20°25
100°15

+ CUENCA DE LA PRESA
CONSTITUCIÓN 1917, QRO.

DENSIDAD DE DISECCIÓN

Kilómetros/Kilómetros²



Sierra de Vequerías

La Estancia

El Jingo

Buena Vista

Sierra
del
Pescón

0 6 Km

Tesis de Licenciatura 1996
Verónica Zermeño Ortiz

20°10 +
100°00

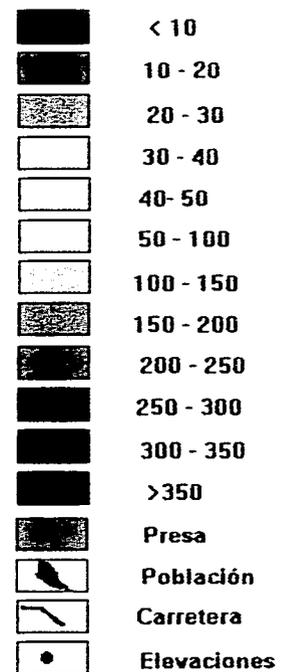
Mapa 15

+ 20°25
100°15

+ CUENCA DE LA PRESA
CONSTITUCIÓN 1917, QRO.

PROFUNDIDAD DE DISECCION

Metros



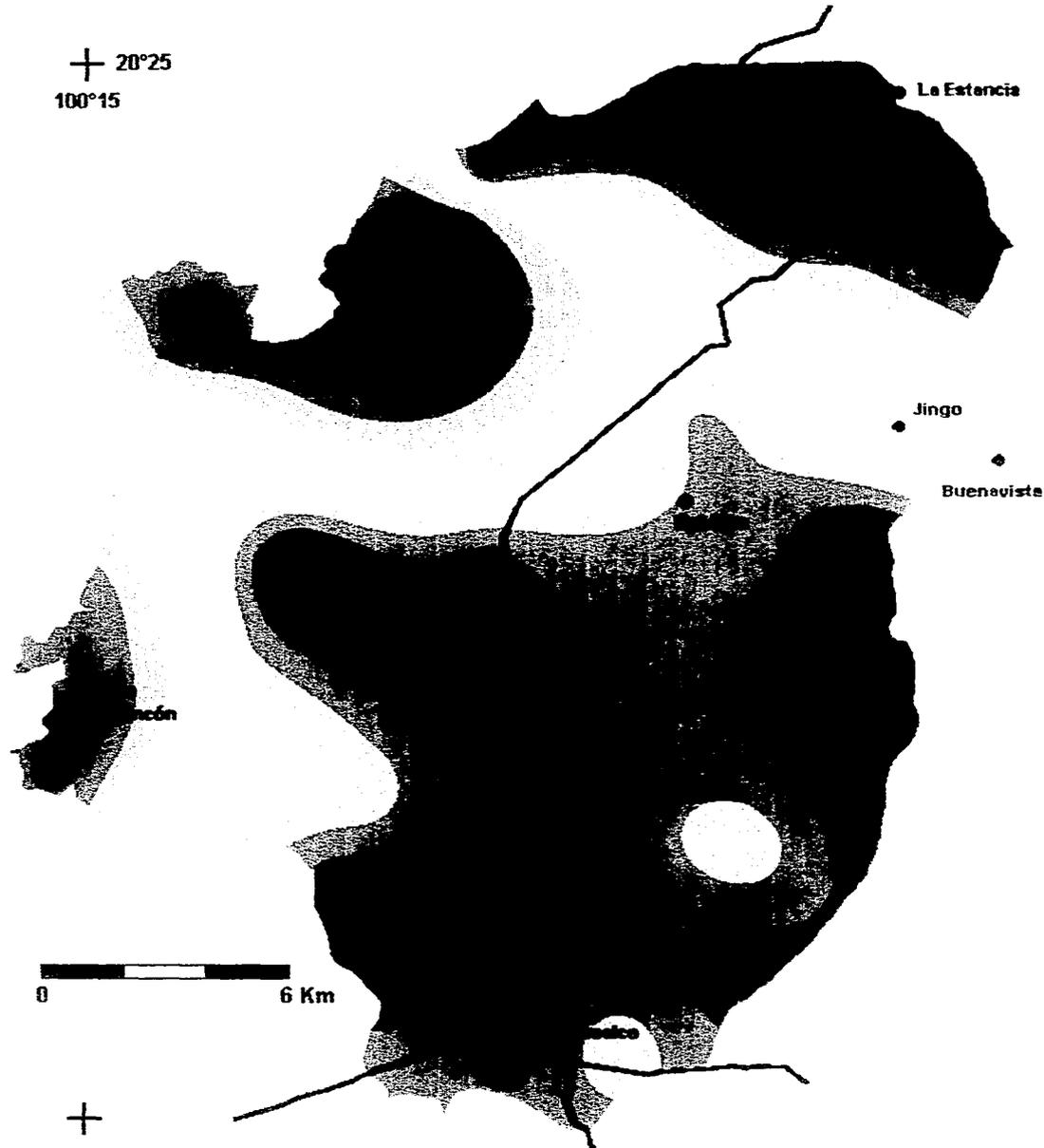
0 6 Km

Tesis de Licenciatura 1996
Verónica Zermeño Ortiz

20°10 +
100°00

Mapa 16

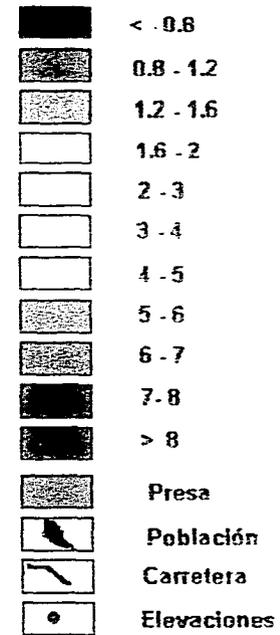
+ 20°25
100°15



+ CUENCA DE LA PRESA CONSTITUCIÓN 1917, QRO.

DISECCIÓN TOTAL

Kilómetros/Kilómetros²



Tesis de Licenciatura 1996
Verónica Zermeño Ortiz

+ 20°10
100°00

Mapa 17

4.3- MORFOGÉNESIS.

Este término se refiere a la clasificación del relieve en función de su origen (génesis). Los principios teóricos de la morfogénesis están contenidos en varias obras de geomorfología (Bloom, 1991; Rice, 1977; Summerfield, 1991 y Thornbury, 1969), en especial de la segunda mitad de nuestro siglo. Paralelamente con la teoría, se ha desarrollado la cartografía geomorfológica, cuyo principal objetivo es la expresión del relieve conjugando forma y origen. Por esto los mapas geomorfológicos tradicionales son los morfogenéticos, que resultan de la combinación de elementos físico-geográficos y geológicos. Con base en todo esto, se elaboró el mapa morfogenético de la zona en estudio. La metodología general consistió en la interpretación de fotografías aéreas (escala 1:80 000) y mapas topográficos (escala 1:50,000), con apoyo en un estudio geológico detallado (Aguirre, 1993) y con trabajo de campo que permitió enriquecer la información físico-geográfica y geológica, para finalmente elaborar el mapa morfogenético correspondiente.

La concepción del mapa y la organización de la leyenda se basan en los principios metodológicos de autores como Bashenina *et al.* (1975), IGU (1978), así como publicaciones sobre el tema hechas en México (Tricart, 1992; Lugo *et al.*, 1994).

El mapa morfogenético expresa una información sobre el relieve de la zona estudiada, pretendiendo presentar de manera clara las formas principales del relieve, clasificadas por su origen y edad absoluta y relativa, de esta manera resulta una información que complementa a la de un mapa geológico, mismo que consiste fundamentalmente, en representar las rocas, clasificadas por su origen y edad, así como las estructuras principales (pliegues y fallas). Las unidades del mapa elaborado se explican de manera breve y se agregan algunos conceptos que contribuyen a la comprensión del relieve en cuestión.

El relieve se clasificó en dos grupos principales: endógeno (volcánico-estructural) y exógeno (erosivo-acumulativo), además se complementó con elementos hidrológicos.

Las formas antiguas del relieve volcánico, del Plioceno, y las recientes, del Cuaternario, están bien conservadas, son afectadas sólo por erosión lineal y vertical, que no ha evolucionado a una erosión lateral. Pero la erosión lineal no ha jugado un papel importante en la formación de capturas fluviales o de valles erosivos anchos. En esto influye la estructura geológica de domos volcánicos, que son consideradas entre las formas del relieve más resistentes a la erosión (Milanovsky, en Belousov, 1979). La zona estudiada presenta una variedad de formas del relieve volcánico que incluyen el borde de una caldera de 4.3 M.a. (Aguirre-Díaz, 1993b). Esta se cartografió sólo parcialmente, la porción comprendida en la cuenca de la Presa Constitución 1917.

Es la Caldera de Amealco la que contribuyó a la formación del relieve de esta zona, mismo que a lo largo del periodo Cuaternario ha sido modificado en distinto grado por la erosión y los procesos volcánicos y tectónicos. Las formas del relieve original no han perdido su geometría a pesar del tiempo; la caldera, los domos, derrames de lava y otros volcanes se reconocen fácilmente. En este caso, la erosión contribuye a la expresión de las formas antiguas del relieve, ya que expone la constitución litológica. No es el caso de las etapas avanzadas en que las formas originales son destruidas en más de un 50% y su aspecto original es totalmente modificado.

Los volcanes se clasificaron a partir de su génesis (domos andesíticos y riolíticos, otros no diferenciados, volcanes de tefra y un estratovolcán). La morfología queda definida en parte, en el mismo mapa y se integra con la caracterización hecha en los mapas morfométricos. La información complementaria de la edad absoluta y relativa, definida por Aguirre-Díaz (1993b), permite comprender la secuencia evolutiva de los volcanes.

Los volcanes anteriores a la caldera dieron origen a procesos explosivos, efusivos y extrusivos de magnitud considerable, de lo cual son testigo las formas principales del relieve actual. Entre éstas, las formas originadas por la lava, las más resistentes, que constituyen coladas, mesas y laderas, mismas que son consideradas en el mapa y fueron subdivididas en función de su composición, de su edad y de su expresión, de tal manera que en conjunto, con los volcanes dan una idea del relieve original y de su evolución en el tiempo.

Rasgos característicos de la estructura son los escarpes, unos precisamente conocidos como estructurales que se refieren a frentes de lava, conservados; otros son los litológicos, que se deben fundamentalmente al contacto entre dos unidades distintas. Se identificó también una terraza estructural: una superficie plana o ligeramente inclinada, condicionada por la roca que la constituye. Los saltos de cabecera son cambios bruscos de pendiente en formas erosivas, pero debidos fundamentalmente a la estructura litológica. Se detallan los escarpes en el apartado de morfodinámica.

El relieve exógeno es esencialmente erosivo en la zona estudiada y es un complemento al relieve endógeno, ambos en estrecha relación. Tal es el desarrollo de una mayor profundidad y alta densidad de disección en él más antiguo. Las formas de erosión son valles, circos, escarpes y saltos de cabecera, en su conjunto expresan la modificación que ha sufrido el relieve original. Así por ejemplo, los valles, las formas más importantes, clasificados en mayores y menores, muestran cada uno el corte vertical a que ha estado sujeto el relieve por efecto de la erosión en un tiempo determinado. Los valles mayores son del tipo de los cañones que tienen sus bordes en mesas o planicies inclinadas amplias y se caracterizan por ser largos, de paredes verticales y escalonadas, con un cauce estrecho; son representativos del piedemonte originado por la actividad de la Caldera de Amealco. Por otra parte, los valles menores que se observan en toda

la cuenca son cortos y la profundidad varía de acuerdo con la unidad del relieve a que pertenecen; en las sierras son profundos (más de 100 m), mientras que en el resto de la cuenca de menos de 50 m. Formas del relieve como éstas dejan expuesta la constitución litológica en paredes de hasta 200 m. Los circos, escarpes y saltos de cabecera se explican en el apartado de morfodinámica.

Las formas erosivas en las laderas montañosas muestran también el grado de transformación de estos relieves en el tiempo, lo que se aprecia en la forma de los valles, el ancho y la profundidad.

El mapa morfogenético (figura 18) resultado de la clasificación del relieve en función de su origen, forma y la combinación de elementos físico-geográficos está estructurado como se muestra a continuación:

Relieve Volcánico.

Coladas de lava

Andesíticas

Expuestas. Forman planicies inclinadas y escalonadas, de 5.6 M.a.

Cubiertas de material piroclástico formando planicies inclinada, de 5.6 M.a.

No diferenciada, forman piedemontes inclinados, anteriores a la Caldera de Amealco, de 5.6-4.8 M.a.

Riolitas. Expuestas, formando planicies ligeramente inclinadas, anteriores a la caldera, de 4.8 M.a. (La edad del domo El Molino fue inferida por su similitud con la unidad Riolita Galindillo).

Mesas

De lava de andesitas. Originadas por el estratovolcán mayor, de 5.6 M.a.

De ignimbrita. Se desarrollan en el piedemonte volcánico inferior, de 5.6-4.8 M.a.

Laderas de lava. Superficies de más de 6°, cortadas por valles erosivos.

Andesitas. Borde exterior de la caldera, de 4.3 M.a.

Riolitas

Con escarpes litológicos,
posteriores a la caldera,
de 2.9 M.a.

Onduladas, de 2.9 M.a.

Planicie de piroclastos. Superficies de menos de 1.5°, formada por piroclastos, no diferenciada, anterior a la caldera, de 5.6-48 M.a. (La edad fue inferida por el relieve y unidades aledañas).

Volcanes

Domos andesíticos. Forman conjuntos de elevaciones, anteriores a la caldera, de 5.6 M.a.

Domos de lava. No diferenciados por su constitución, de 5.6-4.8 M.a.

Domos riolíticos.

Antiguos. Constituyen dos elevaciones semisepultadas, anteriores a la caldera, de 4.8 M.a.

De la Caldera de Amealco,
de 3.9 M.a.

Jóvenes. Constituyen parte de la Sierra del Rincón, de 2.9 M.a.

De tefra. Constituidos de piroclastos, edad 5.6-4.8 M.a.

Estratovolcán. Unidad montañosa principal, con laderas controladas por una red de valles erosivos, anterior a la caldera, de 5.6 M.a.

Piedemonte Volcánico. Superficie de lava y piroclastos, inclinada de sur a norte, originada por la caldera, cortado por valles erosivos, de 4.7 M.a.

Superior. Desarrollado entre los 2650 y 2300 msnm, con valles menores, de 4.7 M.a.

Inferior. Localizado entre los 2300 y 2100 msnm, cortado por los barrancos erosivos mayores, de 4.7 M.a.

Relieve Erosivo.

Valles erosivos.

Mayores. Son largos con más de 100 m de profundidad y se desarrollan en el piedemonte volcánico inferior, del cuaternario (Q).

Menores. Son cortos y presentan una profundidad variable, del cuaternario (Q).

Relieve Acumulativo.

Abanico aluvial. Superficie ligeramente inclinada ($< 3^\circ$) donde desembocan los escurrimientos centrales de la Sierra de Vaquerías, del cuaternario (Q).

Planicie aluvial. Superficie plana ($< 1.5^\circ$) que bordea la porción oeste de la presa, del cuaternario (Q).

CUENCA DE LA PRESA CONSTITUCIÓN 1917, QRO.

MORFOGÉNESIS.

Relieve volcánico.

	Coladas de andesita bien expuestas.	5.6 M.a.
	Colada de andesita, cubierta.	5.6 M.a.
	Coladas de lava no diferenciada.	5.6-4.8 M.a.
	Coladas de riolita bien expuestas.	4.8 M.a.
	Mesas de lava.	5.6 M.a.
	Mesa de ignímbrita.	5.6-4.8 M.a.
	Laderas de andesita.	4.3 M.a.
	Ladera de riolita con escarpes.	2.9 M.a.
	Ladera ondulada de riolita.	2.9 M.a.
	Planicie de piroclastos.	5.6-4.8 M.a.
	Domos de andesita.	5.6 M.a.
	Domos de lava no diferenciada.	5.6-4.8 M.a.
	Domos de riolita semiseppultada.	4.8 M.a.
	Domo de riolita, Caldera de Amealco.	3.9 M.a.
	Domos de riolita, Sierra el Rincón.	2.9 M.a.
	Volcanes de tefra.	5.6-4.8 M.a.
	Estratovolcán.	5.6 M.a.
	Piedemonte volcánico superior.	4.7 M.a.
	Piedemonte volcánico inferior.	4.7 M.a.

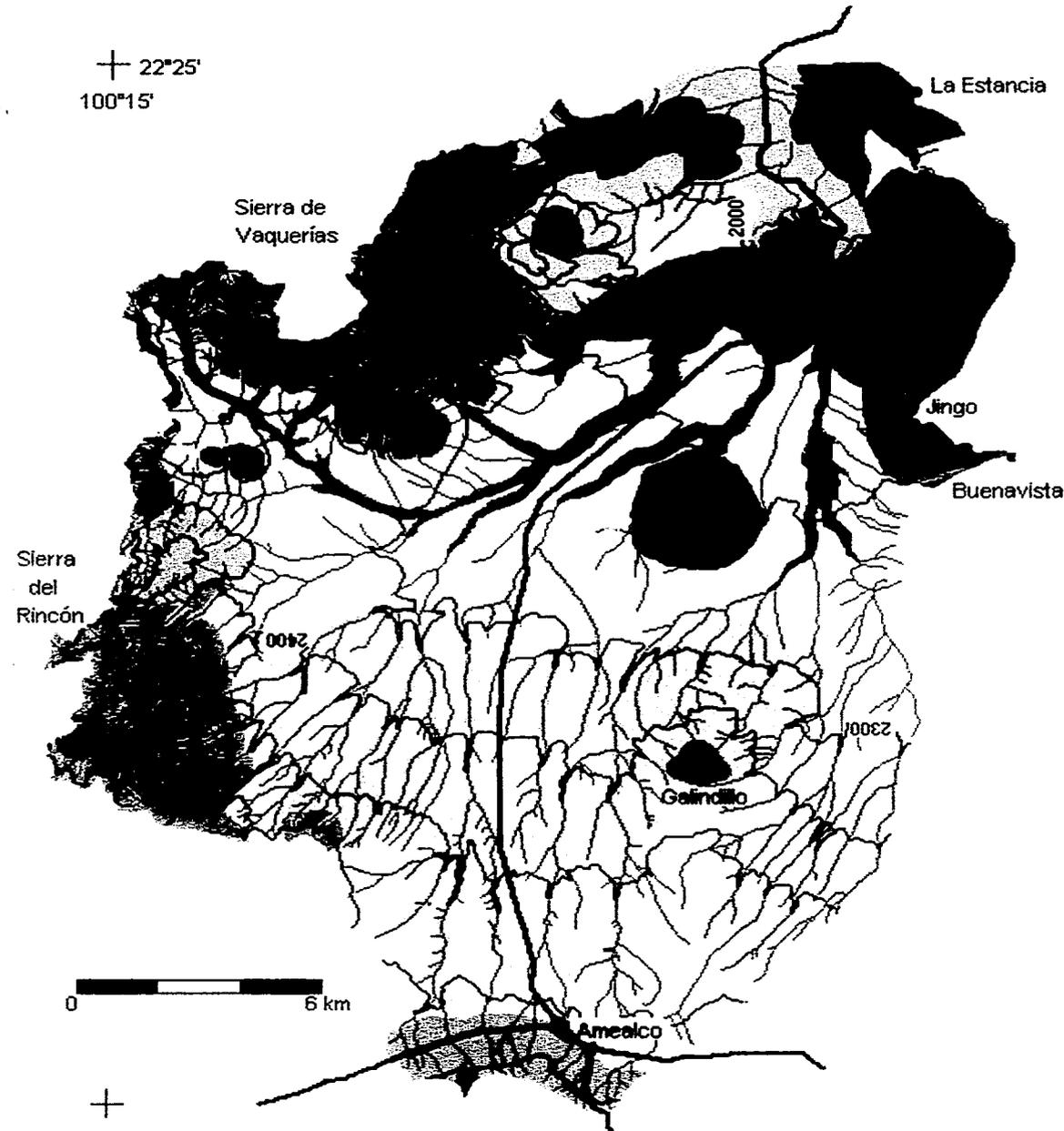
Relieve erosivo.

	Valles erosivos mayores.	Q
	Valles erosivos menores.	Q

Relieve acumulativo.

	Abanico aluvial.	Q
	Planicie aluvial.	Q
	Presas.	
	Escurrimientos.	
	Población.	
	Carretera.	
	Elevaciones.	
	Curvas de nivel.	

Nota. Las edades absolutas se tomaron de Aguirre (1993).



Tesis de Licenciatura, 1996.

Verónica Zermeño Ortíz.

100°00'

20°10'

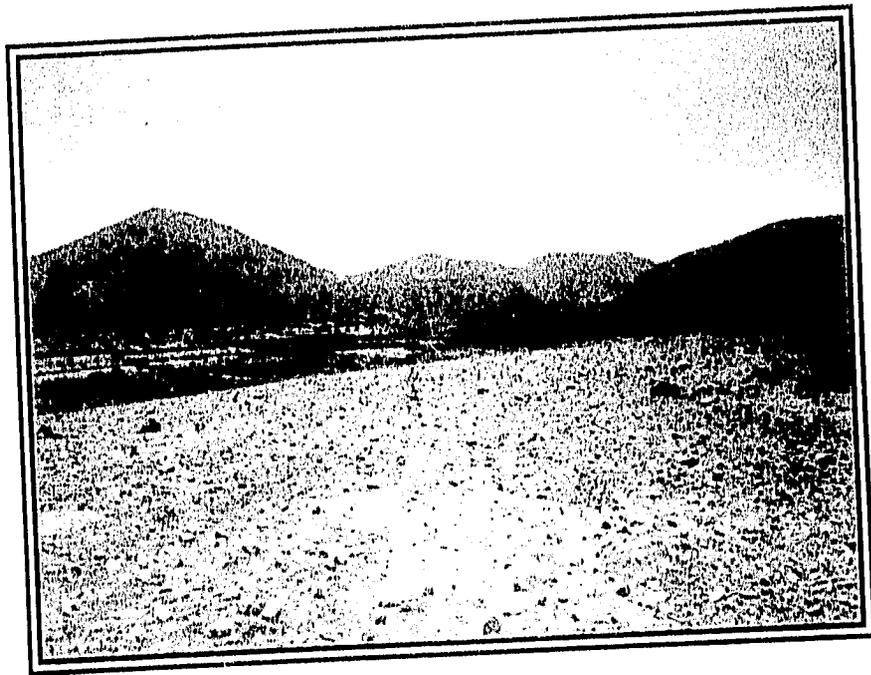
Mapa 18.

La explicación de cada una de la unidades morfogénéticas es la siguiente:

4.3.1- Relieve Volcánico.

Coladas de andesita, expuestas.

Una colada (o derrames) es la forma en que fluye o se dispone la lava en la superficie terrestre. La forma que adopta está en función de su viscosidad, la superficie y la pendiente del terreno sobre el que se acumula. Se ubican al norte de la Sierra de Vaquerías, al oeste de la presa, extendidas al noreste. Cubren una superficie menor que las anteriores (fotografía 6).



Fotografía 6.- Domo y colada de andesita, expuesta, Sierra de Vaquerías.

Colada de andesita cubierta por piroclastos.

Las coladas cubiertas por piroclastos presentan las características de las dos primeras, pero su superficie es más ondulada que las anteriores, debido al depósito de material de caída sobre ésta. Es la colada menos extensa y se observa al noreste de la Sierra de Vaquerías, muy cerca de la presa. La pendiente en la parte superior va de 0.5° a 1.5° (fotografía 7).



Fotografía 7.- Colada de andesita cubierta por piroclastos.

Coladas de lava no diferenciada.

Estas coladas presentan la misma forma y pendiente que las anteriores, se diferencian únicamente en su composición. En la cuenca se observan en el norte rodeando volcanes, centros de emisión del material que corresponden a los cerros Del Aire, El Jingo, La Estancia, entre otros. Forman superficies suaves, ligeramente onduladas, su pendiente va de uno y medio grados a tres, y en ocasiones hasta seis. Estas coladas intermedias presentan una viscosidad mayor que las basálticas, alcanzan distancias de hasta tres kilómetros. Están delimitadas en ocasiones por escarpes litológicos (perfil E-E').

Perfil E-E'. La colada no diferenciada aparece entre los kilómetros 5 y 10 km del perfil y es rodeada por la Toba Amealco (siguiente página). El frente de la colada se señala por el incremento en la pendiente y el otro extremo está en contacto con el piedemonte; en general toda la colada presenta una pendiente suave ligeramente ondulada y está poblada por asociaciones de matorrales (ver leyenda en la página 11).



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

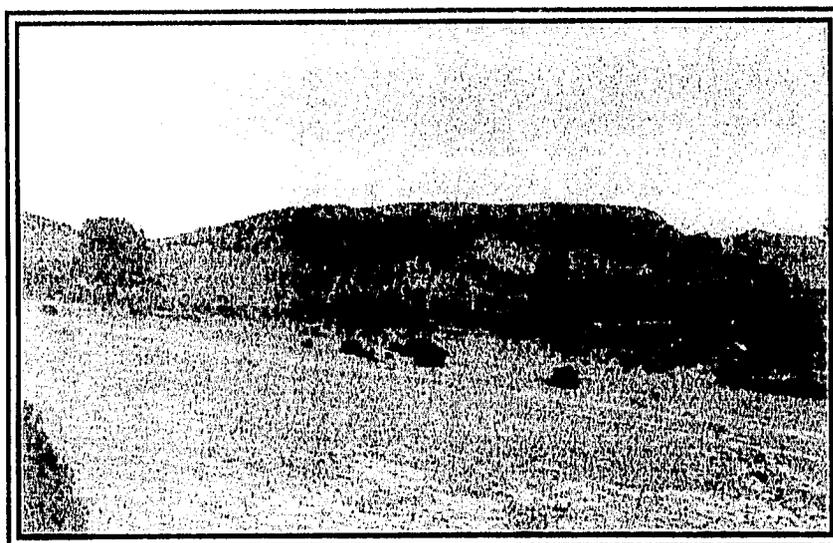
Coladas de riolita, expuestas.

Son de mayor viscosidad y con características similares a las anteriores. Una colada rodea al Cerro Galindillo, sepultada en su porción sur por la **Toba Amealco** y expuesta sólo hacia el norte.

Otra pequeña colada se observa al suroeste de la cuenca, al norte del domo del Molino, se aprecia únicamente su parte norte debido a que el resto de la colada debió ser cubierta por la **Toba Amealco**. No es extensa y presenta vegetación arbórea en sus valles, los interfluvios son empleados en la agricultura y ganadería como pastizales (perfil H-H').

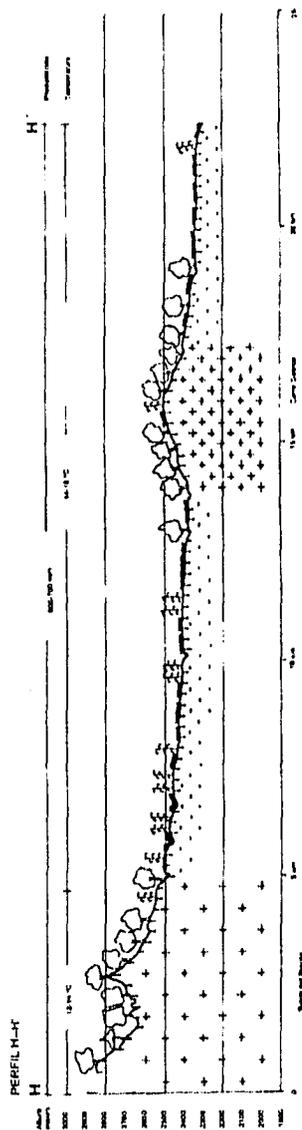
Mesa de lava.

Se presenta únicamente en la porción sur de la Sierra de Vaquerías (fotografía 8). Es una superficie plana, ligeramente inclinada, con una pendiente menor a los tres grados; ubicada sobre el estratovolcán destruido. Las mesas son amplias elevaciones coronadas por derrames de lavas fluidas.



Fotografía 8. Domo La Beata y mesa de lava.

Perfil H-H'. Se observa en el Cerro Galindillo la colada y el domo de riolita semiseptados por la Toba Amealco. La riolita y el piedemonte están limitados por valles menores, a su vez la colada rodea al domo y los pequeños valles se desarrollan en el contacto de ambos. Es un relieve convexo de muy suave pendiente, el bosque cubre parte de la riolita y en las zonas más planas se desarrolla la agricultura y ganadería.



Mesa de ignimbrita.

Se observa una sobre la margen derecha del Río Los Zúñigas, en la zona de contacto con las coladas de lava no diferenciada, cerca del poblado Puerta de Vaquerías. La mesa de ignimbrita es una superficie débilmente inclinada estrecha y alargada de las capas de rocas en una estructura homoclinal, delimitada por cambios bruscos de pendiente.

Corresponde a la prolongación de la ignimbrita consolidada hacia el interfluvio, la cual se pierde a menos de un kilómetro. Se observa como un escalón con un pequeño escarpe de más de seis grados de pendiente, prolongación también del barranco mayor; forma una superficie angosta y plana. Sobre la margen izquierda también se observa una prolongación de la ignimbrita, pero no se forma un escarpe abrupto, como en la margen derecha, sino únicamente un aumento de la pendiente (fotografía 9).



Fotografía 9. Mesa de ignimbrita, localidad Puerta de Alegrías y en segundo plano domos de la Sierra de Vaquerías.

Ladera de andesita.

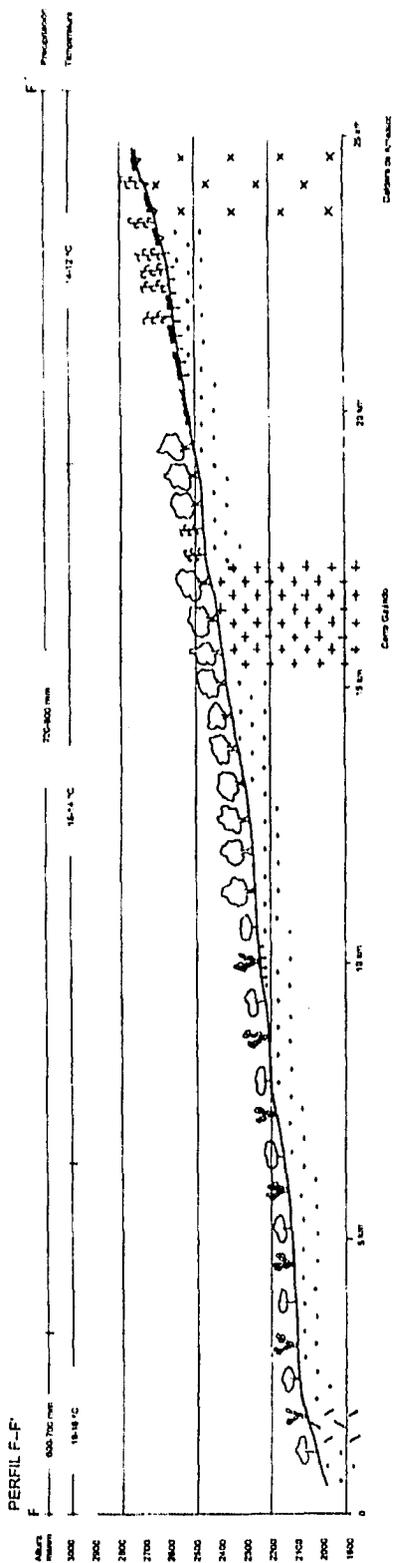
La ladera se ubica al sur de la cuenca y corresponde al anillo de la caldera, el cual es dividido por el parteaguas, en su porción interior (atrio) y exterior. El exterior es parte de la cuenca y está compuesto por andesita y la **Toba Amealco**. Es de pendiente muy suave, entre tres y un grado y medio, lo que permite el desarrollo de la agricultura y ganadería.

Los escurrimientos son temporales pero muy erosivos por lo abierto de la vegetación y las características del suelo (luvisol). No existe un gran desarrollo de barrancos, la profundidad de disección es menor a los 20 metros y la densidad de disección varía de 0.8 a 3 kilómetros (perfil F-F').

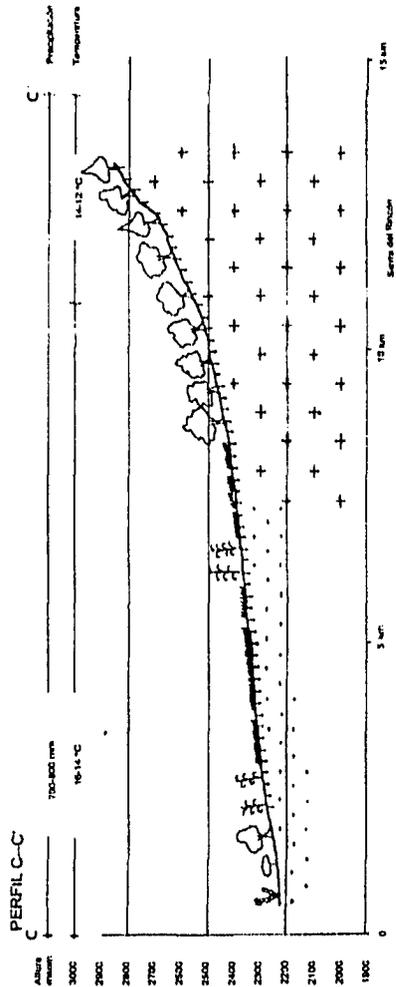
Ladera de riolita con escarpes.

En la cuenca se identifican en toda la Sierra del Rincón, de forma extendida, recta y cóncava. La sierra riolítica (Aguirre-Díaz, 1993b) presenta un gran número de escurrimientos y la mayor densidad de disección de la cuenca; en contraste, es la zona que conserva mejor su vegetación natural (bosque). La pendiente va de los tres grados en su base, a más de los 25° en los escarpes litológicos, producto de los derrames de lava viscosa (riolita) que la formaron. Los escarpes litológicos corresponden a diques frontales y laterales de coladas de lava. Los frontales son perpendiculares a la dirección del flujo de la lava y en cambio, los laterales son paralelos a los escurrimientos. La pendiente es menor con relación a los erosivos (perfiles C-C' y H-H').

Perfil F-F'. La ladera de andesita se observa al final del perfil, en la cabecera de la cuenca, formando la divisoria de aguas (siguiente página). La **Andesita Amealco** constituye el anillo de la Caldera de Amealco, no existe un cambio en la pendiente al pasar del piedemonte a la ladera, se mantiene suave; el uso del suelo también se mantiene igual que el piedemonte (agricultura y ganadería) y el suelo es un elemento que sí varía en la unidad, ya que es la única zona donde se desarrolla el luvisol, en correspondencia con la litología (ver leyenda en la página 11).



Perfil C-C'. El perfil muestra el cambio de la pendiente al pasar del piedemonte a la Sierra del Rincón, es suave y aumenta gradualmente hasta volverse fuerte. La ladera presenta vegetación homogénea (arbórea) y un suelo mejor desarrollado que el piedemonte a pesar de presentar una pendiente mayor. La forma de las laderas es más evidente en el perfil H-H', donde también resaltan los valles que desarrollan los escurrimientos.

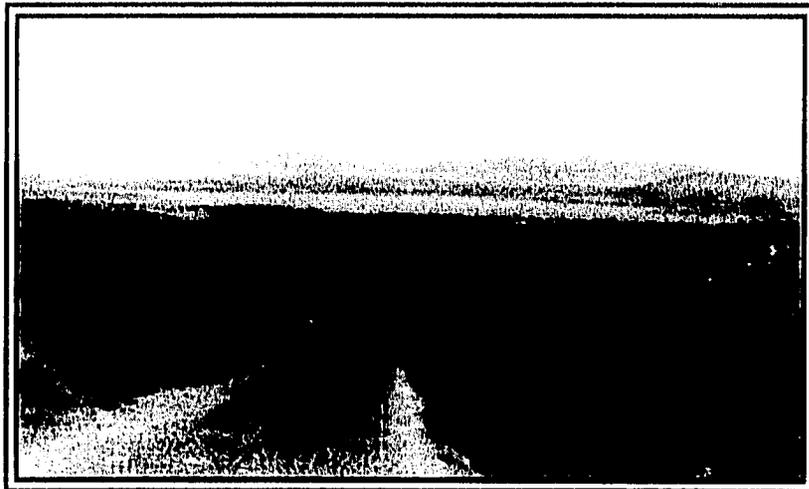


Ladera ondulada de riolita

Es similar en composición que la unidad anterior, con pendientes menores a los seis grados, de menor densidad de disección y sin escarpes litológicos, una ladera ondulada y redondeada. Corresponde a la porción norte de la Sierra del Rincón y cubre un área pequeña (perfil D-D').

Planicie de piroclastos.

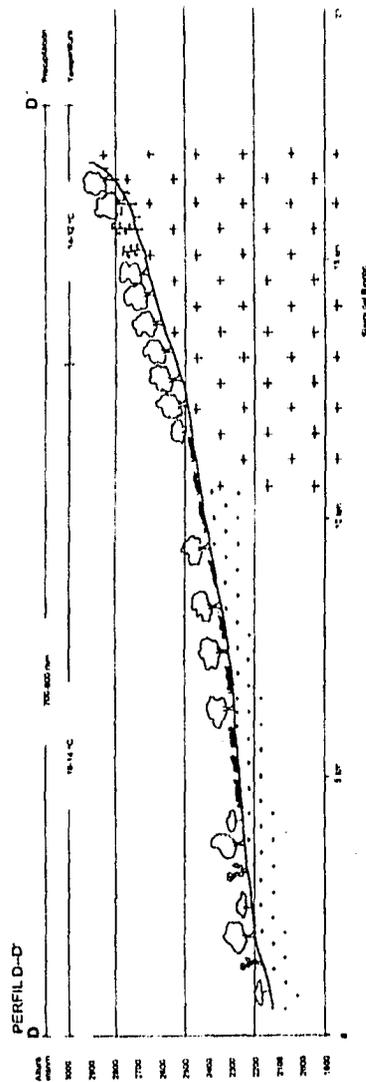
Cubre la porción noreste de la cuenca, al sur del Cerro de la Estancia. Corresponde a una superficie plana o de poca inclinación, en este caso, menor a un grado y medio (fotografía 10).



Fotografía 10. Presa Constitución de 1917, Cerro La Estancia, planicies aluvial y de piroclastos.

Su origen es por acumulación de material volcánico (piroclastos). Se presenta entre elevaciones volcánicas y muy cerca de la presa, donde, debido a su posición altitudinal y el relieve circundante, no presenta acumulación de material de acarreo.

Perfil D-D'. La Sierra del Rincón presenta dos tipos de laderas: onduladas y escarpadas, a pesar de ser el mismo material. Al norte de la sierra se observa laderas y cauces de morfología suave y redondeada. El perfil se muestra de recto a ligeramente cóncavo. La vegetación se mantiene igual que en las laderas escarpadas, arbórea (ver leyenda en la página 11).



Domos de andesita.

Están distribuidos de la siguiente forma: dos en medio de las dos sierras (La Beata y Serrín), en la porción oeste del parteaguas, y el resto en la Sierra de Vaquerías (fotografía 8). Son elevaciones aisladas, circulares, de cimas redondeadas, bien definidas por una red de baja densidad de disección y laderas de fuerte pendiente. La altura es 2250 a 2600 msnm. Un domo se forma por la compresión de la masa magmática viscosa en el canal volcánico. La viscosidad de la lava dificulta su escurrimiento hacia los lados, así como la liberación de gases.

Domos de lava no diferenciada.

Lo son el Cerro del Aire y tres elevaciones menores observadas entre el Cerro del Jingo y la Sierra de Vaquerías (fotografía 11).

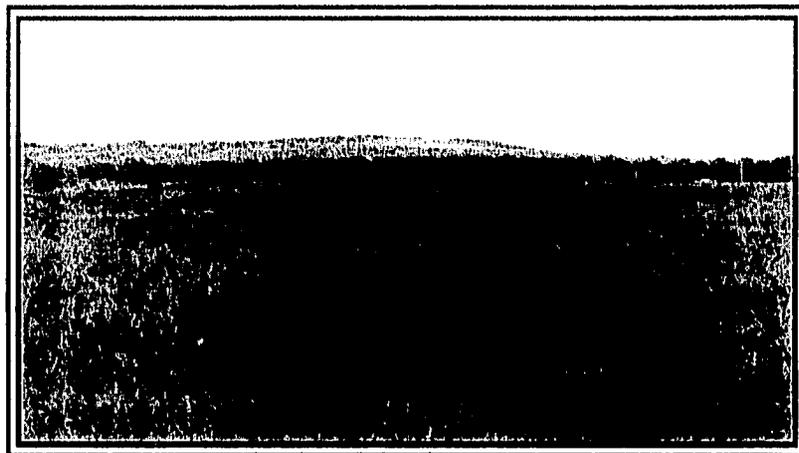


Fotografía 11. Domo no diferenciado, cercano a la población Dolores Cuadrilla de Enmedio.

Presentan diferentes dimensiones, siendo el del Cerro del Aire el más grande y los otros pequeños; la morfología de todos es de elevaciones redondeadas poco erosionadas con una pendiente que va de los 3 a los 12°.

Domos de riolita semisepultados.

Se observa uno en el Cerro Galindillo y otro en el Cerro del Molino. En el primero, la pendiente general es de 3 a 1.5° y aún menor en la cima, no presenta una alta disección. Esta elevación además de estar semisepultada por la **Toba Amealco**, no muestra una diferenciación marcada con su colada, sino únicamente en la forma de sus barrancos (fotografía 12).



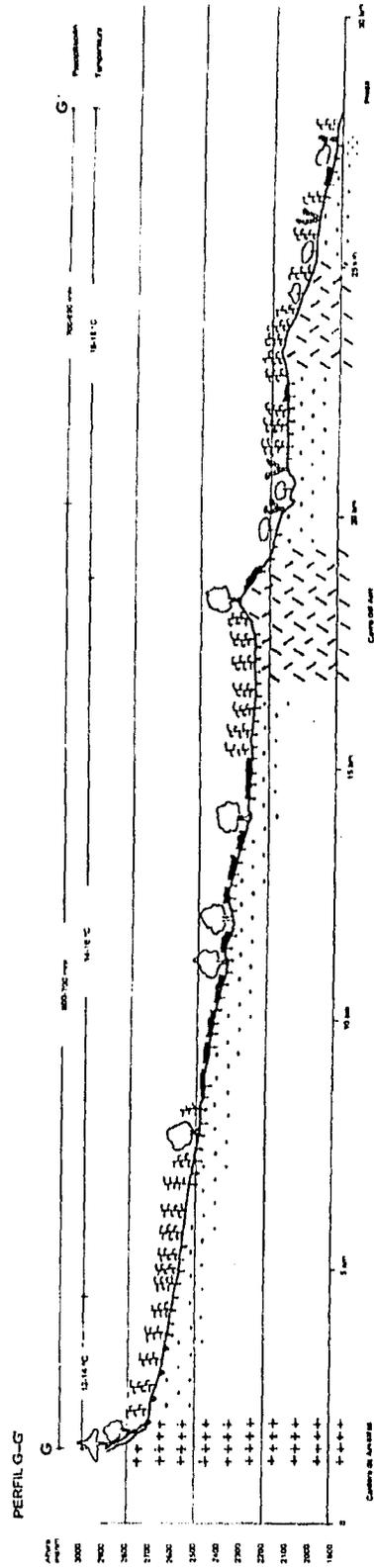
Fotografía 12. Piedemonte inferior y Cerro Galindillo.

El domo del Cerro del Molino, ubicado en el parteaguas suroeste, entre la Sierra del Rincón y la caldera, se considera riolítico por la similitud en morfología, con el domo de Galindillo y también por encontrarse semisepultado por los depósitos de la caldera. Su pendiente es ligeramente mayor a los tres grados y en él nacen algunos barrancos.

Domo de riolita, Caldera de Amealco.

Pertenece al domo La Cruz, de él sólo se observa una pequeña parte, la cual forma el parteaguas meridional de la cuenca; presenta una pendiente fuerte, mayor a los seis grados. Esta unidad es considerada geológicamente el material central de la caldera, mismo que se extiende y corta el anillo de la misma (perfil G-G').

Perfil G-G'. El perfil inicia en el domo de la Caldera de Amealco (siguiente página). Se distingue fácilmente por la transición de la pendiente suave del piedemonte a una fuerte en el domo; la vegetación es distinta en ambos, agricultura en la **Toba Amealco** y arbórea en el domo, con presencia de pino por la altura (ver leyenda en la página 11).



Domos de riolita, Sierra del Rincón.

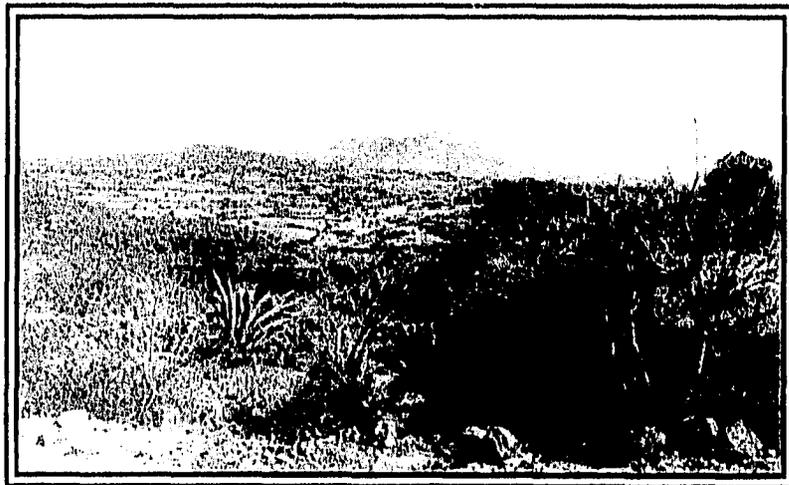
Los domos de la Sierra del Rincón se presentan a una altura mayor a los 2500 msnm, al igual que los anteriores, no muestran una diferenciación marcada con su colada, sino únicamente en la forma de sus barrancos y a pesar de estar formados de un material viscoso, tienen una pendiente similar a los andesíticos ($>6^\circ$), con presencia de circos erosivos inactivos (perfil H-H').

Perfil H-H'. El domo se aprecia en la parte superior de la Sierra del Rincón y constituye parte de la divisoria de aguas por lo que solo se observa un fragmento de éste. La pendiente es fuerte al igual que en el resto de la sierra, el domo está delimitado por pequeños valles y adquiere en el perfil una forma cóncava.

Volcanes de tefra.

Corresponde a las mayores elevaciones presentes sobre el piedemonte volcánico inferior: los cerros Estancia y Jingo, estructuras que fueron semisepultadas por los depósitos emitidos por la Caldera de Amealco, principalmente por la toba.

Los edificios volcánicos son elevaciones originadas por la emanación de lava, piroclastos, gases y vapores ardientes hacia la superficie, a través de un orificio de forma circular. Presentan una morfología triangular, erosionada, de cráter abierto y cubren áreas reducidas del terreno (fotografía 13).



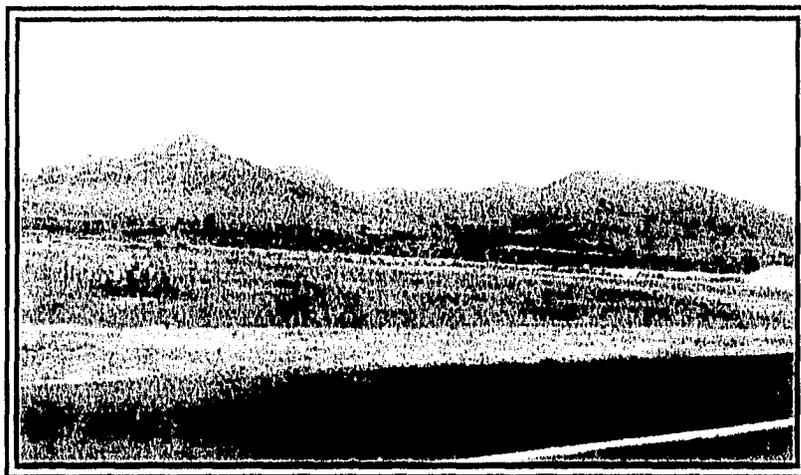
Fotografía 13. Volcán el Jingo.

Estratovolcán.

En general son montañas volcánicas poligenéticas cuyas erupciones son emanaciones de lavas y expulsión de piroclastos, cubren grandes extensiones y alcanza varios cientos de metros de altura

El estratovolcán de la Sierra de Vaquerías es un edificio de gran magnitud (con más de 7 km de diámetro y 2700 msnm) compuesto por lavas y piroclastos, lo que se expresa en la forma de sus laderas; constituye la parte central y meridional de la sierra. Es un edificio muy destruido, del cual se observan laderas asimétricas: un flanco septentrional suave y otro escarpado al sur (fotografía 14 y perfiles A-A' e I-I').

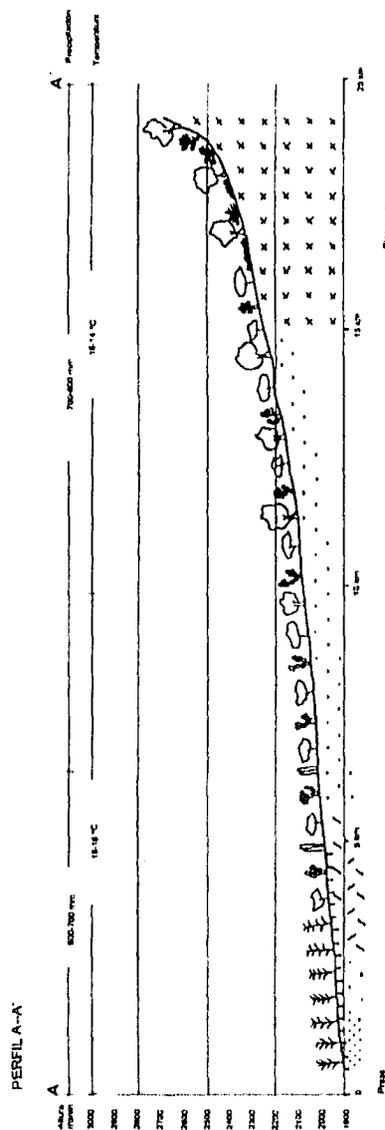
Se observan escarpes erosivos, son rectos y paralelos a los principales escurrimientos. Presentan una pendiente fuerte y no están cubiertos por vegetación o es rala. Las laderas son abruptas, de altura variable. Los escarpes erosivos son el resultado de la acción denudatoria del terreno por la acción hídrica, en ocasiones son la prolongación de los circos erosivos, que se detallan en el tema de morfodinámica.



Fotografía 14. Desarrollo de circos erosivos activos en la Sierra de Vaquerías.

En el perfil H-H' (página 56) es más clara la morfología de los valles de la Sierra del Rincón, la pendiente es fuerte, las laderas asimétricas y la vegetación presenta una distribución de bosque al norte y matorrales al sur.

Perfil A-A'. En la Sierra de Vaquerías se definen valles muy profundos, que desarrollan circos erosivos activos. En el perfil, el valle es convexo con un incremento fuerte de la pendiente en la divisoria de aguas, zona donde se desarrollan los circos, la vegetación es muy abierta y predominan los matorrales (ver leyenda en la página 11).



Piedemonte volcánico superior.

Esta unidad corresponde a la porción sur-central de la cuenca. Se originó por el relleno de una superficie por la **Toba Amealco**, con un pequeño espesor de suelo y donde hay actividad agrícola y ganadera. La erosión que se observa es de tipo laminar, con muy pocos escurrimientos concentrados. La pendiente es menor a los tres grados y mayor a medio grado, con superficies de forma alargada, cóncava u ondulada.

Los barrancos inician con pequeños saltos de cabecera sobre suelos de más de un metro de espesor. Los escurrimientos mantienen un patrón paralelo, sin tributarios menores bien definidos. La erosión es lateral y remontante.

Conforme desciende alcanza la roca madre (**Toba Amealco**) y la superficie edáfica va disminuyendo hasta prácticamente desaparecer y predominar la superficie rocosa, en este momento comienza el escurrimiento sobre el piedemonte inferior (fotografía 12).

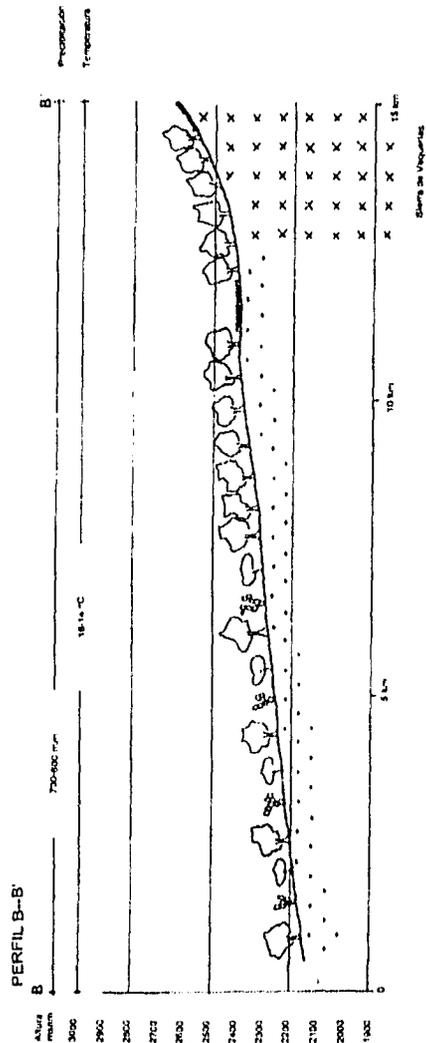
En los interfluvios se tiene agricultura y pastizales, en situaciones de poca pendiente se extiende hacia los valles esta actividad, pero cuando la pendiente se incrementa, la población respeta la vegetación original de arboles (perfiles B-B' y G-G').

Piedemonte volcánico inferior.

El piedemonte es una superficie marginal a las montañas, de capas potentes de material disecado por barrancos. Abarca la mayor parte de la superficie de la cuenca, cubre la parte central y un fragmento de la porción norte de la misma. Se desarrolla sobre los depósitos de toba emitidos por la caldera, los cuales rellenaron el relieve preexistente, semisepultando las elevaciones dieron por resultado, una ladera de pendiente inferior a los tres grados y a veces menor a medio grado. Se observan valles con una profundidad de hasta 200 metros, esta situación se trata con detalle en el relieve erosivo.

Sobre el piedemonte se desarrolla la agricultura y ganadería, a pesar de lo delgado del suelo. Mientras que en las laderas de los valles se tienen asociaciones de matorrales en litosol y pendientes mayores a doce grados (perfil I-I').

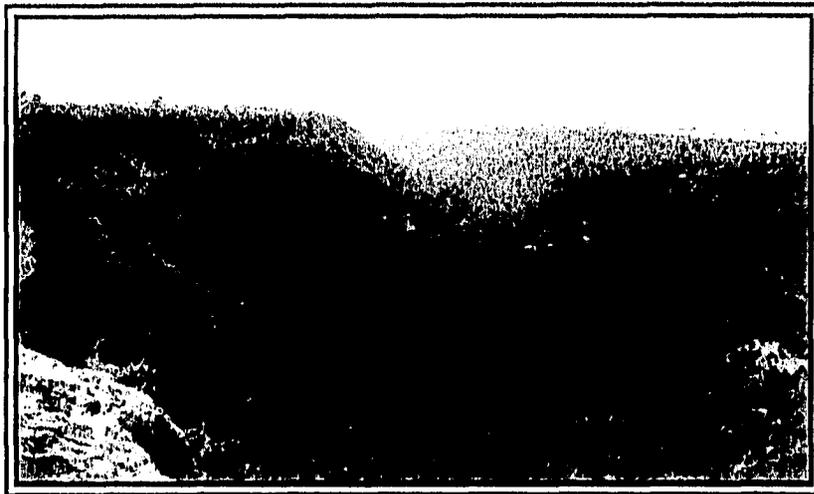
Perfil B-B'. Este representa todo el piedemonte que inicia al pie de la Sierra de Vaquerías y se extiende con una pendiente muy suave y homogénea, está constituido por los depósitos de la Toba Amealco; el cauce presenta vegetación arbórea con matorrales. En cambio, en el perfil G-G' se observa el piedemonte que inicia en la Caldera de Amealco y se extiende hasta los 12 km, por un lado en los valles menores que lo cortan y se presenta vegetación arbórea, y por el otro en los interfluvios se observan pastizales; también la pendiente es muy suave y se distingue del resto de las unidades morfogénicas (ver leyenda en la página 11).



4.3.2- Relieve Erosivo.

Valles erosivos mayores.

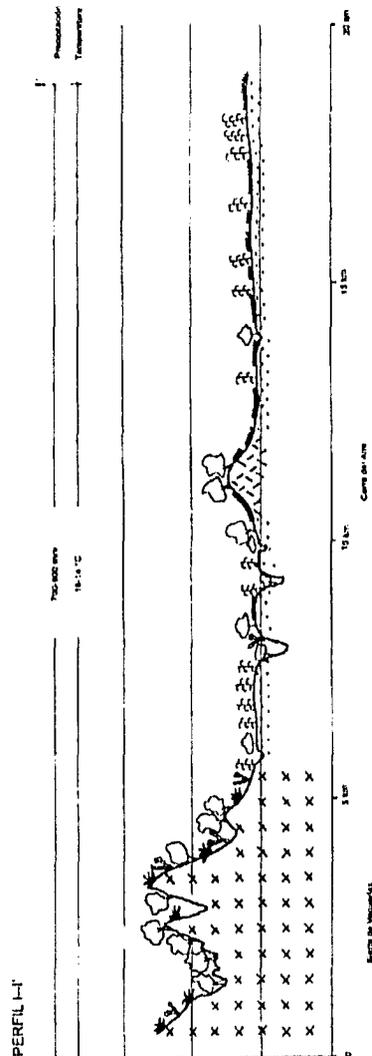
Se desarrollan sobre el piedemonte volcánico inferior, inician en la porción media de la cuenca y finalizan a menos de tres kilómetros antes de la presa. Presentan, en general, pendientes mayores a los 12 grados en sus laderas, disminuye a los seis grados en las porciones altas y en la confluencia de los escurrimientos del Río Hondo (fotografía 15).



Fotografía 15. Valle mayor de laderas escarpadas, Río Los Zúñigas.

Los valles muestran un ancho de 100 a 800 metros, inician estrechos en su parte media en longitud, presentan en su borde superior la mayor anchura y disminuye cerca de la presa. La profundidad de los barrancos es de 150 metros. De los arroyos, el más largo es el de la Cueva, afluente del Río Los Zúñigas y el más corto es el de La Herradura. En las laderas escarpadas se observa la alternancia de los depósitos emitidos por la Caldera de Amealco (**surge**, pómez de caída e ignimbritas soldadas y no soldadas), muestran distinta resistencia a la erosión, siendo las ignimbritas soldadas las más resistentes y que forman las protuberancias o escarpes estructurales menores paralelos al escurrimiento, se observa en ocasiones más de uno. Estos escarpes no han sido cartografiados debido a que la escala del mapa morfogenético no permite su representación, pero se incluyó en el análisis por su extensión y correspondencia con los saltos de cabecera y terrazas litológicas.

Perfil I-I'. El piedemonte inferior está formado por los depósitos de la Toba Amcalco, con una pendiente suave en la cual se desarrolla la agricultura, a pesar de la presencia de un suelo pobre (litosol). Los valles mayores (>100 m de profundidad) son característicos en él, las laderas de estos son abruptas en contraste con el resto de la unidad, presentan vegetación arbórea y asociación de matorrales mientras que en el piedemonte la agricultura y ganadería son dominantes (ver leyenda en la página 11).



Valles erosivos menores.

Se presentan en las zonas montañosas, en la porción alta de la cuenca y en el piedemonte volcánico. Su densidad es mayor en las dos primeras. No son amplios, presentan un ancho aproximados de 100 m y una profundidad mayor a los 100 metros. Su configuración es de laderas cóncavas. Sobre el piedemonte presenta una menor densidad, el arreglo del drenaje es semiparalelo y con vegetación de encinos (fotografía 16).



Fotografía 16. Valle menor desarrollado en la Toba Amealco.

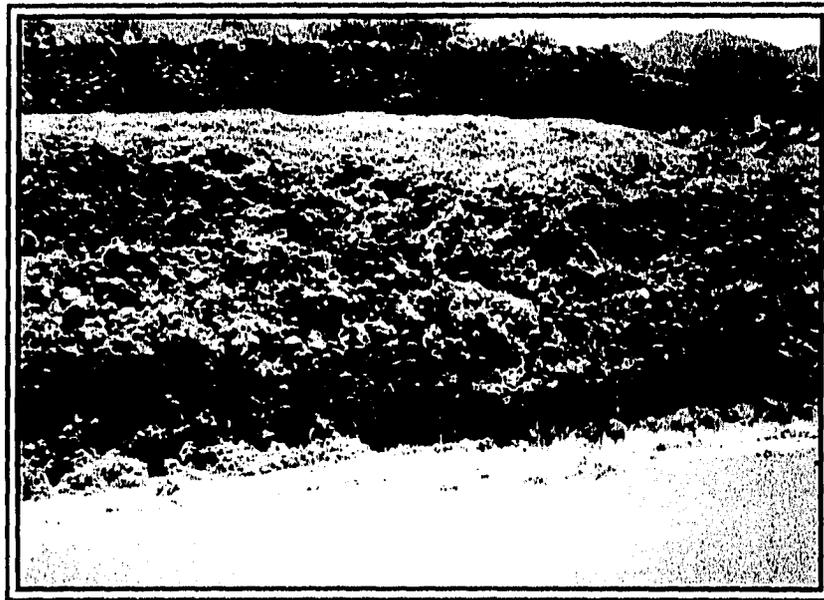
4.3.3- Relieve Acumulativo.

Abanico aluvial.

Un abanico es una forma de acumulación originada en la desembocadura de una corriente montañosa, en una superficie de baja pendiente, donde el cambio brusco produce que el material transportado por el agua sea depositado en forma de medio cono. Está constituido de material heterométrico no consolidado y clasificado de grueso a fino, partiendo de la cúspide al borde.

Esta unidad se presenta al pie de los domos y coladas del norte de la Sierra de Vaquerías, en el contacto con la planicie aluvial. Son varias las corrientes que aquí confluyen después de recorrer toda la porción central de la Sierra de Vaquerías, la cual presenta fuerte pendiente y una cubierta vegetal escasa, lo que facilita el desprendimiento de material y acarreo.

El abanico es alargado, de pendiente menor a los tres grados, en él se presenta una acumulación de material no consolidado, subredondeado de diversos tamaños (menores a 30 cm de diámetro). Este material es cortado por la carretera Amealco-Los Cues donde se aprecia el depósito (fotografía 17).



Fotografía 17. Abanico al pie de la Sierra de Vaquerías.

Planicie aluvial.

La planicie aluvial es una superficie de dimensiones variables, con poca inclinación donde se desarrolla la acumulación de material fluvial.

En la cuenca se desarrolla al noroeste de la cuenca, entre la Presa Constitución 1917, la Sierra de Vaquerías y las coladas de lava no diferenciadas (fotografía 10); correspondiente a la zona donde desembocan la mayoría de los escurrimiento de toda la cuenca. La planicie es casi horizontal, presenta una pendiente menor a 1.5° y corresponde a la zona más baja de la cuenca (<2000 msnm).

4.4- MORFODINÁMICA.

La morfodinámica considera los procesos actuales que de forma natural están modificando el relieve. Tricart y Kilian (1982) definen a la morfodinámica, o geodinámica, como el análisis que permite apreciar la susceptibilidad e identificar los rasgos de degradación que provoca un cierto tipo de utilización del medio, tanto en la situación actual y si se modificara a partir de un ordenamiento; considera el medio natural como un sistema conforme a la estructura y dinámica y la asociación de caracteres: relieve, clima, vegetación y suelo.

En la cuenca de la Presa Constitución 1917, entre los procesos naturales se identificaron los generados por la acción hídrica, la remoción en masa y la acumulación; y respecto a las superficies sin un desarrollo de los procesos anteriores y con la cubierta vegetal original, se definieron como conservadas. Por último, se incluyó a la extracción de material como un proceso promovido por la acción del hombre.

Dentro de la acción hídrica se considera por una parte a la erosión laminar, tanto en suelos someros como en profundos, la lineal; y por otra parte, a la acción remontante, la cual está en relación estrecha con la litología.

En lo que respecta a la remoción en masa, los efectos gravitacionales como la caída de rocas, se observa en laderas con fuerte pendiente donde el material se encuentra disgregado y alterado. Se incluye dentro de estos elementos a los circos de erosión, un rasgo que indica el grado de destrucción de una vertiente, así como una etapa de desarrollo de la disección. Se clasificaron en activos, inactivos y mixtos.

De la acumulación, contraparte de la acción erosiva, se identificaron las zonas donde se deposita el material que es acarreado de otras zonas de la cuenca.

En cuanto a la acción del hombre se consideró la extracción de material, que se realiza alrededor de la presa de donde se extrae la arena acumulada en la planicie; de los pequeños volcanes se obtiene también arena y otros materiales para la construcción; y por último, en el piedemonte hay extracción de toba en canteras.

Se aborda también la influencia que producen los bordos por observarse en todo el piedemonte, en ellos se da la retención de agua y material proveniente de escurrimientos de temporal, esta agua es empleada en la agricultura o como abrevaderos. Se mencionan más no se cartografiaron.

Por otro lado, se utilizaron como datos indicadores del acarreo de material a las mediciones de azolveís en los principales escurrimientos de la cuenca. De la información generada por la SARH, para la zona en estudio, se encuentran mediciones del acarreo de sedimentos por los escurrimientos. Todos estos datos

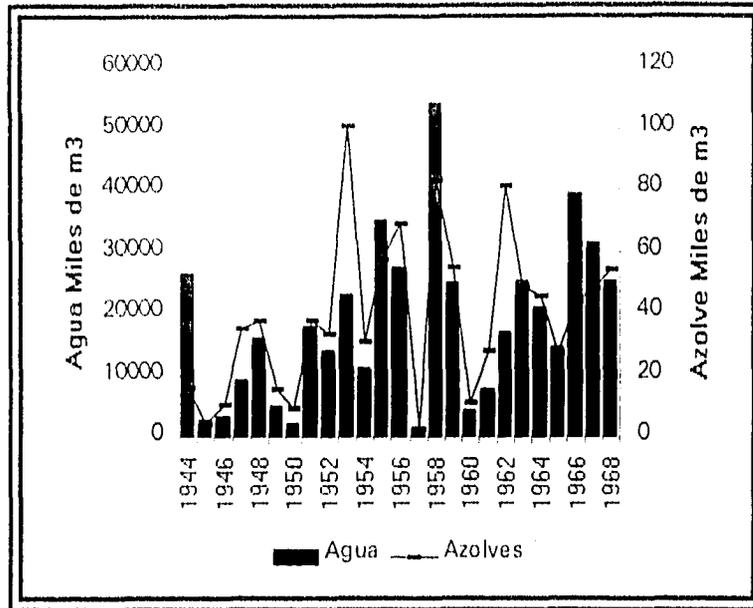
fueron obtenidos previo a la construcción de la presa para evaluar la factibilidad de la obra (figura 19) .



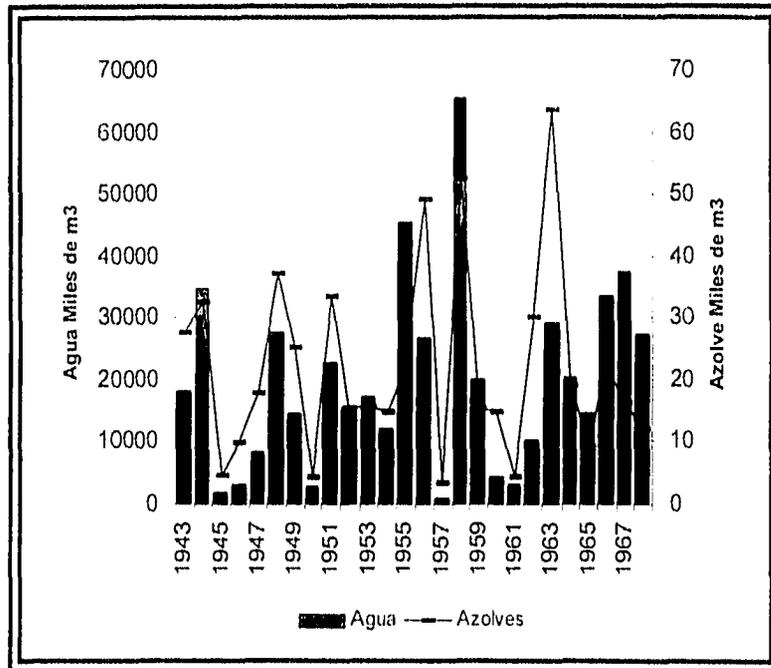
Figura 19.- Estaciones hidrométricas antes de la construcción de la Presa Constitución 1917. Fuente: Boletín Hidrológico Núm. 44, SARH, 1971.

En las gráficas siguientes (2 y 3) se observan los volúmenes de sedimentos de cada uno de los escurrimientos. Comparando el acarreo y el volumen de agua que escurre en los ríos principales, se tiene el mayor acarreo en suspensión para el Río Galindo (o Los Zúñigas) el cual es de $38,037 \text{ m}^3$ como promedio anual (gráfica 1) a pesar de presentar un menor escurrimiento, $17'986,600 \text{ m}^3$ como promedio anual, en un área de 148 km^2 . Esto señala una mayor susceptibilidad del material a ser acarreado por efecto del agua, produciendo $257 \text{ m}^3/\text{km}^2$.

El material concentrado en el Río Los Zúñigas es comparativamente menor que el del Río Hondo, pero esta superficie comprende a las sierras de Vaquerías, del Rincón y parte del piedemonte; presenta fuerte pendiente, contrastes altitudinales en trayectos cortos y la presencia de diferentes rocas; respecto al uso del suelo se observa tanto agricultura como ganadería, matorrales y bosque; situación que explica el mayor transporte de material por la pendiente y la cubierta vegetal abierta. Además, es en la desembocadura de este escurrimiento y al pie de la Sierra de Vaquerías donde se desarrollan formas acumulativas.



Gráfica 2. Resumen de datos anuales de acarreo en suspensión, Río Galindo. Fuente: Boletín Hidrológico Núm. 44, SARH, 1971.



Gráfica 3. Resumen de datos anuales de acarreo en suspensión, Río La H. Fuente: Boletín Hidrológico Núm. 44, SARH, 1971.

La cantidad de material que transportan los escurrimientos provenientes de la Sierra de Vaquerías se observa en el Río Los Zúñigas, en una infraestructura para la retención de este material y evitar llegue hasta el vaso de la presa. En la fotografía 18 se identifica una acumulación de más de cinco metros de sedimentos en una represa que actualmente ya fue abierta y el material está siendo nuevamente removido.

Para el caso del Río Hondo o H el acarreo en suspensión es de $22,007 \text{ m}^3$ como promedio anual (gráfica 2), con un escurrimiento de $19'841,100 \text{ m}^3$, la superficie drenada es mayor que la anterior (215 km^2) y produce $102 \text{ m}^3/\text{km}^2$. Abarca principalmente el piedemonte; la litología es casi homogénea, resaltando la **Toba Amealco** y las lavas y brechas no diferenciadas; respecto al uso del suelo, es casi totalmente abocado a la agricultura y ganadería. En esta zona, aunque el uso del suelo favorece el acarreo, no se presenta en la proporción que en el anterior, esto debido a lo suave de la pendiente y la uniformidad litológica.



Fotografía 18. Represa para retención de azolves emplazada en el Río Los Zúñigas.

Finalmente, las superficies estables son aquellas donde los procesos anteriores no se desarrollan, presentan una cubierta vegetal uniforme y densa, la cual da una estabilidad a las laderas de pendientes fuertes y formadas por rocas sólidas.

La elaboración del mapa morfodinámico (figura 20) se basó en el mapa morfogenético, en la interpretación de fotografías aéreas y el trabajo de campo. Se definió la dinámica en cada una de las unidades, se consideró la información edafológica, de uso del suelo y de fenómenos atmosféricos, para identificar si actúan como agentes aceleradores de los procesos. Esta información se concentró en el cuadro siguiente (3). Además, en el mapa morfodinámico se incluyeron elementos complementarios de la morfología del parteaguas y de las cimas, ello con el fin de identificar el avance de la erosión y cómo se expresa en los límites y las partes más altas de la cuenca.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Cuadro 3. Unidades Morfodinámicas.

Unidad Morfogénica.	Unidad del relieve.	Unidad Morfodinámica.	Suelo.	Vegetación y uso del suelo.	Factores climáticos (temperatura-precipitación)	Influencia humana.
Coladas de lava andesíticas, expuestas.	Sierra Vaquerías.	de Laminar en suelos someros.	Litosol y vertisol pélico de textura fina.	Predomina la asociación de matorrales y presencia de cultivos de temporal.	800-700 mm. 16-14 °C.	Agrícola.
Coladas de lava andesíticas, cubiertas.	Sierra Vaquerías.	de Laminar en suelos someros.	Vertisol pélico de textura fina.	Predomina la asociación de matorrales y presencia de cultivos de temporal.	800-700 mm. 16-14 °C.	Agrícola.
Coladas de lava no diferenciada.	Domos menores de lava no diferenciada.	Laminar en suelos someros.	Vertisol pélico de textura fina y en la más cercana a la Sierra de Vaquerías feozem lúvico de textura media.	Cultivos y asociación de matorrales.	700-600 mm. 18-16 °C.	Agrícola.
	Cerro de la Estancia.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Principalmente pastizal y muy pocos cultivos.	700-600 mm. 18-16 °C.	Ganadera y agrícola.
	Del Cerro del Aire.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Pastizal natural y cultivos.	800-700 mm. 16-14 °C.	Ganadera y agrícola.
	Del Cerro del Jingo.	Laminar en suelos someros.	Vertisol pélico de textura fina.	Cultivos.	700-600 mm. 16-14 °C.	Agrícola.

Unidad Morfogenética.	Unidad del relieve.	Unidad Morfodinámica.	Suelo.	Vegetación y uso del suelo.	Factores climáticos (temperatura-precipitación)	Influencia humana.
Coladas de lava de riolitas.	Galindillo.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Bosque de encinos, pastizal inducido y cultivos.	800-700 mm. 16-14 °C.	Ganadería y agrícola.
	El Molino.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encinos y cultivos	800-700 mm. 14-12 °C.	Agrícola.
Mesas de lava	Sierra Vaquerías.	Superficies conservadas.	Litosol y feozem lúvico de textura fina.	Bosque de encino y pastizal.	800-700 mm. 16-14 °C.	Ganadera.
Mesa de ignimbrita.	Piedemonte.	Laminar en suelos someros.	Vertisol pélico de textura fina.	Cultivos.	700-600 mm. 18-16 °C.	Agrícola.
Ladera de lava de andesita.	Caldera Amealco.	Lineal.	Luvisol crómico de textura fina.	Cultivos y pastizal.	800-700 mm. 14-12 °C.	Agrícola y ganadera.
Ladera de lava de riolita con escarpes litológicos.	Sierra del Rincón.	Superficies conservadas.	Feozem háplico de textura media.	En general se observa bosque de encinos, algunos pinos en las cimas y pastizal en la parte baja.	800-700 mm. 16-12 °C.	Ganadería.
Ladera ondulada de lava de riolita.	Sierra del Rincón.	Superficies conservadas.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encinos con asociación de matorrales en la porción septentrional y un poco de pastizal.	800-700 mm. 16-14 °C.	Ganadera.
Planicie de piroclastos.	Planicie.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Cultivos con muy poco pastizal.	700-600 mm. 18-16°C.	Agrícola y ganadera.
Domos de andesita.	Sierra Vaquerías.	Laminar en suelos someros.	Litosol.	Asociación de matorrales y un pequeño rodal de bosque de encino al norte.	700-600 mm. 18-16°C.	Deforestación.
	De la porción occidental del parteaguas.	Laminar en suelos someros.	idem.	Bosque de encino y asociaciones de matorrales.	800-700 mm. 16-14 °C.	Deforestación.
	Cerros la Beata y Serrín.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encinos y pastizal.	idem.	Ganadera.

Unidad Morfogénica.	Unidad del relieve.	Unidad Morfodinámica.	Suelo.	Vegetación y uso del suelo.	Factores climáticos (temperatura-precipitación)	Influencia humana.
Domos de lava, no diferenciada.	Cerro del Aire.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Bosque de encinos y cultivos.	800-700 mm. 16-14 °C.	Agrícola.
	Elevaciones menores	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media	Asociación de matorrales y cultivos.	700-600 mm. 18-16 °C.	Agrícola.
Domos de riolita antiguos, semisepultados.	Cerro Galindillo.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Bosque de encinos, pastizal y cultivos.	800-700 mm. 16-14 °C.	Ganadera y agrícola.
	Cerro del Molino.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encino y cultivos.	800-700 mm. 14-12 °C.	Agrícola.
Domo de riolita, Caldera de Amealco.	Caldera de Amealco.	Superficies conservadas.	Cambisol crómico de textura media.	Bosque de encino-pino.	800-700 mm. 14-12 °C.	Deforestación.
Domos de riolita jóvenes, Sierra El Rincón	Sierra El Rincón.	Superficies conservadas.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encino y presencia de pinos.	800-700 mm. 14-12 °C.	Deforestación.
Volcanes de tefra.	Cerro El Jingo.	Circo, caída de rocas y lineal.	Vertisol pélico de textura fina.	Asociación de matorrales con cultivos.	700-600 mm.- 18-16°C.	Agrícola.
	Cerro La Estancia.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Asociación de matorrales.	idem.	
Estratovolcán.	Sierra de Vaquerías.	Lineal, caída de rocas y circos.	Litosol.	Matorrales, bosque de encino y muy pocos pastizales.	800-700 mm. 16.14°C.	Ganadera.
Piedemonte volcánico superior.	Piedemonte.	Laminar en suelos profundos y erosión remontante.	Feozem lúvico de textura media.	Pastizal y cultivos.	800-700 mm. 16-14°C.	Ganadera y agrícola, extracción de materiales y construcción de bordos.

Unidad Morfogenética.	Unidad del relieve.	Unidad Morfodinámica.	Suelo.	Vegetación y uso del suelo.	Factores climáticos (temperatura-precipitación)	Influencia humana.
Domos de lava, no diferenciada.	Cerro del Aire.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Bosque de encinos y cultivos.	800-700 mm. 16-14 °C.	Agrícola.
	Elevaciones menores	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media	Asociación de matorrales y cultivos.	700-600 mm. 18-16 °C.	Agrícola.
Domos de riolita antiguos, semiseptados.	Cerro Galindillo.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Bosque de encinos, pastizal y cultivos.	800-700 mm. 16-14 °C.	Ganadera y agrícola.
	Cerro del Molino.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encino y cultivos.	800-700 mm. 14-12 °C.	Agrícola.
Domo de riolita, Caldera de Amealco.	Caldera de Amealco.	Superficies conservadas.	Cambisol crómico de textura media.	Bosque de encino-pino.	800-700 mm. 14-12 °C.	Deforestación.
Domos de riolita jóvenes, Sierra El Rincón	Sierra El Rincón.	Superficies conservadas.	Feozem háplico de textura media.	Bosque de encino y presencia de pinos.	800-700 mm. 14-12 °C.	Deforestación.
Volcanes de tefra.	Cerro El Jingo.	Circo, caída de rocas y lineal.	Vertisol pélico de textura fina.	Asociación de matorrales con cultivos.	700-600 mm.- 18-16°C.	Agrícola.
	Cerro La Estancia.	Laminar en suelos someros.	Feozem háplico de textura media.	Asociación de matorrales.	ídem.	
Estratovolcán.	Sierra de Vaquerías.	Lineal, caída de rocas y circos.	Litosol.	Matorrales, bosque de encino y muy pocos pastizales.	800-700 mm. 16.14°C.	Ganadera.
Piedemonte volcánico superior.	Piedemonte.	Laminar en suelos profundos y erosión remontante.	Feozem lúvico de textura media.	Pastizal y cultivos.	800-700 mm. 16-14°C.	Ganadera y agrícola, extracción de materiales y construcción de bordos.

Unidad Morfogenética.	Unidad del relieve.	Unidad Morfodinámica.	Suelo.	Vegetación y uso del suelo.	Factores climáticos (temperatura-precipitación)	Influencia humana.
Piedemonte volcánico inferior.	Piedemonte.	Laminar en suelos someros.	Feozem lúvico de textura media.	Cultivos y pastizal.	800-700 mm. 16-14°C.	Agrícola, ganadera, extracción de materiales y construcción de bordos.
Valles erosivos mayores.	Piedemonte.	Caída de rocas y lineal.	Litosol.	Matorral y muy poco bosque de encinos.	800-600 mm. 16-14 °C.	Deforestación.
Valles erosivos menores.	Observados en toda la cuenca.	Lineal.	Se observan sobre todos tipo de suelos.	Todos los tipos de vegetación y uso del suelo.	800-600 mm. 18-14 °C.	Todos los tipos.
Abanico aluvial.	Sierra de Vaquerías.	Acumulación.	Feozem lúvico de textura media.	Cultivos.	700-600 mm. 18-16°C.	Agrícola.
Planicie aluvial.	Planicie.	Acumulación.	Feozem lúvico de textura media.	Cultivos con pastizal.	700-600 mm. 18-16°C.	Agrícola, ganadera y extracción de material.

Erosión hídrica.**Laminar.**

En suelos someros.

En suelos profundos.

Lineal.**Remontante.****Remoción en masa.****Circos.**

activos.

inactivos.

mixtos.

Acumulación.**Fluvial.****Superficies Conservadas.****Acción del hombre.****Extracción de material.****Elementos complementarios.****Cimas.**

Planas.

Redondeadas.

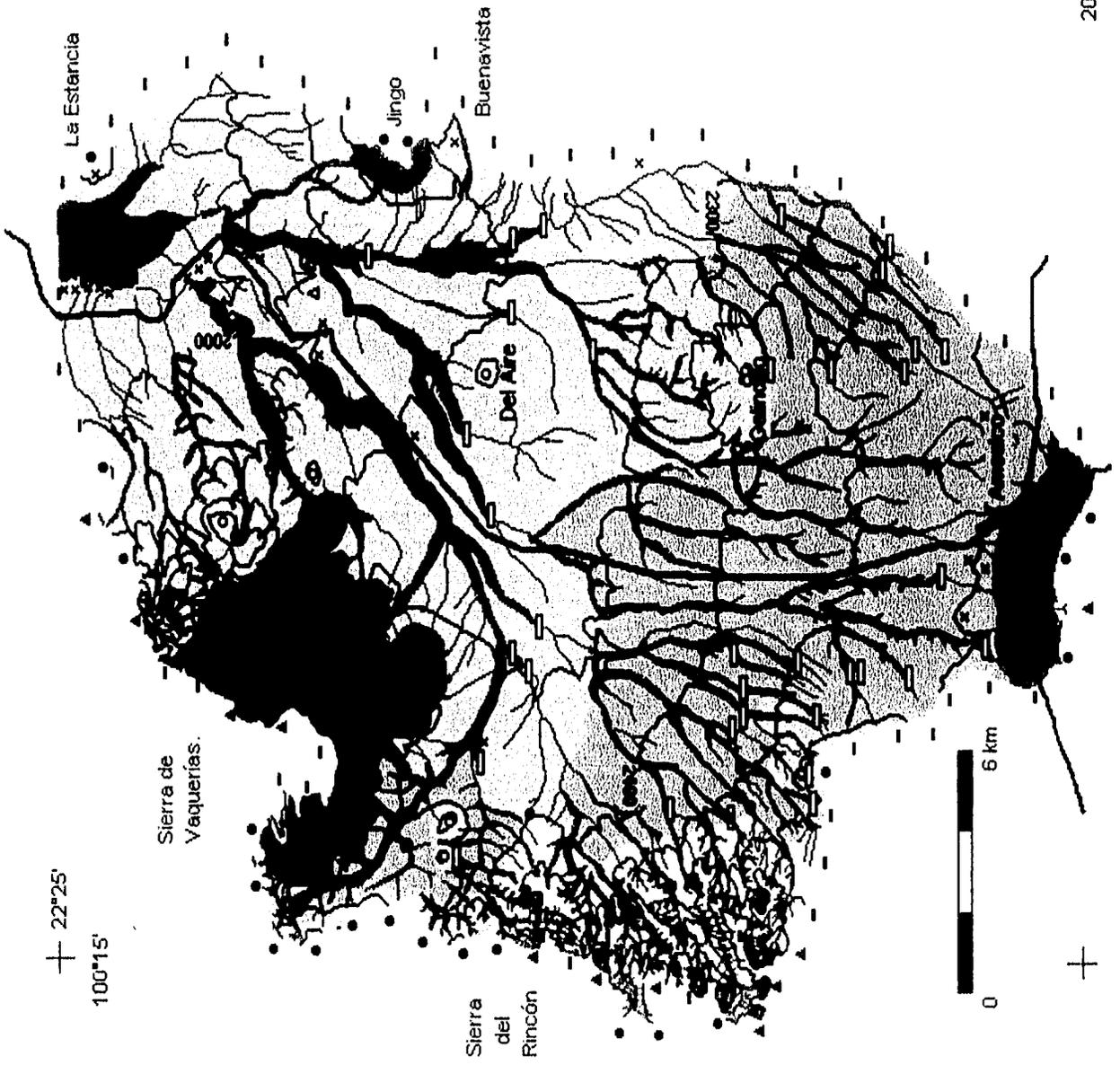
Divisoria de aguas.

Agudas.

Planas.

Redondeadas.

CUENCA DE LA PRESA
 + CONSTITUCIÓN 1917, QRO.



+ 22°25'
 100°15'

100°00'
 20°10' +

MORFODINÁMICA.

- Erosión hídrica.
 - Laminar en suelos someros.
 - Laminar en suelos profundos.
 - Lineal.
 - Remontante.
- Remoción en masa.
 - Circos activos.
 - Circos inactivos.
 - Circos mixtos.
- Acumulación.
 - Fluvial.
- Superficies conservadas.
 - Superficies conservadas.
- Acción del hombre.
 - Extracción de material.
- Elementos complementarios.
 - Cimas agudas.
 - Cimas redondeadas.
 - Divisoria de aguas aguda.
 - Divisoria de aguas planas.
 - Divisoria de aguas redondeadas.
 - Presa.
 - Manantiales.
 - Escurrimientos.
 - Curvas de nivel.
 - Población.
 - Carretera.

Tesis de Licenciatura, 1996.
 Verónica Zermeño Ortiz.
 Mapa 20.

La explicación de cada una de la unidades morfodinámicas es la siguiente:

4.4.1- Erosión hidrica.

Erosión laminar en suelos someros.

Se refiere a la remoción de partículas en distancias reducidas sin seguir una dirección bien definida por medio de escorrentía difusa; es una acción generalizada en la que no se observan surcos o arroyos, situación producida por lo delgado del suelo, la dureza de la roca, la cubierta vegetal o bien, la pendiente (fotografía 19).

En la cuenca se presentan, en general, en rocas duras: las coladas de lava no diferenciadas, los domos, el volcán de la Estancia, la planicie de piroclastos y el piedemonte (Toba Amealco). Los valores de densidad de la disección y disección total son menores a 2 km/km^2 , y la profundidad de la disección es menor a los 50 m.



Fotografía 19. Erosión laminar en suelos someros.

Erosión laminar en suelos profundos.

Es un fenómeno que se reconoce en el piedemonte volcánico superior. Es de las porciones de la cuenca que presentan un mayor espesor del suelo, del orden de un metro, con una cubierta vegetal de bosques en los valles y en el interfluvio, se presenta agricultura y ganadería. Esta última actividad es la que más afecta al piedemonte superior, por abarcar amplias superficies que son expuestas a la erosión hídrica.

Se desarrollan en los interfluvios, cárcavas de laderas cóncavas y un pequeño escarpe vertical en la porción superior (contacto del horizonte A y B del suelo) (fotografía 20). La pendiente del terreno donde nacen es inferior a 1.5°. El ancho de las cárcavas es variable, de 3-5 metros. La erosión es remontante y lateral, favorecida por un material muy deleznable (suelo feozem lúvico).



Fotografía 20. Escarpe y salto de cabecera, erosión laminar en suelos profundos.

Estas cárcavas se forman en las condiciones que señalan Palacio-Prieto (1990) y Bocco *et al.* (1991): en terreno formado por acumulación y con una morfología casi plana o suavemente ondulada, de baja pendiente, donde hay suelos relativamente profundos, de tipo luvisol; prácticas agrícolas y de pastoreo en un clima templado, con una concentración marcada de la época de lluvias y a una altitud entre los 2000 y 3000 metros.

Erosión lineal.

La erosión lineal consiste en la destrucción mecánica y alteración química de las rocas por la acción de una corriente fluvial, que a diferencia de la erosión laminar, sigue una dirección bien definida formando surcos y arroyos.

En la Sierra de Vaquerías la erosión lineal es controlada por la edad de la roca -la más antigua y muy intemperizada-, por el relieve de pendiente fuerte, la vegetación de matorral y el clima semiseco. La profundidad de disección es mayor a los 150 m, la densidad de disección de 3-4 km/km² y la disección total mayor de 5 km/km².

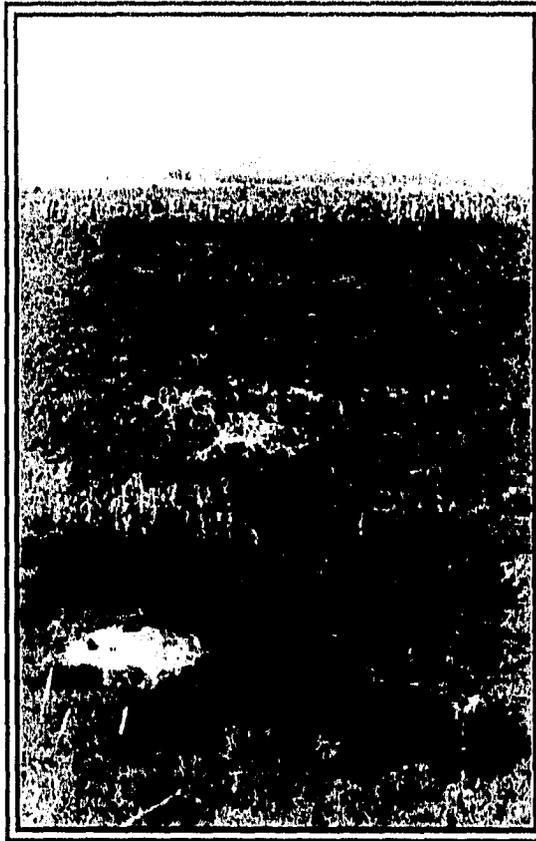
En el volcán El Jingo, las condiciones son favorables a esta acción: material no consolidado, relativamente antiguo, pendientes fuertes y una vegetación similar al anterior (fotografía 21). Aquí los valores morfométricos son bajos comparativamente con el anterior, mas la disección se realiza principalmente en la zona occidental del volcán.

En la ladera de andesita, la roca favorece el desarrollo de barrancos, a pesar de lo suave de la pendiente (6°). La densidad de la disección se incrementa ligeramente en comparación con la del piedemonte



Fotografía 21. Erosión lineal en el volcán El Jingo.

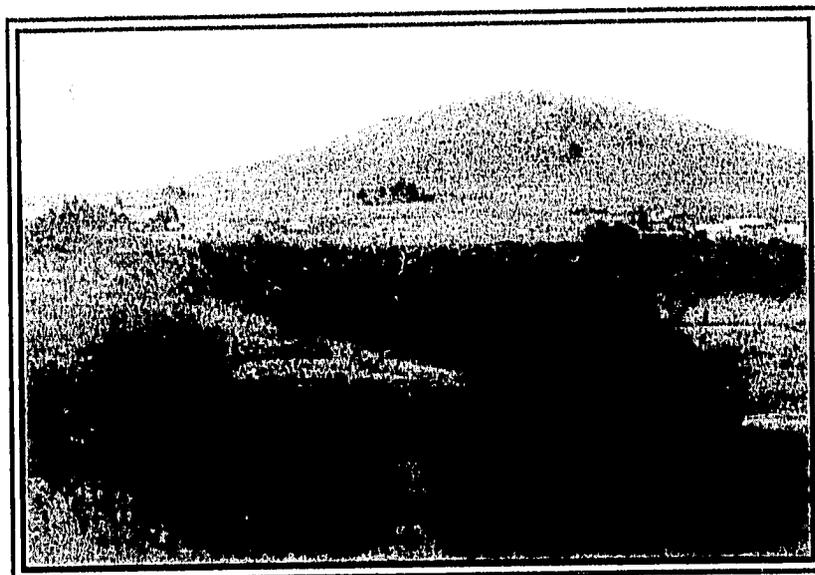
Por último, los barrancos mayores que cortan el piedemonte volcánico inferior son el mejor ejemplo de la erosión lineal. Se presentan sobre un paquete de material (Toba Amealco) donde algunas capas son duras (ignimbritas consolidadas) y otras blandas, lo que marca una diferente resistencia a la disección; sobre todo se ve acelerada después de cortar la ignimbrita superior (fotografía 22). Esta acción erosiva desarrolla pendientes mayores a los 12° en los barrancos y la profundidad de disección es mayor a los 150 m.



Fotografía 22. Erosión lineal en la Toba Amealco, Río Los Zúñigas.

Erosión remontante.

Se manifiesta en saltos de cabecera originados por alternancia litológica y se observan en los barrancos mayores de laderas escarpadas. Al igual que los pequeños escarpes de los barrancos, se desarrollan por la alternancia de capas duras y blandas, donde la ignimbrita consolidada presenta mayor resistencia a la erosión, y es donde se forma el salto, transversal a la dirección del escurrimiento (fotografía 23).



Fotografía 23. Salto de cabecera por alternancia litológica, nacimiento de barranco y Cerro El Serrín.

El salto es normalmente el inicio del barranco escarpado (**Ignimbrita Amealco III**), en su trayecto, conforme erosiona los depósitos subyacentes, encuentra las ignimbritas más antiguas (**Ignimbrita Amealco II y I**), formando hasta tres saltos en un mismo barranco. Cada salto corresponde a las ignimbritas consolidadas. Es la situación del Río Hondo, donde se observan los tres saltos de cabecera, mientras que en el cauce del Río Los Zúñigas, dos.

4.4.2- Remoción en masa.

Caída de rocas.

Es un proceso que consiste en el desprendimiento de rocas alteradas por el intemperismo físico en laderas de pendiente mayor a los 30° . Caen a desplome o por rodamiento, labrando un surco no profundo en la ladera, y al pie de éste se forma un cono de detritos. Se produce en las laderas de los barrancos profundos, en la Sierra de Vaquerías y en los volcanes de tefra. Es también parte del desarrollo de los circos de erosión.

Circos activos

Son formas cóncavas del relieve montañoso, a manera de anfiteatros con laderas empinadas, que se originan en las cabeceras de algunas corrientes fluviales por escorrentía difusa y caída de rocas. Se presentan en la parte alta de la Sierra de Vaquerías (fotografía 14) y en algunos volcanes. En las vertientes, el manto vegetal es ralo o está ausente.

Ligado a los circos se observan también escarpes erosivos en la Sierra de Vaquerías, son rectos y paralelos a los principales escurrimientos. Presentan una pendiente fuerte y no están cubiertos por vegetación o ésta es rala. Las laderas son abruptas, de altura variable. Los escarpes erosivos son el resultado de la acción denudatoria del terreno por la acción hídrica, en ocasiones son la prolongación del circo erosivo.

Circos inactivos

Se desarrollan en la parte alta de las dos sierras, siendo predominantes en la del Rincón. Corresponden al nacimiento de varios escurrimientos de primer orden, los cuales son cortos. Forman un área cóncava de pendiente fuerte, mayor a los 20 grados. Pero a diferencia de los activos, estos presentan una densa y uniforme cubierta vegetal arbórea o arbustiva (perfil H-H').

Circos mixtos

En la Sierra de Vaquerías éstos se presentan como un solo circo, donde en una o varias porciones tiene características de activo y en la otra, de inactivo. En algunos casos corresponden al control por la exposición de la ladera (perfil I-I'). La porción del circo expuesta al sur corresponde a la activa y la expuesta al norte a la inactiva. Se puede inferir que la mayor insolación y menor humedad, propicia menor desarrollo de la vegetación y mayor acción erosiva; por el contrario, a menor insolación y mayor humedad se mitiga la erosión. La vegetación es indicador de esta condición, con una cubierta uniforme en la zona inactiva.

4.4.3- Acumulación fluvial.

La acumulación es la depositación en la superficie de rocas, minerales o residuos orgánicos; se desarrolla en depresiones y zonas bajas. El espesor y material están en función del tipo de erosión. Se observan dos tipos de acumulación en la cuenca, una de aporte eventual de bastante material y otra sometida a una acción constante con bajo aporte de material.

La primera (el abanico) presenta un aporte anual de grandes volúmenes de material, por estar en la desembocadura de los escurrimientos de la Sierra de Vaquerías, zona con erosión lineal, muchos circos y caída de rocas, donde además existe un cambio importante de la pendiente (de 12° a 3°) favoreciendo la acumulación; y la segunda (la planicie), que por lo distante a las fuentes de emisión y el suave cambio de la pendiente, recibe menos material pero de forma más constante (fotografía 24).

En la misma planicie debido al constante aporte de material se observan gaviones construidos en los escurrimientos que desembocan al oeste de la carretera; esto con el fin de impedir que el material acarreado por los escurrimientos llegue a la presa y sea retenido, sin que dañe la infraestructura carretera.



Fotografía 24. Gaviones construidos en la planicie aluvial para evitar daños a la carretera.

4.4.4- Superficies Conservadas.

Se definen así aquellas que poseen una cubierta vegetal uniforme y densa, donde la erosión es mitigada. En ocasiones, a pesar de presentar una pendiente fuerte, la acción erosiva no se manifiesta y muy por el contrario, existe una tendencia a la formación del suelo (pedogénesis). Las superficies estables se observan en la Sierra del Rincón y en el domo de la Caldera de Amealco, lugares donde la temperatura es baja ($< 14^{\circ}\text{C}$) y la precipitación alta ($>700\text{ mm}$), además de no existir una marcada alteración del medio por parte del hombre. En estas zonas predomina el intemperismo químico en la superficie.

4.4.5- Acción del hombre.

Extracción de material.

Esta actividad se realiza alrededor de la presa, donde se extrae el material acumulado en la planicie y en la desembocadura de los ríos Hondo y Los Zúñigas, y también en algunos casos en los bordos o presas de azolves (fotografía 18). El material es transportado en animales o en camiones pequeños.

Las minas se observan en el piedemonte y en los volcanes menores, en ellos se extrae ignimbrita, conocida como cantera y una mayor variedad de materiales, lo mismo con maquinaria especializada con la que se realizan cortes del terreno que por métodos rudimentarios (fotografía 3).

4.4.6- Elementos complementarios.

Cimas agudas.

Son la porción más alta de una elevación, a partir de la cual disminuye la altitud en cualquier dirección. Las de forma triangular pueden corresponder a un relieve antiguo o con fuerte erosión. Se observan en la Sierra de Vaquerías, en los volcanes semisepultados en el piedemonte inferior y en el domo riolítico de la Cruz (perfil I-I').

Cimas planas.

Las cimas planas están determinadas por rocas con disposición tabular, sin una erosión lineal importante y con predominio de erosión laminar. Aparecen únicamente en las mesas de lava, mismas que definen el parteaguas (fotografía 8).

Cimas redondeadas

Son de forma convexa, producida por el tipo de litología o por la acción del intemperismo. Corresponde generalmente a los domos y algunos volcanes de material intermedio a ácido (perfil H-H'; fotografía 8). En ellos se desarrolla una erosión laminar en suelos someros, controlada por la dureza de la roca.

Divisorias de aguas, agudas.

La divisoria interfluvial de forma triangular es originada por la naturaleza de las rocas o bien por el modelado hídrico. Corresponde a rocas muy resistentes a la remoción, o bien cuando los escurrimientos han modelado la divisoria de aguas formando aristas (fotografía 13). Se presenta en la Sierra de Vaquerías en el volcán destruido y en la Sierra del Rincón.

En la primera corresponde con los estratos del volcán poligenético, donde la diferente resistencia de las capas, produce un parteaguas en aristas pero asimétrico; generalmente la ladera sur es la más escarpada y la norte más suave. En estas zonas se desarrolla una erosión remontante muy activa, porque presenta pendientes fuertes (perfil I-I').

Divisorias de aguas, planas.

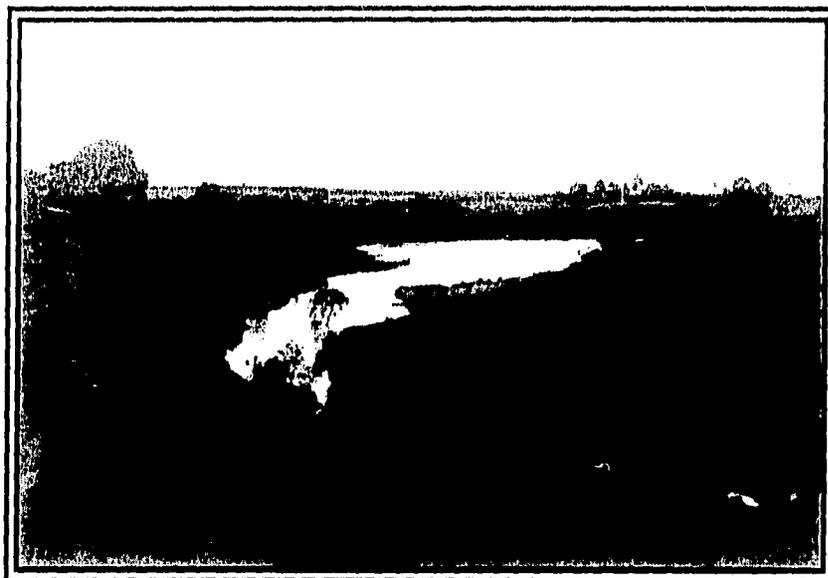
Abarca principalmente las porciones donde el parteaguas se desarrolla sobre el piedemonte, coladas, planicies y mesas. La forma rectangular se presenta en superficies planas y puede ser originada por procesos de acumulación o por derrames lávicos o volcanoclásticos; o bien por aplanamiento del terreno por denudación, donde la roca no constituye un factor condicionante de la forma.

Se reconoce en la **Toba Amealco**, depósito que rellenó y niveló el terreno, semiseppultando las elevaciones menores y rodeando a las mayores, lo cual dio por resultado una superficie de pendiente muy suave, ligeramente convexa. Actualmente hay una erosión laminar en estas superficies y laderas abajo se produce una concentración del escurrimiento para convertirse en erosión lineal o concentrada (fotografía 22).

Divisorias de aguas, redondeadas.

Se presentan sobre los domos, el borde de la caldera, las coladas de la Sierra del Rincón y Vaquerías, y volcanes. Corresponde a una etapa de transición entre los anteriores. En otro caso puede estar ligado a la naturaleza de la roca que formó el relieve (fotografía 6).

En otro aspecto, cabe mencionar que en la cuenca se observan más de 70 bordos cuya finalidad es retener el agua de las corrientes temporales, predominan en el piedemonte debido a que es aquí donde se realiza la mayor actividad agrícola y ganadera. El agua es posteriormente empleada para el riego o como abrevaderos (fotografía 25). Este tipo de infraestructura no se marcó en el mapa, mas representa una modificación antrópica al cauce y escurrimientos, además de captar el material arrastrado por estos e impidiendo que el sedimento continúe siendo transportado y llegue hasta la planicie aluvial.



Fotografía 25. Bordo construido en el piedemonte superior.

5- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La caldera de Amealco.- La porción que corresponde a la cuenca, es un fragmento del domo riolítico interior y el anillo de la caldera, la ladera de andesita. En el domo no se presenta erosión laminar, por la cubierta vegetal densa. En la segunda se inicia una erosión lineal, ocasionada por la pendiente y el tipo de roca; por otra parte, también se desarrolla una erosión laminar debido a la actividad agrícola y ganadera, situación que aunada a la pendiente del terreno, acelera el proceso; el suelo de esta zona es muy característico, luvisol, y responde directamente a la altura y clima templado de la caldera.

Las cimas menores.- Corresponden a un relieve de planicie de piroclastos, domos, volcanes y coladas de composición intermedia y riolítica. Presentan diferentes morfologías, dimensiones y pendientes. Todos son anteriores al evento eruptivo de la Caldera de Amealco y algunos se encuentran semisepultados por la toba, en especial los más cercanos a la caldera. La mayoría de ellos están constituidos por material resistente y se presenta una erosión laminar en suelos someros; el volcán El Jingo es la única unidad donde se observa erosión lineal, caída de rocas y circos erosivos, esto debido al material que lo forma, tefra, y lo fuerte de la pendiente.

El piedemonte.- Es la unidad más extensa, cubre más de la mitad de la cuenca y presenta una dinámica distinta, tanto en el nivel superior como el inferior. En el superior, hay desarrollo de erosión laminar en suelos profundos, acción debida a la actividad agrícola y ganadera. Además de la remoción del material edáfico, se produce una erosión remontante en las cabeceras de los barrancos, identificados como saltos de cabecera en casi todos los escurrimientos, condición de la toba, alternancia de estratos consolidados y no consolidados. Estos barrancos muestran, en general, una profundidad menor a los 40 metros y pierden su acción erosiva vertical en el piedemonte inferior; en ellos se origina una vegetación de encinos muy abierta en litosoles.

En el piedemonte inferior se presenta una erosión laminar en suelos someros, aquí los barrancos menores de la porción superior se vuelven escurrimientos donde sólo se observa el talweg, y disminuye el número de escurrimientos; el estrato edáfico es muy delgado, en ocasiones quedando expuesta la roca. La erosión remontante se presenta en cabeceras y en los saltos intermedios en el cauce del barranco. La acción del hombre es de gran peso, se desarrolla una agricultura y ganadería que provoca la pérdida del suelo, además se observa la extracción de material en diferentes minas, y la modificación del régimen fluvial por la construcción de gaviones para retener azolves y de bordos; éstos no presentan problemas de infiltración, lo que refleja la impermeabilidad de la roca. Por otra parte, destacan los barrancos mayores con laderas escarpadas muy profundas, > 150 metros, son estrechos, con pendientes fuertes que propician la caída de rocas; se observa una vegetación muy abierta y no hay desarrollo de suelo

Sierra del Rincón.- Formada por domos y laderas riolíticas, es el relieve volcánico más joven de la cuenca. Es la zona mejor conservada, ya que mantiene la cubierta vegetal original (encino y pino). La sierra aunque presenta una pendiente fuerte y la más alta densidad de disección, no muestra una erosión acentuada, lo mismo que los circos son inactivos. El suelo, feozem, es de espesor de más de un metro, reflejo de su conservación, ya que la agricultura, ganadería y deforestación no han afectado mucho la sierra.

Sierra de Vaquerías.- Es el relieve más antiguo, complejo y con gran desarrollo erosivo lineal, constituido por rocas intermedias (basalto-andesita), expresado en un estratovolcán, mesas, domos, coladas expuestas y cubiertas por piroclastos. En el estratovolcán se desarrolla la mayor profundidad de disección y disección total, con erosión lineal, caída de roca, circos erosivos activos y escarpes. Esta situación es debida por una parte a la constitución geológica del estratovolcán, una secuencia de capas con diferente resistencia a la erosión, a la fuerte pendiente y lo abierto de la vegetación, lo que facilita la erosión y el acarreo de material; como consecuencia, no existe desarrollo de suelo. Las mesas, de pequeñas dimensiones al sureste del estratovolcán, son las únicas superficies conservadas, por la cubierta arbórea y lo plano del terreno. En la porción norte de la sierra están las coladas y los domos, en ambos la erosión es laminar en suelos someros; en las primeras influye el tipo de roca y lo plano de la superficie, su condición de cubiertas o expuestas no diferencia esta dinámica, y los segundos por ser estructuras sólidas. Además de estas unidades, al noreste de la sierra se identifica un abanico aluvial, es de las formas más recientes, junto con la planicie; se prolonga de oeste a este hacia la planicie, la pendiente es baja en la porción superior y disminuye conforme se aleja del vértice, recibe material únicamente del centro de la sierra, por lo que evidencia una importante dinámica erosiva y de acarreo de material.

Planicie.- bordea a la presa y corresponde al nivel de base local de la cuenca, es una superficie plana y reducida que recibe el aporte de agua y material de todos los escurrimientos de la cuenca. Esta unidad está sometida al aporte de sedimentos acarreados por los escurrimientos durante la época de lluvias; éstos se depositan después de fluir por los barrancos profundos. El suelo es un feozem empleado para la agricultura y ganadería, la extracción de arena se observa en la desembocadura de los ríos.

5.1- APLICACIONES.

El estudio realizado en la cuenca de la Presa Constitución 1917, el cual se ha expuesto en una serie de mapas temáticos y un texto, permite definir las aplicaciones prácticas del mismo.

Respecto a la vida útil de la presa, en el trabajo de campo se reconoció que hay arroyos donde el transporte de sedimentos es insignificante, ya que escurren sobre roca volcánica dura y poco alterada. Otros en cambio, están saturados de sedimentos, como el Arroyo Los Zúñigas que recibe una buena cantidad de detritos provenientes de las zonas de cárcavas y la Sierra de Vaquerías. Por esto, tiene una infraestructura para la retención de material, por medio de una presa y gaviones. Estas obras pueden extenderse a la sierra para retenerlo en la zona de origen. En cambio el Arroyo Hondo tiene gaviones y bordos donde es capturado el material fino en remoción.

En cuanto a la erosión laminar en suelos profundos, que se desarrolla principalmente en la parte superior de la cuenca, es donde debe evitarse esta pérdida del suelo mediante el manejo adecuado del mismo. En las superficies conservadas no se observa un deterioro, mas es importante preservarlas por ser las únicas zonas con vegetación original; esto puede llevarse a cabo planeando el uso y aprovechamiento de la zona en función de las necesidades de la población que alberga.

A partir de este primer análisis de la cuenca se puede continuar con trabajos de tipo paisajista o de manejo integral de la cuenca, donde se manejen aspectos edafológicos, agrológicos y forestales.

Los mapas temáticos elaborados son de gran utilidad para la planificación de vías de comunicación, ya que representan rasgos del relieve que se toman en cuenta en la construcción de vías de ferrocarril o carretera. En estos casos es importante la pendiente durante la planificación. El mapa morfogenético muestra formas favorables como mesas y piedemonte; asimismo los desfavorables, cañones. El mapa de morfodinámica permite comprender qué procesos pueden afectar a una obra, lo que tiene relación con el mantenimiento de la misma.

En sí, los mapas temáticos son una herramienta valiosa en la planificación y toma de decisiones, ya que, en primer lugar, permiten reconocer localidades recomendables, por ejemplo, para la construcción de presas y bordos; trazo de vías de comunicación, extracción de material para la construcción, un recomendable uso del suelo y otros aspectos que en apariencia no tienen aplicación en la zona estudiada, como la búsqueda de yacimientos minerales. En segundo lugar, la cartografía se utiliza para definir localidades a ser estudiadas con más detalle, de esta manera se pasa de una escala a otra, siempre más grande, procedimiento universal en el estudio del relieve.

Además, algunas partes de la cuenca pueden ser aprovechadas como áreas de esparcimiento por su buen estado de conservación y debido al atractivo visual que ofrecen los barrancos, por sus paredes verticales altas, que permiten practicar el descenso con cuerdas. Estas zonas se pueden incluir como atractivo turístico en el estado, estableciendo miradores y zonas de campamento; además que le favorece su ubicación, fácil acceso y cercanía a las ciudades de Querétaro y México.

6- CONCLUSIONES.

El relieve de la cuenca de la Presa Constitución 1917 presenta una diversidad de formas de origen volcánico, modeladas por procesos erosivos y acumulativos. El tipo de roca, la edad, la forma que presentan, la vegetación y el uso del suelo influyen directamente en los procesos actuales.

La erosión desarrollada es predominantemente de tipo hídrico y de remoción en masa. De la primera, la erosión laminar en suelos someros es predominante en la cuenca, se observa en las elevaciones menores, la caldera y la porción inferior del piedemonte, dicha erosión es aportadora de material, pero en menor grado comparado con la erosión lineal. La superficie con mayor erosión lineal es la Sierra de Vaquerías, donde el acarreo de material es abundante y se forma un abanico aluvial al pie de la unidad. Los barrancos producto de este proceso son de dos tipos: unos cortos, de laderas suaves y someros, denominados menores; y otros largos, de laderas escarpadas y profundos, los mayores. La remoción en masa se presenta como caída de rocas en escarpes y circos erosivos, unos activos y otros inactivos, condicionados por la exposición de ladera y la cubierta vegetal.

El abanico y la planicie aluvial son las formas principales acumulativas de la cuenca, cubren una superficie pequeña y están muy cercanos a la presa. El primero recibe únicamente material de la Sierra de Vaquerías, de la cual está muy cercano; y la segunda capta material de toda la cuenca, constituyendo el nivel de base local.

Las superficies conservadas con una densa cubierta vegetal, son muy escasas y se restringen, prácticamente, a la Sierra del Rincón, la cimbras de la caldera y las mesetas de la Sierra de Vaquerías, es decir, zonas con muy poco impacto antrópico. La primera es la más extensa y las otras muy pequeñas, son de pendiente fuerte pero no realizan un aporte importante de material, puesto que no se observa acumulación de material al pie de ellas, al disminuir la pendiente.

La influencia humana es más evidente en el piedemonte y la planicie, se refleja en la erosión hídrica en suelos profundos y la extracción de materiales. La erosión hídrica se observa en una superficie muy extensa, de actividad agrícola y ganadera, donde se conserva todavía un estrato edáfico, pero afectado y que tiende a desaparecer. La extracción de material no representa un problema mayor, por ser una actividad que afecta zonas muy localizadas. Por otra parte, se observan bordos, infraestructura que modifica los valles y el volumen de captación de la presa, al retener el agua de los escurrimientos y los sedimentos, mismos que disminuyen en volumen e impide el azolve de la misma presa.

La cuenca de la Presa Constitución 1917 no presenta la misma acción fluvial en toda su superficie. De las dos subcuencas identificadas, la del Río Hondo muestra menor acarreo de sedimentos, $102 \text{ m}^3/\text{km}^2$; mientras que en la del Río Los

Zúñigas es de $257 \text{ m}^3/\text{km}^2$. Esto es ocasionado por la susceptibilidad del material a ser acarreado debido al tipo de roca, la pendiente, el suelo y el uso del suelo.

Para la subcuenca del Río Hondo la susceptibilidad del material al ser acarreado es menor por presentar una litología casi uniforme, predomina la **Toba Amealco**, la pendiente es suave sin contrastes altitudinales, siendo el piedemonte la unidad predominante, la presencia del suelo feozem es clara y el uso del suelo es agrícola y ganadero.

En la subcuenca del Río Los Zúñigas la susceptibilidad es mayor debido a lo variado de la litología, además de coincidir con las rocas más antiguas (Sierra de Vaquerías), la pendiente es fuerte con marcados contrastes altitudinales en trayectos cortos, ya que comprende las sierras, edafológicamente resalta la presencia de los litosoles y el uso del suelo es diverso: matorrales, agricultura, ganadería y bosques. Este acarreo de material se refleja claramente en la presencia de formas acumulativas, tal es que el abanico está al pie de la Sierra de Vaquerías en la subcuenca del Río los Zúñigas, mientras que la planicie aluvial está influenciada por ambos ríos.

De lo anterior, se considera que la presa Constitución 1917 está más expuesta a recibir azolves por parte del Río Los Zúñigas que del Hondo, por ello es necesario prestar más atención a la porción occidental de la cuenca y realizar acciones encaminadas a corregir y amortiguar esta acción hídrica, que a su vez es acelerada por la actividad humana (agricultura, ganadería y deforestación).

Respecto al volumen de agua que escurre en la cuenca, se observa una pequeña diferencia en las dos subcuencas, a pesar de que ambas están controladas por las mismas condiciones climáticas. El gasto del Río Hondo es de $0.629 \text{ m}^3/\text{seg}$ y en el Río Los Zúñigas es de $0.558 \text{ m}^3/\text{seg}$. En la subcuenca del primero, además de ser la del mayor gasto, existe una mayor presencia de bordos que retienen el agua de los arroyos, lo que implica que el gasto sería aun mayor de no existir dicha infraestructura. Por otra parte, en el Río Los Zúñigas el gasto es comparativamente menor, a pesar de ser aquí donde se observan las zonas más altas, las sierras, elevaciones que en ocasiones llegan a favorecer la precipitación.

Los mapas geomorfológicos elaborados pueden ser empleados posteriormente en estudios comparativos con otras zonas de similares características, tomando en cuenta el tipo de roca, la edafología, las condiciones climáticas y el uso del suelo, reflejado en las formas resultantes por la interacción de los anteriores factores. Esto con el fin de identificar que factor está determinando el modelado del relieve.

La elaboración de los mapas finales y la definición de las unidades geomorfológicas para los mapas morfogenético y morfodinámico, estuvo principalmente basada en la litología de la cuenca y las formas del relieve. En análisis posteriores, el estudiar más la correlación que existe entre los diferentes mapas, puede mostrar resultados diferentes de la conjugación de la información con que ya se cuenta, especialmente sobre el manejo y uso del suelo que

actualmente se desarrolla. Tal como la elaboración de mapas de susceptibilidad o con riesgo de erosión, en este punto el tener los datos en el sistema de información geográfica facilitará el procesamiento, además de la elaboración de los nuevos mapas.

Los estudios posteriores que se pueden derivar de esta tesis, son en la línea paisajística o de manejo de cuencas, abordando aspectos más detallados de los tipos de suelos, sus condiciones de formación y a su vez la vegetación o uso del suelo más idóneo en función de sus características. Considerando las actividades económicas de la población que utiliza ese recurso. Estos estudios debiéndose realizar a una escala mayor, con mediciones en campo.

BIBLIOGRAFÍA.

Aguirre-Díaz, G. J., 1993a. *El Comal: el último episodio del complejo volcánico de la caldera de Amealco, Querétaro-Michoacán. 50 años del volcán Parícutín. Reunión Internacional Conmemorativa.* Uruapan, Programas y Resúmenes, Michoacán, Febrero 18-20, s/n p.

Aguirre-Díaz, G. J., 1993b. **The Amealco caldera, Querétaro, México; geology, geochronology, geochemistry, and comparison with other silicic centers of the Mexican Volcanic Belt.** University of Texas at Austin, disertación doctoral, Austin, Texas, 401 p. (inédita).

Anguita, F., S.P. Verma, L. García-Camacho, M. Milán y D. Samaniego-M., 1991. *Mazahua: una nueva caldera en el Cinturón Volcánico Mexicano*, **Geofísica Internacional**, Vol. 30, Núm. 3, pp. 135-148.

Bashenina, N.V., J. E. Gellert, F. Joly y E. Klimaszewski, 1975. *Leyenda unificada para cartas geomorfológicas de detalle*, en **La cartografía geomorfológica en escalas grandes**, Editorial MGU, Moscú (en ruso), pp. 18-68.

Bloom, A. L., 1991. **A systematic analysis of late Cenozoic Landforms.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 532 p.

Bocco, G., 1984. *Cartografía geomorfológica del Bajío y porciones adyacentes 1:250,000.* Universidad Nacional Autónoma de México, **Instituto de Geografía, Boletín**, Núm. 14, pp. 9-42.

Bocco, G., J. L. Palacio-Prieto y C. R. Valenzuela, 1991. *Erosión en cárcavas en el Sistema Neovolcánico Transmexicano. Un modelo utilizando percepción remota, sistemas de información geográfica y análisis geomorfológico.* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, **Investigaciones Geográficas, Boletín**, Núm. 22, pp. 1-24.

Cooke R. U. and J. C. Doornkamp, 1990. **Geomorphology in Environmental Management.** Oxford University Press, 410 p.

COPLADEQ, (sin fecha). **Programa Estatal de Ecología.** Gobierno Constitucional del Estado de Querétaro, 1ra. edición, México, 120 p.

Coque, R., 1984. **Geomorfología.** Alianza Universitaria, Textos, Madrid, 475 p.

Córdova-Fernández de Arteaga, C., 1988. **Cartografía geomorfológica en escala pequeña del occidente de la República Mexicana.** Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis profesional, México, D. F., 127 p.

Demant, A., R. Mauvois y L. Silva, 1976. *El Eje Neovolcánico Transmexicano. III Congreso Latinoamericano de Geología, Excursión No. 4*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 26 p.

Demant, A., 1978. **Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación**. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, *Revista*, Vol. 2, Núm 2, pp. 172-187.

Derruau, M., 1970. **Geomorfología**. Ariel, Barcelona, 442 p.

García, E., 1988. **Modificaciones al sistema de clasificación de climas de la República Mexicana**. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 246 p.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1981. **Guías para la Interpretación de Cartografía. Edafología**. México, 48 p.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1984. **Geología de la República Mexicana**. México, 88 p.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1986. **Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Querétaro**. México, 143 p.

International Geographical Union, 1978. **Guide to medium scale geomorphological mapping. Commission on Geomorphological Survey and Mapping**. Demek, J. y C. Embleton Editors, Brno, 348 p.

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 1993. **The Integrated Land and Water Information System. User's Manual, Version 1.3**. Second Edition, April, 1992, Volúmenes 1 and 2, Enschede, The Netherlands, 297 p.

Joly, F., 1979. **La Cartografía**. Colección Elcano, **La geografía y sus problemas**. Editorial Ariel, Barcelona-Caracas-México, 280 p.

Kirkby, M. J. y R. P. C. Morgan, 1984. **Erosión de suelos**. Limusa, México, 375 p.

Lugo-Hubp, J. I., M. A. Ortiz-P, J. L. Palacio-P y G. Bocco-V, 1985. **Las zonas más activas en el Cinturón Volcánico Mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala)**. **Geofísica Internacional**, Volumen especial sobre el Cinturón Volcánico Mexicano, Parte 1 Ed. S. P. Verma, Vol. 24-1, pp. 83-96.

- Lugo-Hubp, J. I., 1986. *Los métodos geomorfológicos*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. **Revista de Geografía**, Vol. 1, Núm. 1, pp. 13-26.
- Lugo-Hubp, J., 1989. **Diccionario Geomorfológico**. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 337 p.
- Lugo-Hubp, J. I., 1990. *El Relieve de la República Mexicana*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, **Revista**, Vol 9, Núm. 1, pp. 82-107.
- Lugo-Hubp, J. I., 1991. **Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos)**. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 109 p.
- Lugo-Hubp, J., F. Mooser, A. Pérez-Vega y J. J. Zamorano-Orozco, 1994. *Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D.F.* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, **Revista**, Vol. 11, Núm. 1, pp. 43-52.
- Martínez-Reyes, J. y Á. F. Nieto-Samaniego, 1990. *Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, **Revista**, Vol. 9, Núm 1, pp. 33-50.
- Milan, M., C. Yáñez, Y. Navarro-L, S. P. Verma y G. Carrasco-Núñez, 1993. *Geología y geoquímica de elementos mayores de la Caldera de Huichapan*, Hidalgo, México. **Geofísica Internacional**, Vol. 32, Núm. 2, pp. 261-276.
- Milanovski, E. E., 1979. *Condiciones de yacimientos de las rocas volcánicas*. En: V. V. Belousov, **Geología estructural**, Cap 8, pp. 128-164. Editorial Mir, Moscú, 303 p.
- Ortiz-Pérez, M. A., 1990. *Perfiles Geomorfológicos Complejos, Serie Varia*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. 1, Núm 12, 46 p.
- Palacio-Prieto, J. L., 1990. *Determinación de áreas de erosión potencial en cárcavas: un ejemplo en el centro de México*. **Investigaciones Geográficas**. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, **Boletín**, Núm. 21, pp. 45-54.
- Palacio-Prieto, J. L. y L. Luna-González, 1993. **Sistemas de información Geográfica. Introducción al Manejo del Integrated Land and Water Managenet Information System (ILWIS). Versión 1.3**. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 65 p.

Ramírez-Herrera, M. T., 1994. **Tectonic Geomorphology of the Acambay graben, Central Mexican Volcan Belt.** Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Edinburgh, United Kingdom, 244 p.

Reyna, T., 1970. *Aspectos climáticos del estado de Querétaro.* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, **Boletín**, Vol. 3, pp. 96-102.

Rice, R. J., 1977. **Fundamentals of Geomorphology.** Longman, London and New York, 387 p.

Sanchez-Rubio, G., 1984. **Cenozoic volcanism in the Toluca-Amealco region, central Mexico.** Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, The University of London, February, 147 p.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1971. *Región Hidrológica No. 26 Parcial Alto Pánuco. Cuenca río San Juan.* Tomo 1, **Boletín Hidrológico No. 44**, México, 396 p.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1983. **Inventario de áreas erosionadas en el estado de Querétaro.** Subsecretaría de Agricultura Y Operación. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, México, 45 p.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1981. **Inventario de áreas erosionadas en el estado de Querétaro.** Subsecretaría de Agricultura Y Operación. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, México, 39 p.

Soto, C. y E. Jauregui, 1970. *Frecuencia y distribución de algunos elementos del estado de Querétaro.* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. **Boletín**, Vol. 3, pp. 103-133.

Spiridonov, A. I., 1981. **Principios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico.** Tomos I y II, Universidad de La Habana, 486 p.

Summerfield, M. A., 1991. **Global Geomorphology. An introduction to the study of landforms.** Longman Scientific & Technical, New York, 537 p.

Suter, M., G. Aguirre, C. Siebe, O. Quintero y J. C. Komorowki, 1991. *Volcanism and Active Faulting in the Central Part of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico.* In **Geological Excursions in Southern California and México.** Department of Geological Sciences, Walawender J. M. and B. B. Hanan Editors, San Diego California, October 21-24, pp. 224-242.

Thornbury, W. D., 1969. **Principles of Geomorphology.** John Wiley & Sons, New York, 594 p.

Tricart, J. y Kilian, 1982. **La Eco-Geografía y la Ordenación del Medio Natural**. Editorial Anagrama, Serie **Elementos Críticos**, Núm 22, Barcelona, 288 p.

Tricart, J., 1992. *La cuenca lacustre de Zacapu: un acercamiento geomorfológico*. En: D. Michelet (coordinador): **El proyecto Michoacán 1983-1987. Cuaderno de Estudios Michoacanos**, Núm. 4, CEMCA, México, pp. 113-197 (mapa anexo).

Verstappen, H. Th., 1964. *Manual de Fotointerpretación*. Tomo VII *Fotografías aéreas en geología y geomorfología*, Capítulo VII.I (Fasc.1) **Elementos de fotogeología/geomorfología**. Instituto Internacional para Relavamiento Aereo y Ciencias Terrestres (ITC), Países Bajos, 53 p.

CARTOGRAFÍA

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1973. **Carta Edafológica Amealco**, escala 1:50000 (F-14-C-86), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1982. **Carta Edafológica La Estancia**, 1:50000 (F-14-C-76), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1978. **Carta Uso del suelo Amealco**, 1:50000 (F-14-C-86), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1982. **Carta Uso del suelo La Estancia**, 1:50000 (F-14-C-76), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1974. **Carta Geológica Amealco** 1:50000 (F-14-C-86), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1979. **Carta Geológica La Estancia**, 1:50000 (F-14-C-76), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1973. **Carta Topográfica Amealco**, 1:50000 (F-14-C-86), México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1973. **Carta Topográfica La Estancia**, 1:50000 (F-14-C-86), México.

Quiñones, 1984 en mapa: Universidad Nacional Autónoma de México, 1990. **Atlas Nacional de México**, Instituto de Geografía, Tomo 2, (V.10.1).

Raisz, 1964 en mapa: Universidad Nacional Autónoma de México, 1990. **Atlas Nacional de México**, Instituto de Geografía, Tomo 2, (V.10.1).

