

40



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

"EVALUACION DE LA EROSION EN LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO, ESTADOS DE HIDALGO, PUEBLA Y TLAXCALA, MEXICO".



T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A :
JOSE E. ^{leuterio} RUIZ GONZALEZ



281839

MEXICO, D. F.

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

AGOSTO DEL 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres
Alfonso Ruiz y Dolores González
Por su apoyo incondicional, su esfuerzo, su ejemplo,
por todo. G r a c i a s.

A mis hermanos
Irene, Alfonso, Juana y Alejandra
Por todas la vivencias buenas y malas.

A Aída Orozco Ríos
Por su apoyo, amistad y cariño.

A mis compañeros y maestros
Quienes directa e indirectamente contribuyeron a la
culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rafael Huizar Alvarez
Por todas las facilidades prestadas para la elaboración de esta tesis.

A los sinodales
Dra. Laura E. Maderey Rascón
Dra. Martha Cervantes Ramírez
Dr. José I. Lugo Hubp
Mtro. Víctor Manuel Martínez Luna
Por sus comentarios, observaciones y sugerencias que contribuyeron a mejorar el trabajo final.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) IN107996 por haber financiado parte de esta investigación, la cual formó parte del proyecto Evaluación hidrogeológica y ambiental de la subcuenca de Tecocomulco, proyecto del Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología, UNAM.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Marco de referencia	6
1.5.1. Estudios precedentes	6
1.5.2. Marco teórico	7
1.6. Metodología	14
CAPITULO 2	17
Marco Regional	
2.1. Localización del área de estudio	17
2.1.1. Vías de acceso	19
2.2. Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM)	19
2.3. Cuenca de México	20
2.3.1. Morfología	21
2.3.2. Hidrografía	23
2.3.3. Geología general	25
2.3.4. Estratigrafía	25
2.3.5. Geología estructural	29
CAPITULO 3	31
Subcuenca de Tecocomulco	
3.1. Medio físico	31
3.1.1. Topografía	31
3.1.2. Geología	33
3.1.2.1. Estratigrafía	33
3.1.2.2. Geología estructural	37
3.1.3. Hidrología	38
3.1.3.1. Análisis de la cuenca	41
3.1.3.2. Patrón de drenaje	42
3.1.4. Laguna de Tecocomulco	43
3.1.4.1. Características	43
3.1.4.2. Flora y fauna	46
3.1.4.2.1. Flora	46
3.1.4.2.2. Fauna	48
3.1.5. Clima	50
3.1.5.1. Temperatura y precipitación	53
3.1.5.2. Evaporación y evapotranspiración	55
3.1.5.3. Escurrimiento	59

3.1.6. Edafología y vegetación	61
3.2. Medio social.	68
3.2.1. Antecedentes y evolución histórica	68
3.2.2. Crecimiento.	70
3.2.3. Distribución.	73
3.2.4. Actividades económicas y uso de suelo.	74
CAPITULO 4	76
Geomorfología	
4.1. Morfometría	76
4.1.1. Altimetría.	76
4.1.2. Pendientes	81
4.1.3. Amplitud del relieve.	82
4.1.4. Clasificación de ordenes de corrientes.	84
4.2. Unidades geomorfológicas.	89
4.3. Morfogénesis	91
4.4. Morfodinámica.	95
CAPITULO 5	99
Perdida de suelo	
5.1. Simulación de la erosión en la subcuenca de Tecocomulco.	101
5.1.1. Antecedentes de los modelos de pérdida de suelo	101
5.1.2. Modelo Julien-Frenette.	104
5.1.2.1. Fundamentos teóricos.	105
5.1.2.2. Aplicación	108
5.1.2.3. Resultados	110
5.2. Erosión en la subcuenca de Tecocomulco.	112
5.2.1. Medición y comprobación de campo.	112
5.2.2. Resultados	114
5.3. Discusión	117
CAPITULO 6.	121
Control de la erosión y recuperación de suelo	
6.1. Usos y riesgos del suelo.	121
6.2. Recomendaciones y sugerencias	123
6.2.1. Prácticas mecánicas	124
6.2.2. Prácticas vegetativas.	133
6.3. Conclusiones	140
ANEXOS.	144
GLOSARIO.	148
BIBLIOGRAFIA	153
CARTOGRAFIA	162
FOTOS AEREAS.	163

INDICE DE CUADROS Y TABLA

Cuadro 1. Vegetación acuática de la laguna de Tecocomulco	48
Cuadro 2. Datos de temperatura media mensual y media anual en °C. y precipitación media mensual y media anual en mm.	51
Cuadro 3. Evapotranspiración anual en la subcuenca de Tecocomulco, según Birkle et al., (1995) con ampliación del autor	56
Cuadro 4. Evaporación anual, evapotranspiración potencial anual y evapotranspiración real anual en la subcuenca de Tecocomulco	57
Cuadro 5. Relación precipitación-escorrentamiento en la subcuenca de Tecocomulco.	60
Cuadro 6 (a-b-c). Crecimiento de la población en la subcuenca de Tecocomulco.	71
Cuadro 7. Distribución de la población en la subcuenca de Tecocomulco	73
Cuadro 8. Superficie en km ² de los pisos altimétricos de la subcuenca de Tecocomulco.	77
Cuadro 9. Distribución de Corrientes por Número de Orden	86
Cuadro 10. Pérdida probable de suelo a partir de la pendiente en porcentaje	107
Cuadro 11. Valores finales de pérdida de suelo y depósito de sedimento en las fichas de observación	114
Cuadro 12. Cantidad total y anual de suelo erosionado	115
Cuadro 13. Volumen y peso total y anual de suelo erosionado	116
Cuadro 14. Sedimentación total y anual en el área aluvial y lacustre	116
Cuadro 15. Síntesis general de la subcuenca de Tecocomulco.	119
Cuadro 16. Cambio del volumen del suelo por su reacomodo	127
Cuadro 17. Prácticas vegetativas recomendadas según la clase del terreno	134
Tabla 1. Tabla estratigráfica que muestra las diferentes terminologías usadas en las rocas de la Cuenca de México.	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la subcuenca de Tecocomulco	18
Figura 2. Sierras, planicies y lagunas de la Cuenca de México	22
Figura 3. Geología de la Cuenca de México	26
Figura 4. Modelo tectónico estructural de la Cuenca de México.	30
Figura 5. Topografía de la subcuenca de Tecocomulco.	32
Figura 6. Geología de la subcuenca de Tecocomulco.	34
Figura 7. Hidrografía de la subcuenca de Tecocomulco.	40
Figura 8. Paso de un ecosistema lacustre-forestal a otro palustre-agrícola por el cambio en el uso del suelo.	45
Figura 9. Representación de los diferentes tipos de vegetación que habitan los cuerpos lacustres.	47
Figura 10. Clima de la subcuenca de Tecocomulco.	54
Figura 11. Edafología de la subcuenca de Tecocomulco.	63
Figura 12. Vegetación y uso de suelo de la subcuenca de Tecocomulco	64
Figura 13. Altimetría de la subcuenca de Tecocomulco	78
Figura 14. Pendiente en grados de la subcuenca de Tecocomulco	83
Figura 15. Amplitud del relieve de la subcuenca de Tecocomulco.	85
Figura 16. Clasificación de ordenes de corrientes de la subcuenca de. Tecocomulco	87
Figura 17. Unidades geomorfológicas de la subcuenca de Tecocomulco	90
Figura 18. Morfogénesis de la subcuenca de Tecocomulco.	92
Figura 19. Morfodinámica de la subcuenca de Tecocomulco	97
Figura 20. Representación gráfica para la obtención de la pendiente	106
Figura 21. Pendiente general en porcentaje de la subcuenca de Tecocomulco . .	109
Figura 22. Erosión en toneladas/km ² en la subcuenca de Tecocomulco	111
Figura 23. Esquema idealizado que muestra la relación entre la erosión y el azolve de una laguna.	113
Figura 24. Clasificación de suelos, de acuerdo con la capacidad del terreno para su posible uso, con base en la U. S. Soil Conservation Service	122
Figura 25. Tipos de terraza (secciones transversales)	126
Figura 26. Diseño de presa de control de azolve	130

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Apan. Temperatura media mensual y precipitación media mensual .	52
Gráfica 2. El Aserradero. Temperatura media mensual y precipitación media mensual.	52
Gráfica 3. El Paredón. Temperatura media mensual y precipitación media mensual.	52
Gráfica 4. El Rosario. Temperatura media mensual y precipitación media mensual	52
Gráfica 5. El Tepozán. Temperatura media mensual y precipitación media mensual	52
Gráfica 6. Presa Tesoyo. Temperatura media mensual y precipitación media mensual.	52
Gráfica 7. San Lorenzo Sayula. Temperatura media mensual y precipitación media mensual	52
Gráfica 8. San Rafael Mazatepec. Temperatura media mensual y precipitación media mensual	52
Gráfica 9. Singuilucan. Temperatura media mensual y precipitación media mensual.	52
Gráfica 10. Evaporación anual, evapotranspiración potencial anual y evapotranspiración real anual en la subcuenca de Tecocomulco.	58
Gráfica 11. Escurrimiento de la subcuenca de Tecocomulco.	60
Gráfica 12. Relación precipitación - escurrimiento en la subcuenca de Tecocomulco.	61
Gráfica 13. Crecimiento total y densidad de la población en la subcuenca de Tecocomulco.	72
Gráfica 14. Histograma de frecuencias altimétricas.	79
Gráfica 15. Curva hipsográfica.	80
Gráfica 16. Curva integral hipsométrica.	81
Gráfica 17. Total y distribución de corrientes por número de orden en la subcuenca de Tecocomulco.	88

INTRODUCCION

La influencia del hombre en la superficie terrestre se ha manifestado desde hace miles de años, pero su presencia se ha acentuado en los últimos 400 años, tiempo durante el cual ha aprovechado y explotado los recursos naturales (renovables o no) en todas las regiones del planeta, exterminando a algunos en tiempos relativamente cortos; la necesidad de recursos le ha llevado a explorar los fondos oceánicos y aún más allá, ha hecho acto de presencia en la Luna y más recientemente sobre Marte, aunque de manera indirecta.

La erosión del recurso suelo es un problema serio, que se incrementa diariamente a consecuencia de las actividades antrópicas: con el cambio de uso del suelo (al eliminar la vegetación natural protectora, por medio de la deforestación, tala inmoderada e incendios) en busca de terrenos agrícolas, ganaderos y urbanos, se inicia la pérdida del mismo; cuando se tala la zona montañosa en busca de madera para construcción o combustible, la erosión comienza a actuar, primero con la de tipo laminar, posteriormente cambia a lineal de surco, cárcava y finalmente de barranco. En el caso de zonas planas y semiplanas se acaba con la vegetación natural para introducir nuevas especies, pero, cuando el suelo pierde los nutrientes esenciales para seguir produciendo cosechas se abandona y se buscan nuevas zonas para seguir con el ciclo.

Actualmente más del 80% del territorio nacional presenta problemas serios de erosión, que si no se intenta solucionar, la obtención del sustento alimenticio de la población será aún más precaria, tomando en cuenta que la mayor parte del alimento se obtiene con base en la agricultura y la ganadería (esta última alimentada con productos agrícolas).

En el caso específico de la subcuenca de Tecocomulco, la erosión no se ha hecho esperar y afecta a la mayor parte del área que ocupa la misma. Se pueden encontrar diferentes tipos de erosión con diferente grado de afectación, lo que produce grandes volúmenes de suelo perdido; el suelo al moverse de su sitio original se deposita en las partes bajas de la subcuenca, afectando sobre todo los diferentes valles y la gran planicie central, en donde se encuentra la laguna de Tecocomulco, a la cual llega el material erosionado, disminuyéndola en sus dimensiones, como consecuencia de su sedimentación. La laguna de Tecocomulco es una de las últimas, si no es que la última, que se recarga de manera natural en la Cuenca de México, en las subcuencas vecinas de Apan y Tochac también existen lagunas con recarga natural, sólo que su azolvamiento es mucho mayor, en el caso

de la de Apan da la apariencia de que son dos depresiones centrales en donde se acumula el agua en la época de lluvia, por otro lado la laguna de Tochac aún es más notoria que la anterior, pero está más afectada que la de Tecocomulco.

La presente investigación tiene como principal objetivo cuantificar la erosión dentro de la subcuenca de Tecocomulco, para relacionarla principalmente con la durabilidad de la laguna, de la cual dependen especies vegetales y animales endémicas; al conocer la cantidad de suelo que se pierde por la erosión es posible predecir el azolvamiento de la laguna y con ello proponer las medidas adecuadas para atenuar la erosión y estabilizar el suelo, para lograr lo anterior se realizaron mediciones teóricas y directas, en ambos casos fue posible calcular la cantidad de suelo que se pierde por erosión.

En este trabajo, la distribución de la información es la siguiente: El capítulo 1 trata la parte inicial y conceptual del trabajo, como lo es el planteamiento del problema, la justificación de la investigación, el objetivo general, los objetivos particulares y la hipótesis; el marco de referencia, formado por el marco histórico, en donde se citan los trabajos elaborados sobre la zona en particular o que de forma general hablan sobre de ella; por otra parte, en el marco teórico se engloban todas las definiciones y conceptos que de una u otra manera sirven para entender la investigación. En el capítulo 2 se analiza la zona desde el punto de vista general, es decir, se observa su entorno a escala regional, primero haciendo referencia al Cinturón Volcánico Transmexicano y después más específicamente a la Cuenca de México. En el capítulo 3 se tratan exclusivamente las características del medio físico y social de la subcuenca de Tecocomulco. En el capítulo 4 se hace un breve análisis geomorfológico, en donde el resultado se representa por medio de diferentes mapas temáticos. En el capítulo 5 se explican dos métodos, uno teórico y otro práctico para conocer la erosión-depositación dentro de la subcuenca. Finalmente, en el capítulo 6 se mencionan las conclusiones a las que se llegó al finalizar la investigación, así como las recomendaciones y sugerencias a seguir para detener o minimizar la erosión dentro de la subcuenca, logrando con ello disminuir el azolvamiento de la laguna.

CAPITULO 1.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La subcuenca de Tecocomulco es una cuenca endorreica, donde la mayor parte de la red hidrológica vierte sus aguas en la laguna que lleva el mismo nombre.

Actualmente en esta cuenca, como en muchas otras de nuestro país, se presenta una intensa erosión del suelo, más notable en algunos lugares como la zona al noreste de Francisco Sarabia, al sur de Alcantarillas, hacia la Presa Tezoyo, en la zona de Tres Cabezas y en toda la parte alta de la cuenca (Tepozán).

Los sedimentos erosionados son transportados por procesos fluviales, eólicos y gravitacionales, los cuales comienzan a depositar en los valles intermontanos, continuando hasta llegar finalmente a la planicie central, en donde se encuentra la laguna, los sedimentos poco a poco van reduciendo las dimensiones del vaso lacustre y con ello se reduce su capacidad para almacenar agua. Las labores agrícolas también influyen en este problema, pues se ha creado un sistema de canales para controlar el curso del agua de los torrentes, que anteriormente se esparcían sobre la planicie y drenaban directamente en la laguna; los canales tienen como fin evitar inundaciones en la parte baja y retener agua por mayor tiempo, aprovechándola para el riego. El problema más importante en esta zona es la creciente y acelerada deforestación en la parte alta y media de la cuenca, lo que produce grandes cantidades de azolve.

Son varias las formas de erosión que afectan la zona pero, indudablemente, la erosión hídrica y eólica se pueden considerar como los principales modeladores, a causa de los excesos producidos por la actividad humana sobre la vegetación y el suelo, al eliminar a la vegetación, se deja al suelo descubierto, a merced de los procesos erosivos, que lo degradan y destruyen rápidamente.

A medida que la población local se incrementa, se tiene que satisfacer la demanda de sus necesidades de alimentación, esto se logra a costa de la destrucción de áreas naturales que se transforman en agrícolas para producir alimentos (maíz, frijol, trigo, papa, etc.), o en su defecto, para producir cultivos que puedan comercializar y recibir una remuneración por ello. El ejemplo más claro y evidente es la cebada; además, la población empieza a asentarse en diferentes núcleos que

crecen poco a poco, ocasionando más destrucción al iniciar una mayor deforestación en busca de madera para usarla en la construcción o como combustible.

Como en la región se practica principalmente agricultura de temporal, gran parte del año el suelo está descubierto, expuesto al viento; además, las primeras lluvias (sobre todo) tienen consecuencias desastrosas, al caer sobre el suelo descubierto, que fácilmente es erosionado, transportando sus partículas hasta alcanzar el nivel base, donde son depositadas. El nivel base en el caso de cuencas endorreicas lo forma alguna depresión en donde se acumula el agua, formando un lago o laguna, en cualquiera de los dos casos, los sedimentos poco a poco se van depositando, contribuyendo a su posterior azolve.

Otro riesgo que reduce el área inundable de la laguna, es la continua amenaza de la población local por obtener una mayor superficie agrícola, para esto construye bordos que impiden la llegada del agua fluvial a zonas agrícolas, logrando resultados parciales y temporales, pues se inundan con agua que fluye subsuperficialmente, por lo tanto esto no es favorable.

1.2. JUSTIFICACION

La subcuenca de Tecocomulco siempre ha tenido un uso agrícola en las partes planas e inclinadas, estas últimas están abandonadas pues no son aptas para este tipo de actividades y han perdido el suelo agrícola, lo que ha ocasionado que se transforme a la zona, para obtener terrenos aptos para la agricultura, además se le da uso forestal en la parte boscosa. Para aprovechar la planicie central en 1943 se decidió desecar parcialmente la laguna, mediante la construcción de un canal de 6 km de largo (Bector, 1944); posteriormente, en 1951 se decide desecarla en su totalidad, para ello del 1° de julio de 1952 al 30 de junio de 1953 se realizan obras de ampliación de canal, con el propósito de agilizar el drenaje (SRH, 1953), durante 6 años se lleva a cabo el plan, pero, en 1957 se abandona el proyecto y se busca preservar la laguna.

Sin embargo, la desecación parcial de la laguna lograda por el drenado artificial, las prácticas agrícolas y la deforestación de las vertientes han logrado azolvarla significativamente. Este proceso aún es posible atenuarlo si se hace énfasis en la necesidad de prolongar la duración de ésta que es la última laguna natural de aquellas que fueron más numerosas en la Cuenca de México. La laguna se considera un relicto ecológico, ya que en ella se conservan especies endémicas que aún perduran

como vestigios de la flora y fauna que tiempo atrás habitaron el lago de Anáhuac. Asimismo, su desaparición implica sensibles cambios microclimáticos notables, situación que no se considera positiva ni racional.

Todo lo anterior, muestra que no existen a la fecha ni siquiera evaluaciones preliminares del grado de alteración de los recursos naturales locales, a pesar de presentar bastante deterioro, por esto es importante realizar investigaciones de tal naturaleza, como lo pretende el presente estudio.

1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Con la intención de aportar conocimiento y soluciones a esta problemática, en este trabajo se plantea como objetivo principal:

- Evaluar la erosión dentro de la subcuenca de Tecocomulco.

OBJETIVOS PARTICULARES

Para lograr el objetivo general, será necesario cubrir los siguientes objetivos particulares:

- Conocer y cartografiar las áreas susceptibles a la erosión.
- Cuantificar por medio de modelos y a través de mediciones directas en campo la cantidad de suelo que se pierde por erosión.
- Predecir el posible azolvamiento de la laguna de Tecocomulco.
- Sugerir las medidas necesarias para prevenir y detener la erosión.

1.4. HIPOTESIS

El conocimiento del desarrollo histórico de la utilización de los recursos naturales de una zona, amplía el panorama en la determinación de los factores causales de la situación actual, así como las posibles tendencias futuras. En este estudio se pretende probar que el actual modelado de

la subcuenca de Tecocomulco es favorecido por las actividades antrópicas y como consecuencia el azolvamiento y desecación de la laguna no obedece a causas naturales, entre ellas el cambio climático. Entonces, es de suponerse que las modificaciones humanas ejercidas sobre la vegetación, son la génesis de los cambios de esta región. La agricultura es la causa más importante de la alteración de bosques, selvas y matorrales; la ganadería con animales introducidos ejerce sobre el medio presiones diferentes, a veces negativas comparadas con las poblaciones animales nativas. También puede presuponerse que el incremento de la población no es en sí un elemento perturbador actual de primer orden, pero si lo es potencialmente. En resumen, se establece como hipótesis que los problemas que se manifiestan en la alteración del medio ambiente son, en mínima parte, producto de los procesos naturales y en contraparte, el gran deterioro de la cuenca se debe a las acciones humanas.

1.5. MARCO DE REFERENCIA

1.5.1. ESTUDIOS PRECEDENTES

Sobre el marco regional de la subcuenca de Tecocomulco existen varios trabajos que abordan diferentes temas: geología, edafología, clima, hidrología, antropología, geografía, historia, etc, en los cuales se hace referencia de forma general a la subcuenca, primero se encuentran los que tratan al Cinturón Volcánico Transmexicano, entre los que se pueden citar están Demant (1978), Delgado (1993), Lugo (1990), Lugo y Córdova (1990), Medina, (1985), Negendank (1985), Polak *et al.* (1985), Raisz (1959), SPP (1982), Urrutia y Castillo (1977), Venegas *et al.* (1985), Verma y Armienta (1985); por otra parte, también hay trabajos que la estudian como una parte integral de la Cuenca de México, entre los que se pueden citar están Aguayo *et al.* (1989), Birkle *et al.* (1995), Cserna Z. de *et al.* (1987), Enciso (1992), Guzmán (1979), Ledezma (1987), Meza y Cervantes (1981), Messmacher (1979), Mooser (1975), Mooser *et al.* (1996), Rodríguez y Ochoa (1989), Serra (1990), SRH (1972), Vázquez y Jaimes (1989).

Hasta el momento, sobre la zona de estudio no existen estudios relativos al tema que ocupa el presente trabajo, sin embargo, existen 5 trabajos previos que abordan los siguientes aspectos:

1. -Bector (1944) hace un estudio previo al diseño y construcción de la Presa Tezoyo y del canal de desagüe que drenaría la laguna. En aquella época se intentaba evitar las avenidas anuales que inundaban las áreas agrícolas inmediatas a la laguna.
2. -Suárez (1947) se encarga de diseñar el modelo de construcción del embalse de la Presa Tezoyo.
3. -Chávez (1981) hace un estudio enfocado al mejoramiento de la producción agrícola en las inmediaciones de la laguna y a desarrollar la piscicultura por medio de la introducción de especies.
4. -Rodríguez (1989) estudia el ciclo de vida de los batracios en la laguna, principalmente de la rana de moctezuma (*Rana montezumae*).
5. -Lagarde (1992) realiza un estudio hidrogeológico de la subcuenca, con el fin de conocer el comportamiento del agua subterránea de la región.

1.5.2. MARCO TEORICO

Para entender el origen, evolución y pérdida del suelo, se recordarán algunas generalidades del mismo.

LOS MINERALES Y LAS ROCAS

LOS MINERALES

Los minerales son sustancias naturales sólidas, formadas mediante procesos inorgánicos, se caracterizan por la posesión de propiedades físicas homogéneas y por su composición química propia, que puede ser variable dentro de ciertos límites pero que siempre está bien definida y sobre todo por el hecho de poseer una disposición atómica fija, característica de cada mineral (Mottana *et al.*, 1980; Bauer, 1981).

Las rocas son una mezcla de minerales, siendo éstos la parte esencial de las rocas, una roca puede estar compuesta por varios minerales o por un solo mineral; según su origen se clasifican en primarios o secundarios.

Los minerales primarios se forman por el enfriamiento y solidificación del material magmático, entre ellos se encuentran el *cuarzo*, los *feldespatos*, los *anfíboles* y *piroxenos*, las *micas*,

los *carbonatos* y la *apatita*. Por otra parte los minerales secundarios se originan como consecuencia de los diferentes procesos de intemperismo químico que atacan a los primarios, entre ellos se encuentran el *yeso*, los *óxidos de Fe* y la *arcilla*.

LAS ROCAS

Las rocas son combinaciones de dos o más minerales consolidados por procesos naturales, su composición y estructura depende de los procesos formadores que las originaron. Se pueden encontrar tres grandes grupos o categorías de rocas: *ígneas*, *sedimentarias* y *metamórficas*.

INTEMPERISMO

Se le llama intemperismo a los cambios físicos y químicos producidos en las rocas y en los minerales por los agentes atmosféricos, se le considera el antecesor o agente que prepara a la roca para la posterior formación del suelo, lo anterior hace que el intemperismo se pueda subdividir en físico (mecánico) y químico.

INTEMPERISMO FISICO.

La labor principal del intemperismo físico es fragmentar o desintegrar a la roca sin causarle alguna modificación química a los minerales primarios. Entre estos procesos se encuentran el *calentamiento y enfriamiento*, el *congelamiento*, el *humedecimiento y secado*, y la *actividad biológica*.

INTEMPERISMO QUIMICO

En esta forma de intemperismo la roca se desintegra y descompone, los minerales primarios se transforman por reacciones químicas en minerales secundarios. Entre estos procesos se encuentran la *hidratación*, la *hidrólisis*, la *carbonatación*, la *oxidación*, la *reducción* y la *solución*. Es preciso hacer mención que la hidratación, la carbonatación y la oxidación regularmente actúan en conjunto y sus acciones individuales no pueden ser fácilmente identificables.

Aunque se estudian por separado, los procesos del intemperismo físico y químico actúan simultáneamente y su intensidad sobre las rocas depende de las condiciones climáticas.

SUELO SUPERFICIAL Y SUBSUELO

El término suelo se deriva del vocablo latino *solum*, significa piso o terreno.

Se considera que el suelo esta formado estrictamente por dos porciones: una superficial y una subterránea (Ortíz Villanueva y Ortíz Solorio, 1984; Fitzpatrick, 1996). El suelo superficial se refiere a la capa más superficial de la corteza, es el lugar donde mejor se desarrollan las raíces, contiene muchos de los nutrientes esenciales para las plantas, en el viven cientos de organismos. En términos edáficos se le considera la zona límite hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas.

El subsuelo es la capa que subyace al suelo, comprende en algunas ocasiones de los 20 o 30 cm hasta 1.5 m de profundidad; normalmente esta sujeto a pocas alteraciones, también se le conoce como *regolita*.

FACTORES DE FORMACION DEL SUELO

En la Tierra existen diversos tipos de suelo, sus características dependen los siguientes cinco factores (Buol *et al.*, 1981; Zachar, 1982; Ortíz Villanueva y Ortíz Solorio, 1984; Fitzpatrick, 1996; Owen *et al.*, 1998; Miller y Gardiner, 1998):

- a) Roca madre. Es el material a partir de donde se desarrolla el suelo, se constituye por dos fracciones: una mineral (*coloides*) y una orgánica (*humus*). La primera se produce por la intemperización de las rocas, mientras que la segunda es producto de la descomposición de la materia orgánica. De este factor depende la rapidez con que se forma el suelo, su textura y cantidad de nutrientes.
- b) Clima. De los diferentes elementos del clima, los que más influyen para la formación del suelo son la precipitación y la temperatura, por ejemplo la velocidad de formación de una unidad de suelo en una zona lluviosa y cálida será mucho mayor a la de otra situada en una zona seca o fría.
- c) Vegetación. La vegetación interviene en el intemperismo de la roca y con ello en la formación del suelo. Además, al morir se transforma en humus, el cual da al suelo una mejor consistencia y una mayor posibilidad de almacenar agua. Como se observa, la vegetación desempeña dos importantes funciones: i) coadyuva a la formación del suelo y ii) al expandir sus raíces y aumentar su cobertura superficial, lo protege de los procesos erosivos.
- d) Topografía. La pendiente del relieve modifica el desarrollo del suelo: en pendientes pronunciadas, como en el caso de las laderas de las montañas, la remoción del suelo superficial es

constante y no permite que este forme horizontes profundos, porque predomina el escurrimiento sobre la infiltración; en el caso contrario, sobre las planicies los horizontes de suelo tienen un mayor espesor, porque es ahí donde el material acarreado se deposita, así mismo, al ser mayor la infiltración permite y agiliza la distinción de los horizontes del suelo.

- e) Tiempo. La edad de los suelos no se mide por el tiempo de su formación, sino por la existencia o no de sus horizontes. En términos generales, para que un suelo se forme pueden pasar desde algunos miles de años hasta un par de siglos, en función de como actúen los 4 factores anteriores.

COMPONENTES DEL SUELO.

El suelo se considera una mezcla de materia mineral, materia orgánica, aire y agua. El volumen que ocupa cada uno de estos componentes es variable; pero, en general, se considera que la composición ideal del suelo para el mejor desarrollo de las plantas es la siguiente: material mineral (45%), materia orgánica (5%), agua (25%) y aire (25%). Las proporciones de estos componentes varían en el tiempo y de un lugar a otro; el volumen que guardan el aire y el agua en el *espacio poroso* es proporcional, al aumentar la proporción de agua disminuye la proporción de aire y viceversa.

HORIZONTES DEL SUELO

Los principales horizontes del suelo se designan con el número 0 y las letras mayúsculas A, B, C y R; a su vez, cada horizonte se puede dividir en subhorizontes (Buol *et al.*, 1981; Fitzpatrick, 1996):

HORIZONTE 0. Este horizonte es superficial y sólo se le encuentra en regiones que cuentan con abundante vegetación, la cual al morir se acumula, originando grandes cantidades de materia orgánica.

HORIZONTE A. Este horizonte se caracteriza por su alta actividad biótica y acumulación de materia orgánica (teniendo una acumulación menor que el horizonte 0).

HORIZONTE B. Este horizonte es de acumulación de materiales por *eluvación*, se forma de partículas microscópicas conocidas como coloides.

A los horizontes A y B se les considera los principales constituyentes del suelo.

HORIZONTE C. Este horizonte es mineral, se origina de la alteración física del lecho rocoso. También se le designa así a las capas endurecidas cercanas a la superficie del suelo (tepetate, caliche, etc.).

HORIZONTE R. Así se denomina a la roca madre que no ha tenido alteración ni fracturamiento alguno.

PERFIL DEL SUELO.

El perfil es la unidad de estudio de los suelos, se forma por una sucesión de capas llamadas horizontes, que pueden estar más o menos desarrollados con características propias (Buol *et al.*, 1981; Ortiz Villanueva y Ortiz Solorio, 1984; Fitzpatrick, 1996; Owen *et al.*, 1998; Miller y Gardiner, 1998).

El perfil del suelo puede dar el conocimiento de su génesis, edad y evolución. De acuerdo con los horizontes que presente se puede encontrar:

- Material madre (horizonte C o R). Sólo se aprecia el material original, el afloramiento de la roca no ha sufrido intemperización.
- Suelo inmaduro (horizontes A-C). La superficie de la roca ya ha sufrido intemperismo, es posible identificar un nuevo horizonte menos duro y más oscuro, el A.
- Suelo maduro (horizontes A-B-C). En esta etapa se alcanza el desarrollo de un horizonte B, como consecuencia de la eluviación o lavado del horizonte A. Los elementos más finos o coloides (humus si es de origen orgánico o arcillas si son de origen mineral) con el agua son acarreados desde A, empezando a depositarse sobre C, formando con ello el horizonte B, el cual poco a poco aumenta de espesor, pudiendo alcanzar desde algunos centímetros hasta varias decenas de metros.

EROSION

La erosión es un proceso natural, el cual ha actuado sobre la superficie terrestre desde los orígenes mismos de la Tierra. La corteza o superficie terrestre presenta un sin número de formas topográficas, producto todas ellas de la interacción de procesos endógenos (tectonismo y

vulcanismo), regidos por la geodinámica interna de la Tierra y los procesos exógenos (erosión e intemperismo).

CLASIFICACION DE EROSION

Se pueden distinguir dos tipos principales de erosión (FAO-ONU, 1967; López, 1972; Zachar, 1982; Miller y Gardiner, 1998):

a) Natural o geológica. Es la que ha actuado sobre la superficie terrestre desde su formación. Se produce por el equilibrio entre los procesos exógenos (modeladores del relieve) y los procesos endógenos (formadores del relieve).

b) Antrópica o inducida. Es la que se produce como consecuencia de la actividad del hombre, agiliza la erosión natural.

ETAPAS DE LA EROSION

La erosión se forma o complementa por tres etapas, que aunque actúan en conjunto, se les puede identificar por separado:

1. Desprendimiento de las partículas intemperizadas tanto de la roca como del suelo.
2. Transporte de las partículas por los diferentes agentes de transporte (agua, viento, gravedad y seres vivos). El agua y el viento ocupan los primeros lugares como agentes de transporte, siendo el primero el que más daño ocasiona.
3. Depositación, sedimentación o acumulación del material transportado. Este proceso es complementario a la erosión, es constructivo. Ocurre cuando el agente de transporte (cualquiera que este sea) pierde fuerza y con ello su capacidad para transportar o porque ha llegado al *nivel base*.

TIPOS DE EROSION

De acuerdo con la forma en cómo actúa la erosión se puede clasificar en:

I. Erosión por agua (hídrica). Implica todas las formas de erosión en donde el agente del transporte es el agua. Su evolución es la siguiente:

1. Erosión por el impacto de las gotas de lluvia. Se da como resultado del impacto de las gotas de agua de la lluvia al caer sobre la superficie del suelo, rompiendo la estructura de éste y separando

las partículas que lo forman, posteriormente dichas partículas son presa fácil de la escorrentía, sobre todo si el terreno presenta pendientes pronunciadas.

2. Erosión laminar. Consiste en la remoción más o menos uniforme de una capa o lámina delgada de suelo a consecuencia del movimiento del agua en forma de manto. Es inapreciable porque la cantidad removida durante una lluvia es pequeña, sin embargo, con el paso de los años la cantidad de suelo removido se vuelve considerable. Este tipo de erosión es exclusiva de superficies lisas con pendiente uniforme.
3. Erosión lineal de surcos. Ocurre una vez que la erosión laminar se ha concentrado en pequeñas depresiones, por donde fluye va arrastrando el suelo a su paso, mientras profundiza va formando pequeños surcos. Se le llama así desde que los pequeños canales tienen de unos milímetros hasta unos cuantos decímetros. Este tipo de erosión forma superficies irregulares, el número de surcos depende del terreno y de la cantidad y velocidad del agua en escurrimiento.
4. Erosión por cárcavas. Este tipo de erosión es consecuencia de la anterior; es una erosión en surcos, en donde la incisión del terreno alcanza profundidades considerables, debido a que el escurrimiento aumenta en volumen y velocidad, concentrándose siempre en los mismos surcos.

La intensidad de las cárcavas guarda una estrecha relación con la cantidad de agua de escurrimiento y la velocidad de ésta. Evoluciona en tres formas: a) Frotamiento o abrasión de los lados y del fondo. b) Regresión progresiva de la cabecera (erosión remontante). c) Desmoronamiento o caída de las paredes de la cárcava. Presenta forma de “U” donde el suelo y subsuelo se erosionan fácilmente y de “V” donde el subsuelo es resistente por su textura fina y compacta. Al continuar evolucionando las cárcavas se forman los barrancos, última etapa de la erosión lineal.

II. Erosión por el viento (eólica). Es característica de los desiertos, aunque también se puede producir en cualquier lugar donde soplen vientos constantes. La fuerza del viento ocasiona la deflación o arrastre del material arenoso, al ir avanzando la nube de polvo va modelando o puliendo (abrasión) las rocas por donde va pasando, hasta que el viento deposita o acumula los materiales que trae consigo.

III. Erosión por gravedad. Este tipo de erosión se presenta en todas las laderas, en las paredes de las cárcavas y de los barrancos; inicialmente se fractura la pared a causa de los procesos de intemperismo, posteriormente, al perder soporte la gravedad ocasiona la caída del material.

IV. Erosión biológica (seres vivos, excluyendo al hombre). Este tipo de erosión puede resultar insignificante, se debe hacer mención (como se dijo en el caso del intemperismo físico) que los animales al cavar sus madrigueras y las raíces de las plantas al fracturar la roca, favorecen y facilitan el trabajo de los agentes erosivos.

V. Erosión antrópica. Las diferentes actividades productivas del hombre producen una erosión antrópica o inducida, la cual es más rápida y degradatoria (si se compara con la erosión natural o geológica). Este tipo de erosión se origina de varias maneras como son la deforestación irracional y los incendios en áreas boscosas, en busca de tierras para cultivo. Por otra parte el uso intensivo de las tierras de labor agota los nutrientes del suelo, lo que a la larga disminuye la vegetación, que es la mejor cobertura que puede tener el suelo para evitar su degradación; a la erosión producto de las diferentes actividades humanas con fines agrícolas, también se le conoce como erosión agrícola (Tricart, 1969). Otra práctica más es la ganadería, específicamente el pastoreo, el ganado cualquiera que sea, afecta al suelo en dos formas: i) se alimenta de todos los pequeños retoños de futura vegetación que podría proteger al suelo (el ganado caprino es el más dañino, acostumbra destruir todo tipo de hierba, aunque no se alimente de ella y porque su pezuña es más aguda que la de otro tipo de ganado) y ii) el pisoteo del ganado destruye la estructura de la capa superficial del suelo y mata a la vegetación; regularmente, el pastoreo casi siempre se realiza en zonas de lomeríos, dejando a las zonas planas para uso agrícola). La minería y la construcción afectan porque el mismo hombre actúa similar a las tres fases de la erosión: desintegra a la superficie terrestre (en donde se encuentra el banco de material), posteriormente los materiales sueltos los transporta hasta otro lugar en donde les dará uso o en su defecto sólo los depositará, generando nuevas formas en la superficie.

1.6. METODOLOGIA

Para realizar la presente investigación y para cubrir los objetivos propuestos, se procedió conforme a la siguiente metodología:

1.- La primera parte consistió de un extenso trabajo de gabinete, en donde se analizó:

- Bibliografía general y específica sobre la zona.
- Cartografía de la zona a escalas 1: 50 000 y 1: 250 000, la primera porque permite obtener con más detalle observaciones y mediciones que resulten necesarias; además, el tamaño que adquiere la subcuenca a esta escala resulta muy práctico y la segunda porque ofrece una visión regional de los principales rasgos topográficos. La temática de las cartas fue: topografía, geología, edafología, vegetación y uso potencial. Para la escala 1: 50 000 se necesitaron las cartas: Ciudad Sahagún (E14-B12), Chignahuapan (E14-B13) y Tlaxco (E14-B23), para la escala 1: 250 000 se usó solo la carta Ciudad de México (E14-2).
- Fotografías aéreas a escala 1: 50 000. En estas se identificaron los lugares afectados en menor o mayor grado por la erosión, la densidad del drenaje y el uso del suelo.

Con la información obtenida en las fotografías aéreas y en los mapas empleados se hizo una sobreposición de cartas para obtener zonas con riesgo potencial de erosión, esta primer correlación dio un amplio panorama del problema en la subcuenca.

La presentación final de los diferentes mapas fue de acuerdo con los métodos de representación cartográfica propuestos por Joly (1979 y 1988) y Salitchev (1981). Para la elaboración de los mapas geomorfológicos se emplearon diferentes métodos morfométricos para conocer lo referente a la altimetría de la subcuenca, el área de las misma y de los pisos altimétricos, el ángulo de la pendiente, la amplitud del relieve, el patrón y densidad del drenaje y la clasificación de ordenes de corrientes.

También se empleó el programa Dhydro (De Souza *et al.*, 1996), aunque su utilidad es para cuestiones hidrológicas, con algunas de sus herramientas fue posible obtener datos areales y lineales, necesarios para el análisis geomorfológico, además de modelos de escurrimiento que pueden funcionar como simuladores de erosión a partir del manipuleo de variables como pendiente, tipo de cobertura vegetal y uso de suelo. En términos generales, el programa sólo sirvió para obtener de manera automatizada las diferentes áreas que se utilizaron en el capítulo 4.

Para medir la pérdida de suelo se aplicó la fórmula de predicción de depósito de sedimentos de Julien y Frénette (1986), una variante de la *universal soil loss equation* (USLE), el modelo más utilizado para conocer la pérdida de suelo causada por erosión hídrica. Una limitante sobre el uso de modelos radica en tres problemas: en primera porque el resultado se generaliza para toda la cuenca (y en este caso sólo se encuentra en sitios específicos), también por la falta y disponibilidad de

información existente y porque se utilizan variables numéricas y de apreciación, dependiendo estas últimas del observador.

El modo de representar el modelo fue dividiendo la cuenca en cuadrantes de 1 km², tomando a cada uno como una matriz independiente para representar el dato predominante, para ello se aprovecho la cuadrícula UTM de las cartas topográficas.

2.- En la segunda parte se realizaron observaciones directas en campo para conocer la causa-efecto del problema, es decir, el origen de la erosión y las áreas de depósito entre la parte aportadora alta y la receptora baja.

Para cuantificar la erosión-depositación se instalaron algunas fichas de control, pues no fue posible instalar parcelas de medición (*plots*). Las fichas estuvieron graduadas para poder medir la pérdida de suelo o acumulación de sedimento, según sea el caso; su colocación se llevó a cabo de manera aislada en sitios específicos que resultaron altamente significativos.

También se realizaron pozos de observación en la parte baja de la cuenca (sobre todo en el área inundable) y en canales principales que llegan a la laguna, con la finalidad de obtener con base en el grosor y textura de los horizontes de depositación (si es que se aprecian), los posibles ambientes o facies que modelan la subcuenca.

En esta etapa se verificó en campo la información cartográfica y por fotointerpretación preliminar.

3.- La última etapa se realizó en gabinete, en donde se calcularon y analizaron las medidas tomadas en campo, para complementar e integrar toda la información, obteniendo con ello resultados reales.

Para facilitar la elaboración del trabajo en gabinete, se utilizó paquetería específica de computación, que de una u otra manera agiliza la elaboración del trabajo.

CAPITULO 2.

MARCO REGIONAL

2.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La subcuenca de Tecocomulco esta ubicada en la parte noreste de la Cuenca de México (figura 1), está limitada por las coordenadas:

19° 42' 13.7" y 19° 58'27.4" de latitud Norte y
98° 11' 46.2" y 98° 30'1.7" de longitud Oeste.

Es una de las 11 subcuencas en que se subdivide la Cuenca de México (SRH, 1972): Apan, Chalco, Churubusco, Ciudad de México, Cuautitlán, Pachuca, Tecocomulco, Teotihuacan, Texcoco, Tochac y Xochimilco.

Políticamente se encuentra entre los Estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala. Su superficie es de 536.67 km², el equivalente al 5.59% del total del área de la Cuenca de México

Por su parte, la Cuenca de México se encuentra en el interior del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) (figura 1), está delimitada por las siguientes coordenadas:

19° 03' 53" y 20° 11'09" de latitud Norte y
98° 11' 53" y 99° 30'24" de longitud Oeste.

Se le considera una cuenca endorreica, por su parteaguas cerrado; tiene un área de aproximadamente 9 600 km², de los cuales 4 800 km² ocupan la porción oriental del Estado de México, 2 540 km² del sur de Hidalgo, 1 320 km² correspondientes al Distrito Federal, 840 km² de la parte oriental de Tlaxcala y 100 km² de la parte oriental de Puebla. Así que el 50% del total de la superficie corresponden al Estado de México, le siguen Hidalgo con 26.46%, el Distrito Federal con 13.75 %, Tlaxcala con 8.75% y finalmente Puebla con 1.04%.

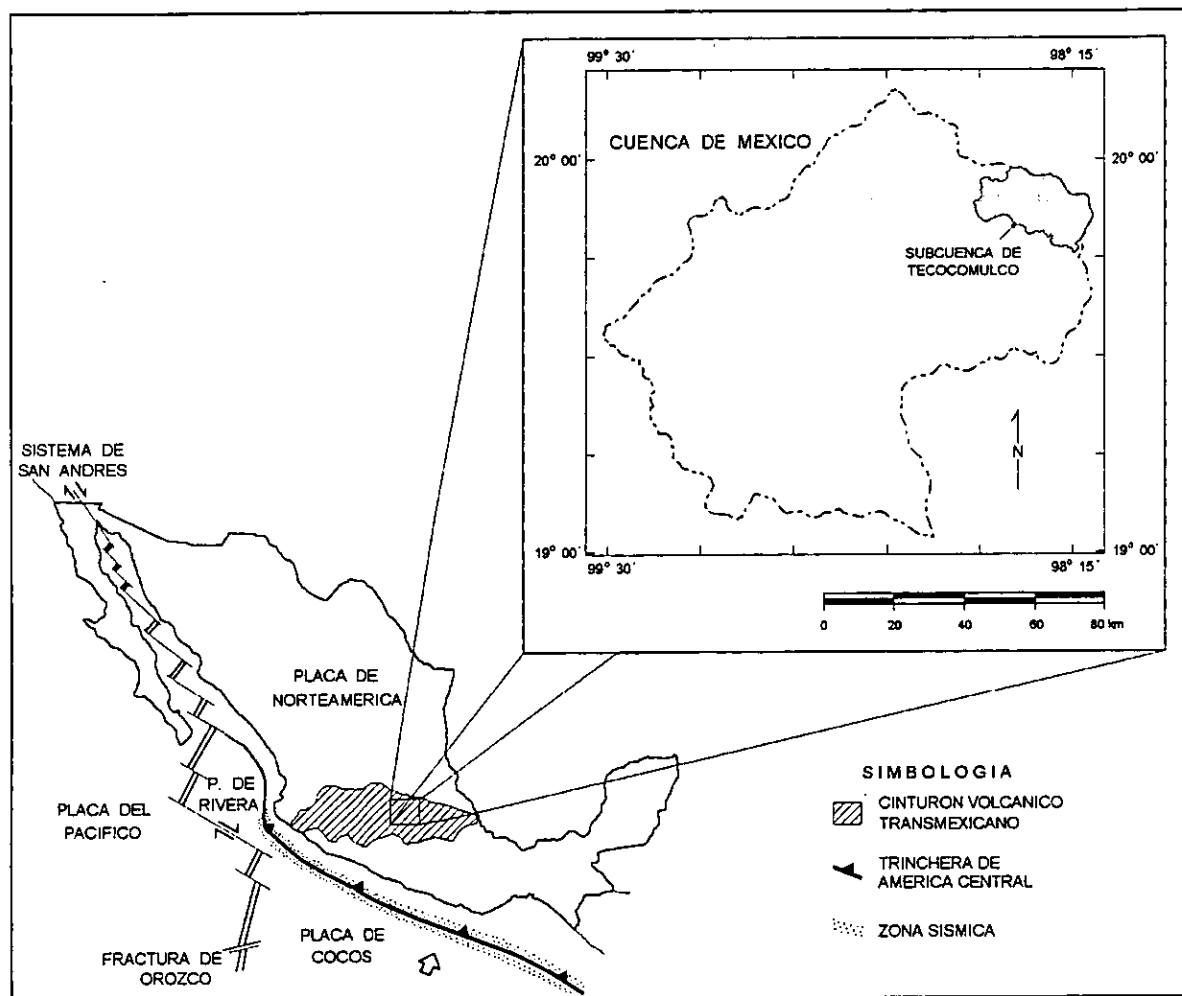


FIGURA 1: LOCALIZACION DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

2.1.1. VIAS DE ACCESO

Para llegar a la zona de estudio partiendo de la Ciudad de México, la ruta es la siguiente:

Salir con dirección al norte, tomando la autopista hacia Pachuca, pasando por los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec, Acolman y San Juan Teotihuacan, en este último se deja la carretera de cuota y se toma la carretera libre número 132, al pasar por el municipio de San Martín de las Pirámides, a la altura del km 32 se toma la carretera estatal número 9 con rumbo a Otumba, pasando por los municipios de Otumba y por el de Axapusco, a la altura del km 22 termina este último municipio del Estado de México e inicia el municipio de Tepeapulco (perteneciente al Estado de Hidalgo), siguiendo con el trayecto se pasa por Ciudad Sahagún y después por Tepeapulco, al salir de la cabecera municipal se toma la carretera estatal número 115 que va a Epazoyucan y a 500 m se toma la desviación a la derecha, que es el inicio de la carretera estatal número 47 con dirección hacia Tulancingo, al tomar esta carretera a aproximadamente 8 kilómetros se arriba a la subcuenca de Tecocomulco entre los cerros de La Paila y La Cruz.

2.2. CINTURON VOLCANICO TRANSMEXICANO (CVTM)

Esta gran provincia volcánica de México ocupa un área entre los 19° y 21° de latitud Norte, está formada por una gran variedad de rocas volcánicas, emitidas por cerca de 8 000 aparatos volcánicos: los principales estratovolcanes que aquí se localizan (Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztacihuatl, Nevado de Toluca, Nevado de Colima) alcanzan las mayores alturas registradas en el país, además también existen innumerables conos cineríticos y aparatos dómicos (SPP, 1982).

El CVTM en una estructura alargada con dirección E-W (figura 1), de casi 1 000 km (920 km) de longitud, con una anchura que fluctúa entre los 20 y 150 km, se extiende desde Bahía de Banderas en el Estado de Jalisco en el oeste, hasta Punta Delgada en el Estado de Veracruz en el este (Demant, 1978; Hasenaka y Carmichael, 1985; Negendank, 1985; Aguayo *et al.*, 1989). Al CVTM se le designa como provincia fisiográfica (Raisz, 1959; DGG *in* SPP, 1982), como provincia geológica (López, 1972) o como provincia geomorfológica (Lugo y Córdova, 1990). También se le conoce con los nombres de eje, cinturón, faja, cordillera, sierra o sistema.

La mayor parte de la actividad volcánica del CVTM se manifestó en el periodo Plioceno-Cuaternario (Mooser, 1975; Urrutia y Castillo, 1977; Demant, 1978; Hasenaka y Carmichael, 1985; Luhr y Lazaar, 1985; Negendank, 1985; Polak *et al.*, 1985; Venegas *et al.*, 1985; Aguayo *et al.*, 1989). Aunque existen diferentes teorías que explican su origen, la más aceptada y fundamentada dice que su formación se debe a la subducción de la placa de Cocos y Rivera por debajo de la placa de Norteamérica (Mooser, 1975; Demant, 1978; Medina, 1985; Verma y Armienta, 1985; Lugo, 1990) (figura 1). Demant (1978) considera que el volcanismo anterior al Oligoceno-Mioceno es una prolongación del sistema volcánico de la Sierra Madre Occidental. La placa de Cocos tiene un movimiento en dirección al noreste con un ángulo azimutal de 31° a 41°, el cual choca con el movimiento hacia el suroeste de la placa de Norteamérica, creándose una fisura cortical; a lo largo de la zona de debilidad se manifiesta la expulsión de magma hacia la superficie. La subducción de la placa de Cocos es de 3.2 cm/año (Molnar y Sykes, 1969, *in* Delgado, 1993), mientras que la de la placa de Rivera es 6.0 cm/año (Atwater, 1970 *in* Delgado, 1993). Negendank (1972, *in* SPP, 1982) basado en las características químicas de las rocas del CVTM, supone que este se ha originado como resultado de la fusión parcial de los materiales de la corteza inferior, más que por la fusión de la Placa de Cocos al nivel de la astenosfera.

En términos generales el CVTM esta formado por grandes planicies azolvadas con sedimentos lacustres, aluviales, fluviales y volcánicos (tobas, piroclastos, brechas), la secuencia sedimentaria está interestratificada con derrames volcánicos de diferente composición mineralógica y química (andesítica, riolítica, dacítica y basáltica).

2.3. CUENCA DE MEXICO

Con el fin de entender el marco regional de la zona de estudio se mencionaran algunos aspectos físicos de la Cuenca de México, región geológica de la cual forma parte.

2.3.1. MORFOLOGIA

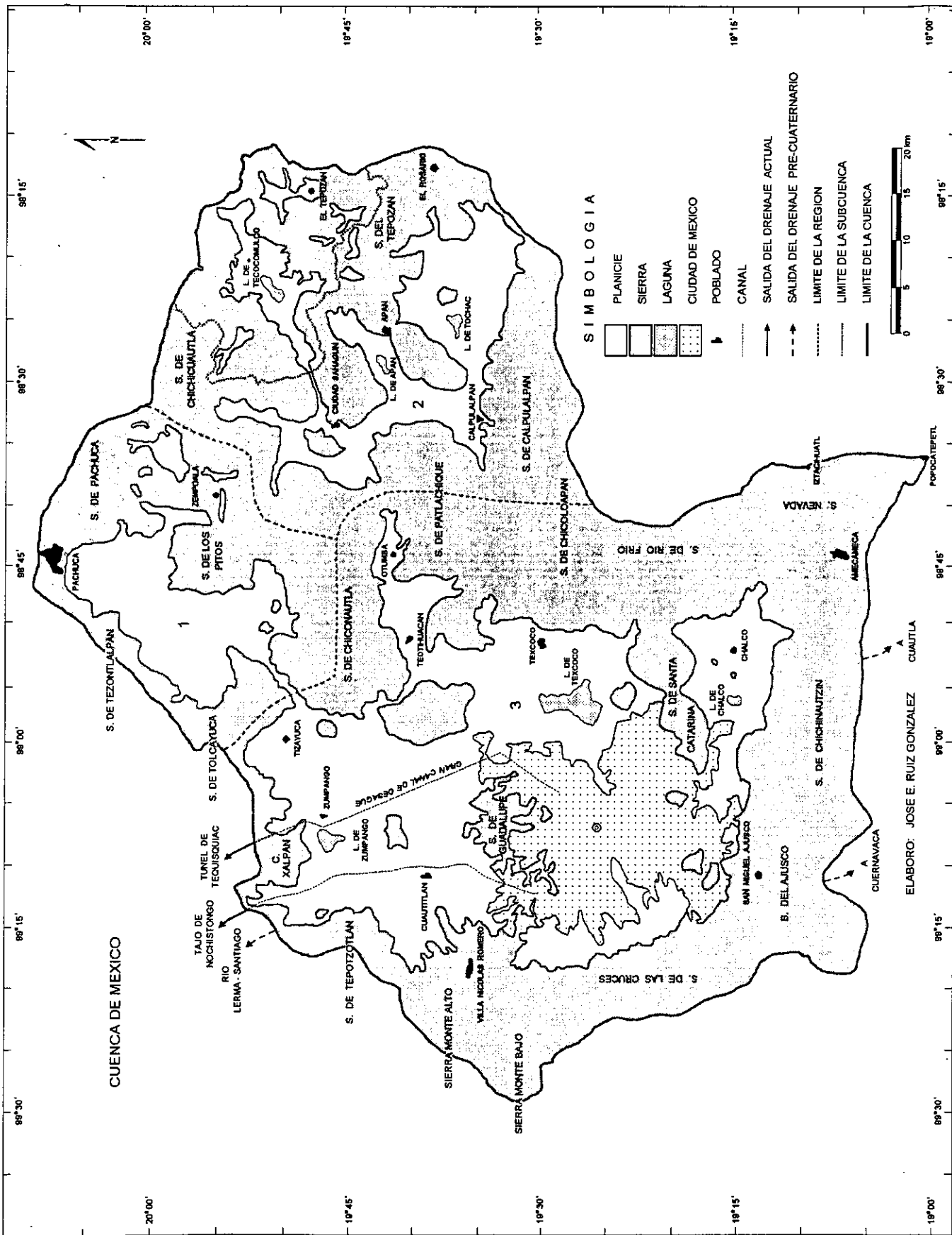
El relieve de la Cuenca de México es producto de la interacción entre los procesos endógenos y exógenos, activados por la geodinámica del CVTM.

La divisoria o parteaguas de la Cuenca de México es irregular y de forma alargada (figura 2), está delimitada por: la Sierra de Tezontlalpan y la Sierra de Pachuca al norte, la Sierra de Tepotzotlán y Tolcayuca al noroeste, la Sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo al oeste, la Sierra del Ajusco y Chichinautzin al sur, la Sierra Nevada, de Chicoloapan y de Río Frío al sureste, la Sierra de Calpulalpan y del Tepozán al este y la Sierra de Chichicauitla al noreste. En su interior se encuentran elevaciones volcánicas aisladas (Sierra de los Pitos, Sierra de Chiconautla, Sierra de Patlachique, Sierra de Guadalupe y Sierra de Santa Catarina), también se presentan una serie de depresiones acumulativas de origen lacustre y aluvial, quienes cubren amplias extensiones, dichas depresiones se observan como varias planicies escalonadas, separadas por diferentes unidades volcánicas.

La Cuenca de México se puede subdividir en 3 subregiones mayores con base en su extensión y altitud, además, también existen pequeños valles aislados que no por ello dejan de ser importantes:

1.- Subregión Pachuca. Está limitada por las sierras de Tezontlalpan, Tolcayuca, Chiconautla, de los Pitos y Pachuca. Esta vasta planicie tiene una ligera pendiente que no alcanza ni siquiera un grado, inicia con 2315 msnm en la base de la sierra de Tolcayuca y Chiconautla y sube hasta los 2400 msnm en las inmediaciones de la ciudad de Pachuca. Es la única subregión donde no se manifiestan acumulaciones superficiales de agua importantes.

2.- Subregión Apan-Tecocomulco-Tochac. Esta subregión se delimita por las sierras de Chichicauitla, Patlachique, Calpulalpan y Tepozán, que delimitan los valles principales de Apan, Tecocomulco y Tochac, en cuyas partes más bajas se encuentran actualmente los restos de las lagunas que llevan el mismo nombre. Los anteriores valles están escalonados entre sí, la planicie de Ciudad Sahagún en promedio alcanza los 2450 msnm; en el valle de Apan la altitud promedio es de 2455 msnm, en el valle de Tochac es de 2505 msnm y finalmente en el valle de Tecocomulco es de 2524 msnm.



3.- Subregión ex Lago de Anáhuac. Está limitada por las sierras de Tolcayuca, Tepotzotlán, Monte Alto, Monte Bajo, de las Cruces, del Ajusco, Chichinautzin, Nevada, de Río Frio, de Chicoloapan, de Patlachique y de Chiconautla, además, en su interior se encuentran las sierras de Guadalupe y Santa Catarina. En esta amplia planicie actualmente se encuentran las lagunas de Zumpango, Texcoco, Chalco y la amplia red de canales de Xochimilco. Su altitud promedio oscila entre los 2237 y 2240 msnm. En la parte centro y sur de esta subregión se asienta la Ciudad de México y su área conurbada, la cual se extiende al resto de la subregión. En los límites de esta subregión se encuentran la menor y mayor altura registrada en todo el parteaguas de la Cuenca de México, la primera se localiza en donde se construyó el Tajo de Nochistongo con 2250 msnm y la segunda en la cima del volcán Popocatepetl con 5465 msnm.

2.3.2. HIDROGRAFIA

Originalmente la Cuenca de México era una cuenca abierta o exorreica, que drenaba hacia el Río Amacuzac (en el Océano Pacífico) por medio de 3 corrientes: una pasaba por donde hoy se encuentra la ciudad de Cuernavaca, otra donde se encuentra la ciudad de Cuautla y la tercera drenaba hacia el río Lerma (Mooser, 1975; Jiménez y Juárez, 1996) saliendo por donde hoy día está la autopista a Querétaro (figura 2).

La formación de las sierra Chichinautzin durante el Pleistoceno, cierra el drenaje de la cuenca, haciéndola endorreica (Marsal y Mazari, 1959), a partir de este momento la acumulación de agua fue formando un gran lago: el lago de Anáhuac (del nahuatl: atl-agua y nahuac-junto, significa agua junta), el cual se dice ocupaba desde la base de la Sierra Chichinautzin hasta lo que hoy ocupa la laguna de Zumpango. Por causas desconocidas el nivel del agua se redujo hasta las porciones que describen los españoles a su llegada (SRH, 1964). Según algunos documentos de la época precolombina (Brown, 1982) existían de 3 a 6 lagos (divididos artificialmente por diques) formando un solo cuerpo de agua a diferentes alturas: cuando llegaron los conquistadores, el lago llegaba desde Chalco hasta Zumpango, extendiéndose por más de 70 km de longitud, en su interior existían redes de diques que se conectaban con las corrientes naturales, estas obras servían como medio de comunicación, transporte y para el drenaje del agua abundante, el nivel del lago en Xochimilco estaba 3 metros más arriba que el nivel del lago en Texcoco; todavía en el siglo XIX los lagos

cubrían un área de aproximadamente 1 000 km², el equivalente a una novena parte del total de la Cuenca. Aunado al cierre de la Cuenca por el surgimiento de la sierra antes mencionada, también estuvo afectada por periodos glaciales e interglaciales durante los últimos 100 000 años, influyendo con su deshielo en la formación de los lagos. Todo lo anterior hace suponer que las lagunas del este de la Cuenca de México: Apan, Tochac y Tecocomulco son contemporáneas del lago de Anáhuac, al estar totalmente influenciadas por los mismos procesos, es decir, la actividad tecto-volcánica y los diferentes fenómenos atmosféricos.

Durante la época colonial, por las constantes inundaciones se creó el proyecto para drenar la cuenca hacia el Golfo de México, por medio de los ríos Tula, Moctezuma y Pánuco. La obra fue dirigida por el cosmógrafo alemán Enrico Martínez (Heinrich Martin), al mando de más de medio millón de trabajadores, el 17 de septiembre de 1608 se inaugura el drenado artificial de la Cuenca de México a través del canal de desagüe conocido como Tajo de Nochistongo. Posteriormente, ante la falta de espacio para el crecimiento de la población y por las mismas inundaciones se amplían las obras, ahora con la construcción del Túnel de Tequisquiác y las obras de desagüe del drenaje profundo de la Ciudad de México. Para facilitar la construcción de ambos canales, se aprovechó la relativa estrechez de la Sierra de Tepotzotlan en la parte noreste de la Cuenca y por consiguiente su cercanía con la planicie: en el Tajo de Nochistongo la distancia entre la planicie y el parteaguas no rebasaba los 2 km, en el caso del Túnel de Tequisquiác, se construyeron 2 túneles con una separación entre ellos de 1.5 km, en el primer túnel la separación entre la divisoria y la planicie fue de 2 km y para el segundo fue de 3.5 km por cruzar parte del piedemonte del cerro Xalpan (figura 2).

El drenado del lago de Anáhuac lo empieza a fragmentar, hasta que desaparece la mayor parte de la superficie inundada y en su lugar solo quedan algunos fragmentos en Chalco, Texcoco, Xochimilco y Zumpango; en la parte este de la cuenca se encuentran las lagunas de Apan, Tochac y Tecocomulco (figura 2). Actualmente las primeras ya han sido drenadas, manteniéndose artificialmente con agua residual procedentes del área urbana; en el caso de las segundas, la recarga todavía se produce por las lluvias de la región, aunque no por ello se han librado de los intentos de desecación.

2.3.3. GEOLOGIA GENERAL

En la Cuenca de México se conocen una amplia variedad de materiales de origen volcánico como derrames, lahares, lapillis, brechas, ceniza volcánica, aglomerados, cuya composición química varía de ácida a básica. En la planicie hay sucesiones de arcillas, limos y horizontes arenosos en paquetes de más de 400 m de espesor, además de horizontes de diatomita, turba y caliche, en asociación con los depósitos lacustres (Mooser, 1975; Mooser y Montiel, 1989; Vázquez y Jaimes, 1989; Mooser, 1990).

De manera general, la Cuenca de México está formada por tres grupos litológicos (figura 3):

a) Rocas volcánicas.

Comprende a las rocas terciarias y cuaternarias que corresponden a las principales sierras de la cuenca.

b) Material aluvial.

Está formado por material erosionado de origen Terciario y Cuaternario, se le encuentra al pie de las sierras, en las partes planas de la cuenca y en todos los cauces fluviales. Su espesor y extensión varía a lo largo de toda la cuenca.

c) Material lacustre.

Se encuentra en zonas que anteriormente estuvieron cubiertas por agua. Está formado principalmente por diferentes estratos o paquetes de arcillas de diferente composición química, mineralógica y textural, con espesores que van desde unos cuantos centímetros hasta varias decenas de metros; los depósitos lacustres se alternan con otros, principalmente fluviales.

2.3.4. ESTRATIGRAFIA

La de la Cuenca de México tiene sus orígenes durante el Cenozoico, principalmente a partir del Mioceno y hasta la actualidad. Durante el Plioceno y como consecuencia del emplazamiento de

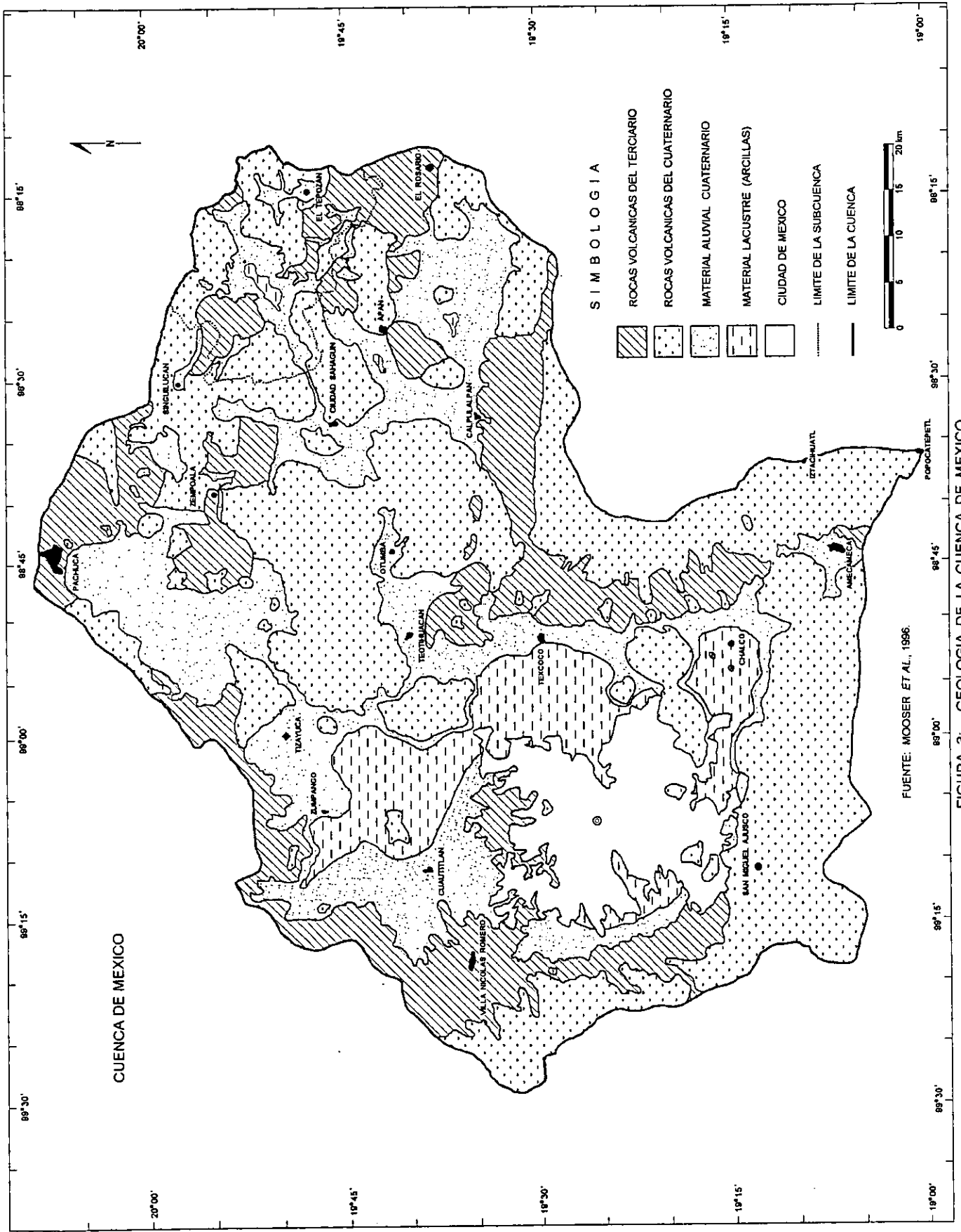


FIGURA 3: GEOLOGIA DE LA CUENA DE MEXICO

cuerpos volcánicos, se afectan e interceptan corrientes fluviales, desarrollándose varias cuencas lacustres.

La secuencia estratigráfica en la Cuenca de México consiste de una amplia variedad de rocas volcánicas, volcanoclástico y clásticas, derrames de lava, piroclastos, ceniza volcánica, depósitos de lahares, aluviales y lacustres. Su composición es principalmente basáltica, andesítico-basáltica, andesítica, dacítica, traquiandesítica y riolítica. Todo lo anterior sobreyace de forma discordante a rocas calcáreas del Cretácico, las cuales constituyen el basamento de toda la secuencia volcánica y sedimentaria del Terciario y el Cuaternario, la discordancia ocupa desde el Paleoceno Inferior hasta el Eoceno Medio.

Existen varios estudios geológicos que intentan representar la estratigrafía de la Cuenca de México, entre los más reconocidos se encuentran Schlaepfer (1968), Mooser (1988), Cserna Z. de *et al.* (1987), Vázquez y Jaimes (1989) y Enciso (1990) (tabla 1).

La secuencia cronoestratigráfica de la Cuenca de México es compleja y difícil de corroborar, ya que no hay suficientes elementos paleontológicos que ayuden a establecerla, además de la diversidad de criterios para datar las muestras estratigráficas de los diferentes pozos profundos, de donde se genera la mayor parte de esta información (Aguayo *et al.*, 1989). La estratigrafía reconocida por los autores consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que descansan sobre rocas calcáreas del Cretácico. Aunque cada autor a su modo pretende sintetizar cómo se encuentra la estratificación, usan una terminología distinta para enmarcar formaciones, grupos, supergrupos y alogrupos. Entre los autores existen divergencias en la datación de las formaciones; pero, en sí concuerdan en que la mayor parte de las formaciones que integran a la Cuenca de México parten del Terciario, en su parte correspondiente al Neógeno, ocupando el Mioceno (entre 26 y 7 millones de años) y el Plioceno (entre 7 y 2.5 millones de años). El resto de las formaciones son del Cuaternario, del Pleistoceno (2.5 a 0.1 millones de años) en el caso de algunas sierras mayores, finalmente para el Holoceno (de los últimos 100 000 años a la fecha) datan las formaciones lacustres y aluviales.

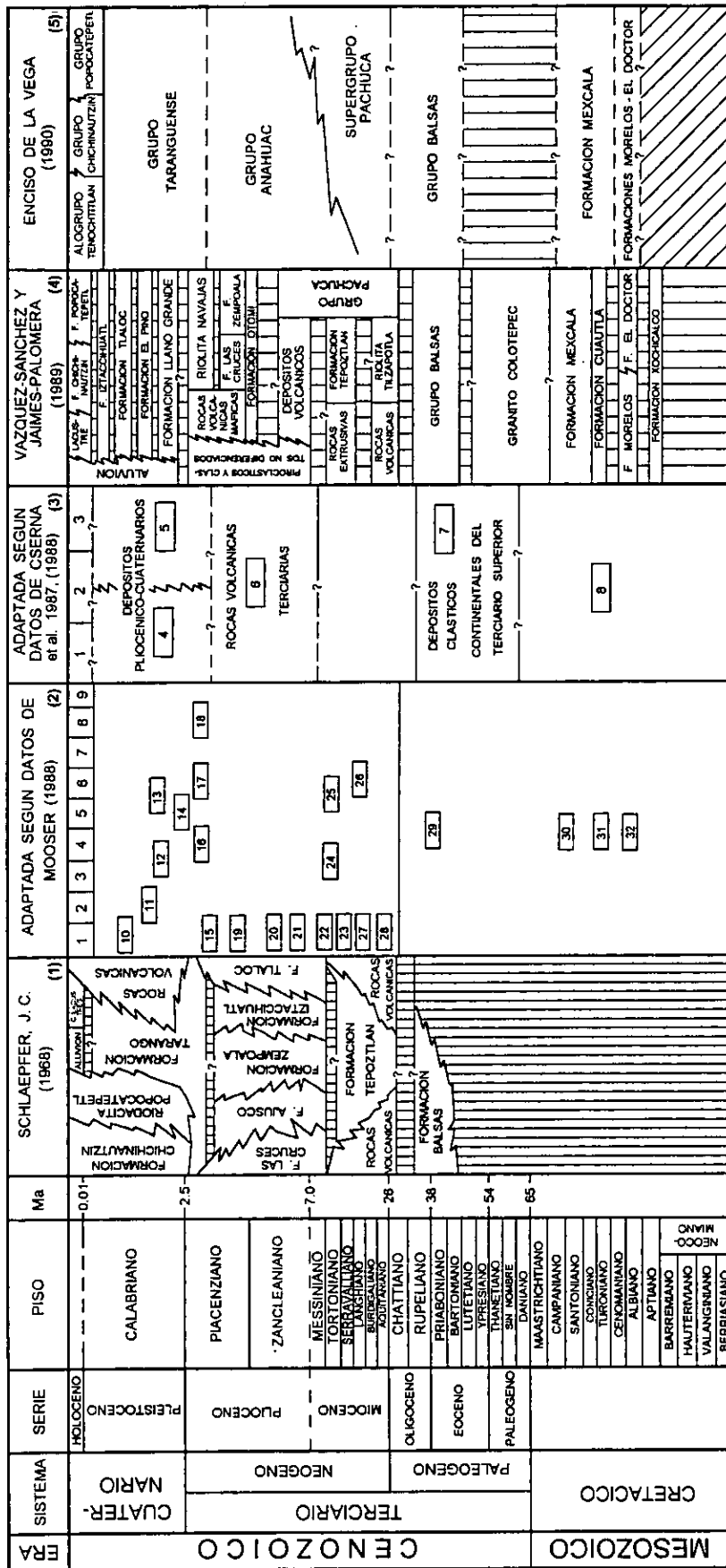


Tabla 1. Tabla estratigráfica que muestra las diferentes terminologías usadas en las rocas de la Cuenca de México. (1) Las líneas en zigzag indican la interdigitación; incluye tres unidades de rocas volcánicas sin denominar. La Formación Tepoztlán no aflora en la Cuenca de México. (2) 1-depósitos aluviales, 2-depósitos lacustres, 3-abanicos de lava reciente, 4-derrames de lava reciente, 5-lava y toba del norte de la Cuenca, 6-derrames de lava reciente, 7-Grupo Chichinautzin anterior a 700,000 años, 8-derrames de lava reciente, 9-lava y toba del norte de la Cuenca, 10-?, 11-lava y toba pliocénico-cuaternarias del norte, 12-lavas antiguas del Iztaaccihuatl, 13-Grupo Chichinautzin anterior a 700,000 años, 14-conos volcánicos mayores del Plioceno Superior-Cuaternario Inferior, 15, 19 y 20-Grupo de las Sierras Mayores, 16 y 17-Formación Tarango, 18-serie Nochistongo y Requena, 22-Grupo Pachuca, 23-vulcanitas no diferenciadas, 24-Serie Santa Isabel, 25-Serie Humanadas, 26-Lahares Tepozteco, 28-Formación Xochitepec, 29-Serie Huehuetoca y Grupo Balsas, 30-Formación Mexcala, 31-Formación Cuautla, 32-Formación Morelos. (3) 1-depósitos lacustres, 2-aluvión, 3-derrames de lava, cenizas y rocas epiclásticas, 4-rocas epiclásticas, abanicos aluviales coalescentes, lahares, Formación Tarango, 5-andesita, 6-derrames de lava andesíticos y dacíticos, 7-molasa continental, capas rojas, conglomerado y evaporitas lacustres, 8-depósitos mesozoicos plágados de origen marino. (4) El granito Colotepec y la Formación Xochicalco (Fries, 1960) no afloran en la Cuenca. (5) Propone nuevos grupos para la rocas de la Cuenca de México: Alogrupo Tenochtitlán, Grupo Popocatepeli, Grupo Tarangense y Supergrupo Pachuca.

2.3.5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Como consecuencia del choque de placas tectónicas, se conjugan fuerzas que originan nuevas rupturas de la corteza, formando bloques diferenciados, es decir ya no forman un solo cuerpo. A medida que la astenosfera sigue con sus movimientos convectivos, el movimiento de las placas (litosfera) continua también (Park, 1988).

El CVTM consiste de una serie de depresiones distensivas formadas por la subducción de las placas de Cocos y de Rivera por debajo de la placa de Norteamérica (Mooser, 1975; Demant, 1978; Medina, 1985; Verma y Armienta, 1985) (figura 1).

La actividad tectónica en la Cuenca de México está totalmente influenciada por la formación del CVTM. Durante el Plioceno existió una fuerte actividad tectónica, manifestándose con la formación de sistemas de fallas y fracturas conjugadas con dirección NE-SW y NW-SE, lo que ocasionó que a lo largo del CVTM se formaran una serie de fracturas y fallas que tienen entre sí una componente similar por ser producto del mismo esfuerzo, se extienden desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México. En el caso concreto de la Cuenca de México, se aprecian una serie de 16 fallas de desplazamiento superficial que la atraviesan con una dirección NE-SW (Aguayo *et al.*, 1989) (figura 4).

Las fallas delimitan 15 bloques estructurales distensivos, paralelos entre sí, con una separación promedio de 6 km, incluyen 2 depresiones o grabens, uno entre las fallas 8 y 9 y otro entre las fallas 12 y 13. Los sistemas de fallas transcurrentes y distensivos tienen dirección de movimiento izquierdo de la 1 a la 8 y de movimiento derecho de la 9 a la 16.

Las 2 depresiones distensivas con dirección NW 35° SE son consecuencia del desplazamiento simultáneo que ocurre entre la placa de Norteamérica hacia el W-SW y la de Cocos hacia el NE. En el interior de las depresiones se encuentran Chalco y Amecameca en una, y Apan y Zempoala en la otra (figura 4). Lo más sobresaliente de estas depresiones es que en ellas se encuentran 4 de los últimos 6 cuerpos de agua que aún subsisten: Zumpango y Texcoco en la primera y Apan y Tohac en la segunda. La dirección preferente del drenaje de la primer distensión, es lo que facilitó la construcción de las diferentes obras para drenar de manera artificial la Cuenca de México, por su fácil comunicación con la cuenca del río Pánuco hacia el Golfo de México.

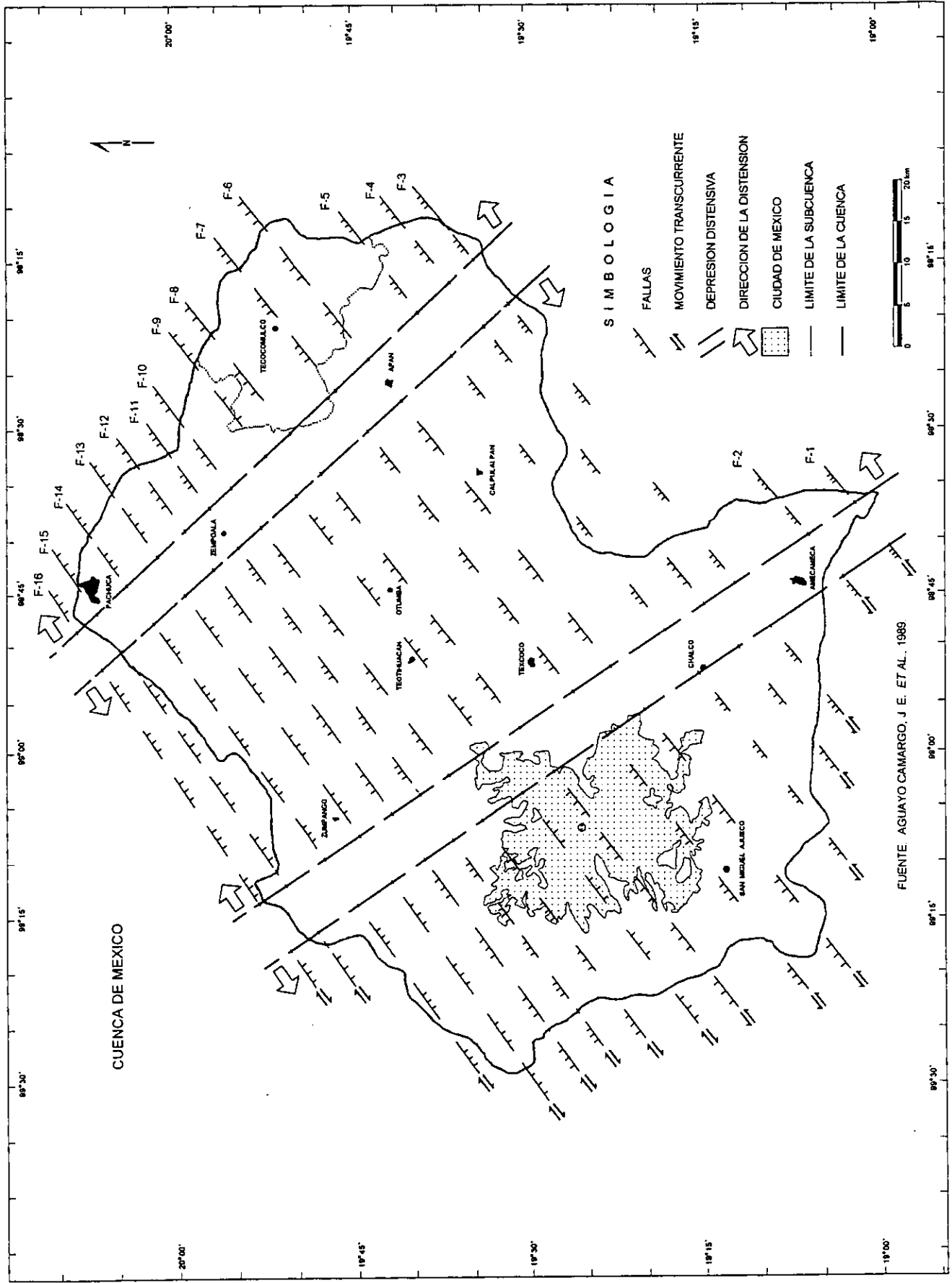


FIGURA 4: MODELO TECTONICO - ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE MEXICO

CAPITULO 3.

SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

3.1. MEDIO FISICO

Se considera medio físico a la parte superficial de la corteza terrestre, en donde el hombre desarrolla sus actividades; es la superficie de la Tierra que no considera cambio alguno sobre ella por el hombre, toma en cuenta sus componentes y cómo se encuentran distribuidos (agua, suelo, roca, vegetación, fauna y clima).

3.1.1. TOPOGRAFIA

La subcuenca de Tecocomulco era una cuenca endorreica, pero cuando el hombre quiso ganar terreno para el cultivo, la drenó por medio de un canal de 6 km que lleva el mismo nombre, construido entre los cerros La Paila y La Cruz, al suroeste de la laguna (figura 5), anexándola a la Cuenca de México.

La parte central de la subcuenca está formada por una enorme planicie aluvial y lacustre (en donde se encuentra la menor altitud 2 524 msnm), además de otras planicies intermontanas de diferente dimensión y altitud. Por su parte, las principales elevaciones se encuentran en el parteaguas de la misma, sin contar algunas montañas y lomeríos del interior (figura 5).

Las elevaciones montañosas están formadas por la Sierra de Chichicauhtla al norte, y la Sierra del Tepozán al este y sur (figura 2). En la Sierra de Chichicauhtla la mayor elevación corresponde al Cerro La Paila, de origen cuaternario, alcanza los 3 200 msnm, mientras que en el Cerro El Agua Azul, de origen terciario, apenas sobrepasa los 3 000 msnm. Lo contrario sucede en la Sierra del Tepozán, donde ahora la mayor elevación corresponde a el Cerro La Peña de origen volcánico terciario, el cual alcanza los 3 375 msnm, siendo ésta la mayor altura registrada en la subcuenca; la mayor elevación cuaternaria se encuentra sobre la cima del Cerro Las Tetillas con 3000 msnm. En el caso concreto de algunas elevaciones menores del interior que sobresalen como

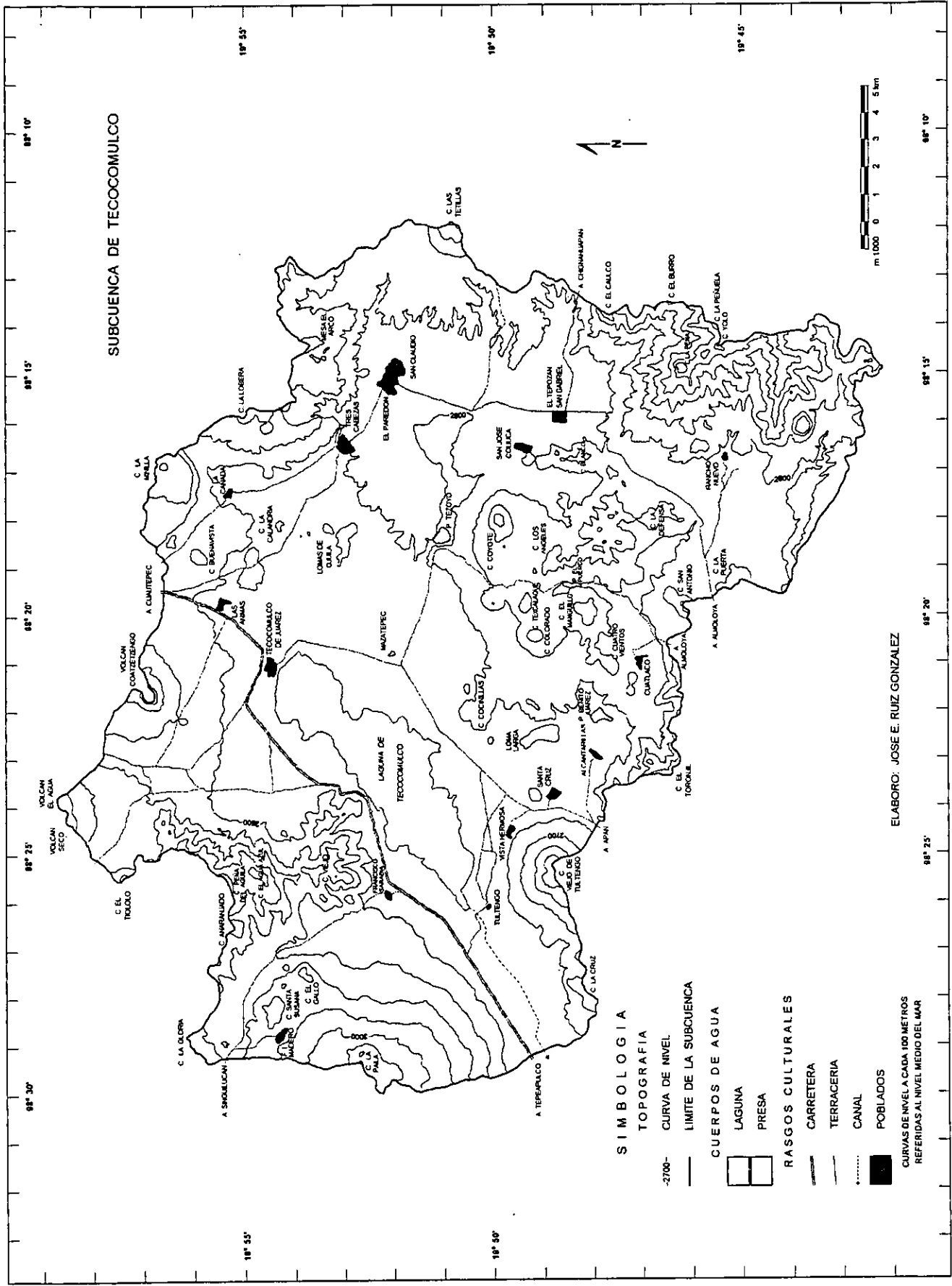


FIGURA 5: TOPOGRAFIA DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

pequeñas lomas o cerros aislados son: Loma Larga, Lomas de Ojuila, Cerros de Santa Cruz, Mazatepec, La Calandría y Buenavista (figura 5).

3.1.2. GEOLOGIA

Al igual que en la Cuenca de México, las estructuras volcánicas de la subcuenca de Tecocomulco pertenecen a los sistemas Terciario y Cuaternario (figura 6), las planicies son cuaternarias, constituidas de aluvión, sedimentos lacustres y cenizas volcánicas. En el interior de la subcuenca no afloran rocas cretácicas, las cuales constituyen el basamento de las diferentes formaciones que aquí se encuentran.

Durante la formación de la subcuenca hubo periodos donde solo se manifestaron derrames de lava, intercalados con periodos de explosiones violentas que arrojaron grandes cantidades de tobas y ceniza volcánica, así como periodos de erosión y depósito de sedimentos.

Para entender la terminología sobre el nombre de las formaciones, fue necesario conocer de antemano que las rocas piroclásticas se clasifican primero por su textura y después por su composición, siendo importante también si los agregados que las forman están sueltos o cementados, según la Clasificación de Wentworth y Williams (1932) modificada por Compton (1970), en Compton (1983) (ver ANEXO 1).

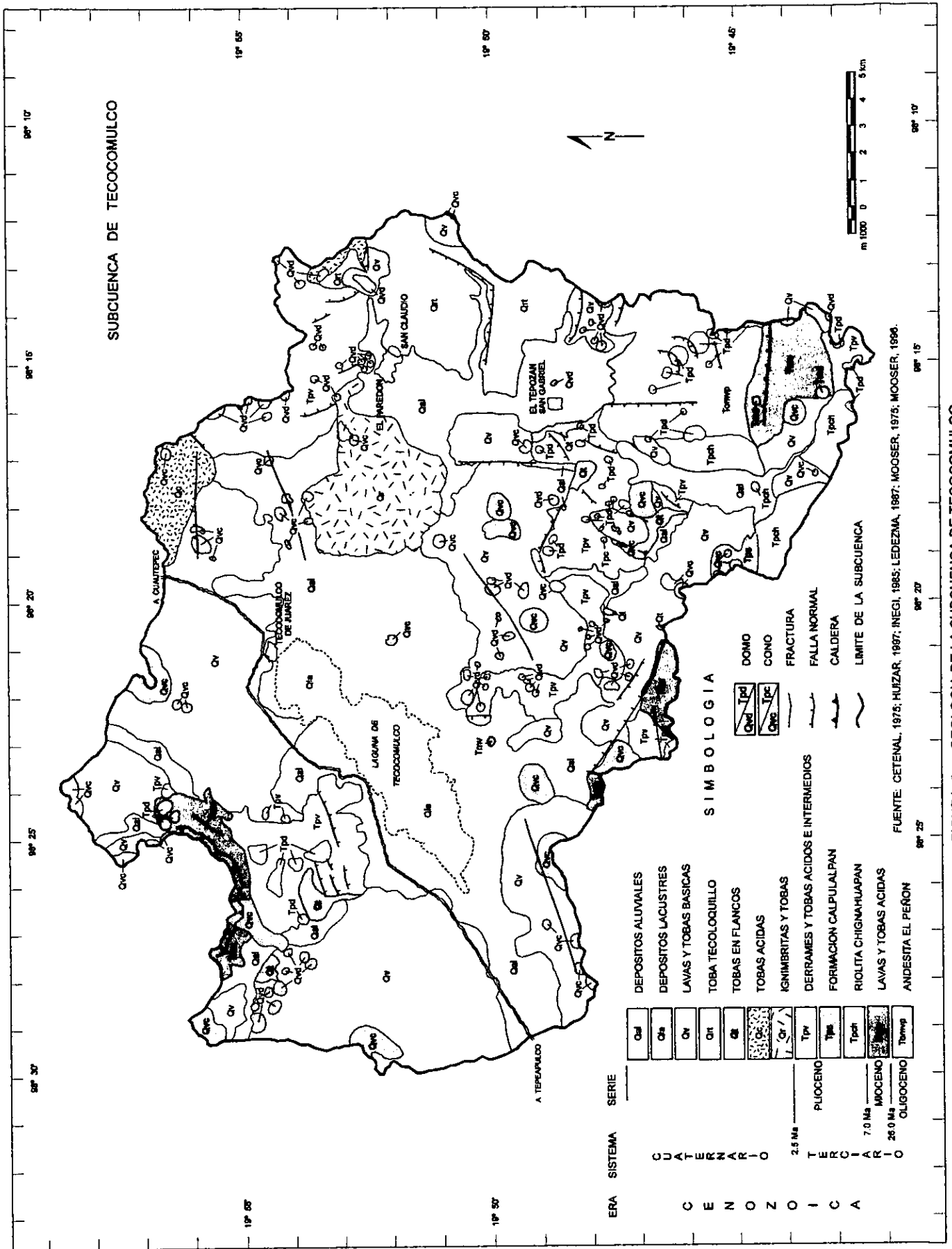
3.1.2.1. ESTRATIGRAFIA

La disposición que guardan los diferentes estratos litológicos, según su datación por sistema y serie son (figura 6):

TERCIARIO:

OLIGOCENO (entre 38 y 26 mda).

Andesita el Peñón (Tomvp) (Ledezma, 1987). Es una secuencia de derrames de andesita intercalada o cubierta por derrames de riolita. Este tipo de roca es semejante litológica y



geomorfológicamente a la rocas del Grupo Pachuca, por lo que se consideran de la misma edad. Morfológicamente este grupo alcanza la elevación más alta que se registra en la subcuenca, se localiza al sureste de la misma, ocupa las mayores altitudes de la Sierra del Tepozán, presenta acantilados de más de 100 m de altura (Cerro La Peña). Los enormes acantilados están constituidos por andesita, la característica principal de ésta andesita es que forma prominencias topográficas; al no presentar características de derrame, se le considera una roca subvolcánica. Se desconoce su espesor, pero, muestra espesores que varían de 100 a 700 metros. Se encuentra sobre rocas cretácicas que no afloran en el interior de la subcuenca.

MIOCENO (entre 26 y 7 mda).

Lavas y tobas ácidas (Tmv) (Mooser, 1996). Están formadas principalmente por derrames de composición riolítica de alta viscosidad, lo que favoreció que sus costados quedaran empinados al enfriarse, los derrames de roca están cubiertos por toba de grano fino (ceniza y polvo volcánico de colores claros) de igual composición. Se encuentran distribuidos en cinco zonas de la subcuenca, concentrados principalmente en dos áreas: en el sureste, en la zona elevada del Tepozán y en el noreste, en los límites de la caldera de Chichicauhtla.

PLIOCENO (entre 7 y 2.5 mda).

Riolita Chignahuapan o Chignauapan (Tpch) (Ledezma, 1987). Es una secuencia de derrames volcánicos, principalmente de riolita. Se encuentra al oeste y suroeste de la Sierra del Tepozán. Está compuesta de dos tipos de roca: uno duro consistente en riolita fluidal en la parte superior y otro de roca suave alterada. Sobre la riolita se encuentra una toba riolítica de color blanco a gris con alto contenido de pómez. Tiene un espesor aproximado de unos 150 m.

Formación Calpulalpan (Tpc) (Ledezma, 1987). Se define así a los depósitos de piedemonte que bordean la base de estructuras terciarias, también aparece en forma de grandes abanicos. La parte superior está compuesta por cenizas volcánicas (vidrio volcánico pomoso). La base de la unidad está compuesta por fragmentos andesíticos gruesos, angulosos y subangulosos del tamaño de arena, grava y cantos. Durante el desarrollo de esta formación la actividad volcánica disminuyó, reiniciándose a principios del Cuaternario, predominando material de composición básica. Esta Formación presenta las mismas características geomorfológicas y litoestratigráficas a la que Bryan (1948, *in* Vázquez y Jaimes, 1989) llamó Formación Tarango. En la subcuenca solo se encuentra en las laderas del cerro La Puerta, el grueso de esta formación ocupa áreas mucho mayores en las subcuencas vecinas de Apan y Tochac.

Derrames y tobas ácidas e intermedias (Tpv) (Ledezma, 1987; Mooser, 1996). Es un conjunto de afloramientos rocosos volcánicos, cuya composición es variable, se encuentran distribuidas a lo largo de la subcuenca; entre sus rocas hay andesita, latita, riolita y toba riolítica. Esta litología subyace a derrames basálticos cuaternarios y a la Formación Calpulalpan. Se encuentran distribuidos en diferentes laderas de la subcuenca.

C U A T E R N A R I O (desde 2.5 mda a la fecha).

Las rocas y depósitos sedimentarios del Cuaternario son los más abundantes dentro de la región de estudio, se encuentran como lavas basálticas, conos volcánicos, depósitos piroclásticos riolíticos y aluvión.

Ignimbritas y tobas (Qr) (Mooser, 1996). Son depósitos formados por avalanchas incandescentes o por derrames piroclásticos de composición riolítica, por su alta temperatura al acumularse se soldan; están en forma de cuerpos macizos de aspecto granuloso, los colores que presenta va de los claros a los rojizos. Se localizan en la parte centro-este de la subcuenca, forman al relieve que constituye a las Lomas de Ojuila.

Tobas ácidas (Qc) (Mooser, 1996). Está formada por una secuencia de derrames de composición riolítica semiviscosa. Se le encuentra en el norte de la subcuenca formando al Cerro La Minilla, limita al sureste con tobas de igual composición, pero de edad más antigua. También hay una pequeña zona de este grupo en el este de la subcuenca, en dirección norte con respecto al Cerro Las Tetillas.

Tobas en flancos (Qt) (Mooser, 1996). Es de origen similar a la Formación Calpulalpan, sólo que de edad más reciente, se encuentran como depósitos de piedemonte y abanicos en la base de los cuerpos montañosos antecesores, están distribuidos en diferentes laderas de la subcuenca; la composición de esta toba va de ácida a intermedia.

Toba Tecoloquillo (Qrt) (Ledezma, 1987; Mooser, 1996). Sólo se encuentra al este de la subcuenca, está constituida por grandes espesores de toba riolítica, compuesta por pómez y algunos fragmentos de rocas volcánicas ácidas provenientes del volcán Tecoloquillo (Cerro Las Tetillas), se estima que su espesor alcanza los 300 metros.

Lavas y tobas básicas (Qv) (Ledezma, 1987; Mooser, 1975; Mooser, 1996). Se encuentran distribuidas en toda la subcuenca, ocupan la mayor parte de todas las elevaciones montañosas,

incluyen derrames de lava y conos cineríticos de composición basáltica, los derrames presentan estructura fluidal y en bloque, consisten en repeticiones de lavas básicas de alta fluidez y piroclastos.

Depósitos lacustres (Qla) (Ledezma, 1987; Mooser, 1975; Mooser, 1996). Están formados por horizontes de materiales arcillosos y arcillo-limosos, cuyos espesores alcanzan desde unos milímetros hasta unos metros. Se localizan en la laguna de Tecocomulco y en pequeñas zonas que anteriormente estuvieron cubiertas por agua, como son al sur de la misma laguna, a ambos lados de Loma Larga existen dos pequeñas depresiones que se anegan durante la época de lluvias; cuando esto sucede localmente se les conoce como laguna de Guadalupe y laguna de Santa Cruz.

Depósitos aluviales (Qal) (Ledezma, 1987; Mooser, 1975; Mooser, 1996). Estos depósitos se encuentran en todas las zonas bajas de la subcuenca, principalmente en la planicie central y en los diferentes valles; están constituidos por diferentes horizontes arenosos y areno-limosos dispuestos casi en forma horizontal, alcanza espesores que van del orden de centímetros a algunas decenas de metros.

3.1.2.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Anteriormente se dijo que la Cuenca de México está influenciada por 16 diferentes fallas que la cruzan de extremo a extremo con dirección NE-SW (figura 4); en el caso particular de la subcuenca de Tecocomulco se ve afectada por 3 de estas fallas, las cuales son:

Falla 6 (F6). Cruza la cuenca desde el poblado de Tlahuac, atravesando los poblados de Emiliano Zapata, la laguna de Apan, continuando hasta los límites de los Estados de Hidalgo y Puebla, en el pueblo doble de El Paredón-San Claudio.

Falla 7 (F7). Parte del pueblo del Ajusco hasta el poblado de Tecocomulco, prolongándose hasta el cerro La Minilla; en el interior de esta falla se encuentra asentada la laguna de Tecocomulco. El valle de Tecocomulco es considerado una fosa tectónica con orientación NE-SW (Ledezma, 1987).

Falla 8 (F8). Cruza el pueblo de Contreras; las colonias Napoles, Del Valle, Narvarte, Roma, Doctores, Juárez y Cuauhtemoc en el centro de la Ciudad de México; el Caracol en el vaso de Texcoco, Otumba, Tlanalapan y Cuauhtemoc de Hinojosa.

La fallas más próximas pasan a poco más 3 de km al sur (falla 5) de la pequeña punta localizada al sur de la subcuenca; del otro lado, en la parte NW la falla 9 pasa en el interior del pueblo de Singuilucan, el cual se encuentra a 5 km en la misma dirección del cerro La Gloria.

Dentro de la subcuenca se encuentran dos tipos de sistemas de fallas y fracturas, el primero y más importante tiene una dirección NE-SW (representado sobre todo por las 3 fallas anteriores), mientras que el segundo incluye alineaciones en dirección NW-SE.

Como se puede ver en el mapa geológico de la subcuenca (figura 6), también existen algunas fallas y fracturas locales de entre 1 y 5 km de longitud que mantienen la componente NE-SW, al ser consecuencia de los esfuerzos regionales, además de otras con diferentes direcciones. La dirección de los otros lineamientos se debe a fallamientos y fracturamientos que ha sufrido la roca por los esfuerzos sufridos en la corteza a causa del tectonismo y volcanismo Cuaternario, sin descartar al mismo enfriamiento de la roca.

Algunas corrientes temporales siguen los lineamientos que han formado las fracturas y fallas, las cuales se encargan de profundizar cada vez más.

En la parte NE sobre la Sierra Chichicuautila se encuentra la Caldera de Chichicuautila, estructura volcánica con forma de media luna, su altura promedio es de 250 m, con un diámetro de 6 km (figura 6), está delimitada por los cerros Anaranjado, Peña del Aguila y Tiololo.

Los volcanes de Santa Ana son dos estratovolcanes y seis conos cineríticos, alineados con una dirección NE-SW, se encuentran al este de la subcuenca; de los anteriores destacan solo en esta subcuenca los cerros Viejo de Tultengo y la Cruz, sus lavas fluyeron en dirección al cerro la Paila (figura 5), lo que se cerró la cuenca de la laguna de Tecocomulco.

3.1.3. HIDROLOGIA

De acuerdo con la zonificación hidrológica de la Cuenca de México, realizada por la SRH (1972) la subcuenca de Tecocomulco ocupa la Zona N° XI.

Un rasgo sobresaliente y quizá el más importante es que dentro de la subcuenca se encuentra la Laguna de Tecocomulco. En la actualidad, los autores difieren entre los conceptos de lago y laguna, y a los cuerpos de agua dentro del continente les designan uno u otro concepto, según su criterio o la clasificación que siguen (Arrignon, 1984). La Limnología o ciencia que se encarga del

estudio de los lagos, dice que los lagos y lagunas son depresiones del relieve (cuyo origen puede ser: tectónico, volcánico, derrumbes y deslizamientos, disolución, etc.) en donde se acumulan o estancan grandes masas de agua; la diferencia que distingue los conceptos es la profundidad, mientras que el lago tiene una profundidad mínima de 10 m, en donde se distingue una estratificación térmica del agua, en la laguna existe poca profundidad, por lo que no existe en su interior estratificación térmica. En México el termino laguna se aplica indistintamente para ambos casos (Lugo, 1988), lo cual es incorrecto.

La hidrografía de la subcuenca aquí analizada (figura 7) está compuesta de numerosos manantiales, arroyos torrenciales, ríos permanentes y un cuerpo de agua que ocupa la parte más baja: la Laguna de Tecocomulco. De los 3 ríos permanentes:

- Dos ríos nacen en la Sierra del Tepozán, en los bordes del cerro La Peña, el agua del río Tepozán es capturada por la presa Tezoyo, en donde se infiltra; a su vez el río Cuatlaco alimenta la presa Benito Juárez y posteriormente fluye hasta llegar a la laguna, cabe mencionar que este río es el único que durante casi todo el año alimenta a la laguna, aportando el mayor volumen de agua, aunque con variaciones estacionales de caudal.
- Un tercer río se inicia en la Sierra de Chichicuautila, en el NE, entre los cerros de La Paila, del Agua Azul y el Viejo, a este río no se le conoce un nombre oficial, pero localmente se le conoce como Canoas. El escurrimiento de este río llega directamente a la laguna sólo en la época húmeda, pues en época seca se infiltra mucho antes de llegar al poblado de Francisco Sarabia.

El aporte de agua subterránea se manifiesta por algunos manantiales, que a lo largo del año aumentan o disminuyen su descarga, visualmente se aprecia, que conforme transcurre la época seca del año la cantidad de descarga es menor que durante y después de la época de lluvia. De manera lógica, las corrientes permanentes están ligadas a la distribución de manantiales, por lo que sólo se encuentran en sus inmediaciones, pero, de donde llega el mayor caudal es de los manantiales de la zona de Alcantarillas, en la base del poblado que lleva el mismo nombre.

La mayoría de los manantiales son aprovechados para abastecer de agua a los poblados inmediatos a ellos, conduciendo el agua a través de tuberías. De igual manera la mayoría de los pozos y norias que hay dentro de la subcuenca se explotan con fines de proveer de agua a los pobladores locales.

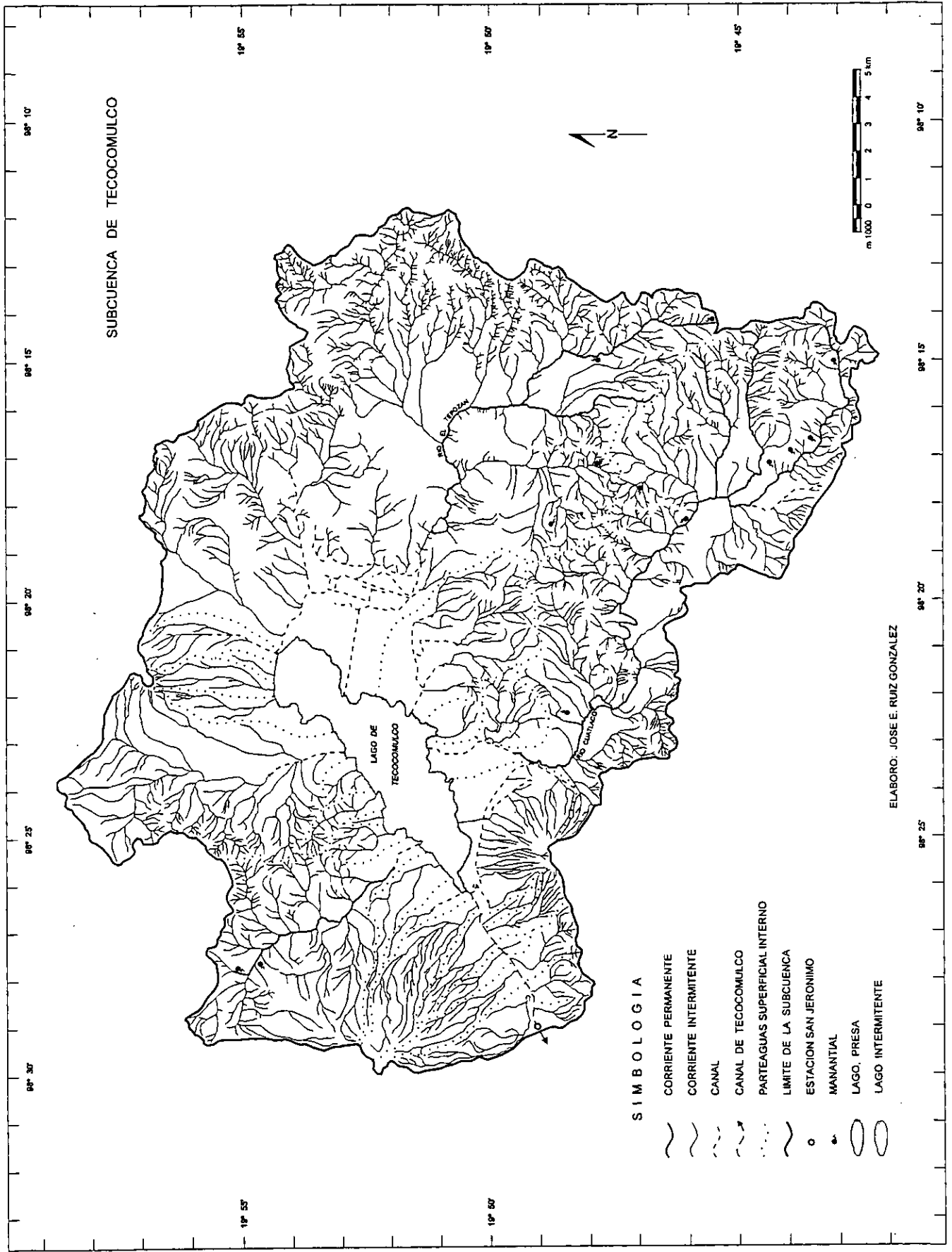


FIGURA 7: HIDROGRAFIA DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

La laguna de Tecocomulco esta rodeada por un amplio sistema de canales, la mayoría de los cuales se encuentran en la planicie principal; su construcción se hizo con el propósito de agilizar el escurrimiento de las zonas agrícolas, evitando con ello el estancamiento del agua. Al este de la laguna es donde se concentra la principal red de canales, el resto de ellos rodean la laguna de manera aislada; en el extremo suroeste de la laguna se encuentra el canal de Tecocomulco, el cual se encarga de su desagüe cuando el agua sube de nivel.

3.1.3.1. ANALISIS DE LA CUENCA

TAMAÑO.

El tamaño de las cuencas para su estudio es relativo, depende hasta que grado se quiere estudiar; una pequeña subcuenca se puede tomar como una cuenca (como en este caso la subcuenca de Tecocomulco, una parte de la Cuenca de México).

Dependiendo del tamaño de la cuenca, el *tiempo de concentración* del agua será más rápido o más lento; por ejemplo, en cuencas pequeñas la precipitación de gran intensidad afecta notoriamente a la superficie a causa del escurrimiento. En la subcuenca de Tecocomulco por su extensa red de drenaje (figura 7), el agua en escurrimiento ya tiene sus recorridos perfectamente preestablecidos, pero inevitablemente en muchos de los escurrimientos el agua continúa con la incisión del terreno, favoreciendo el posterior desarrollo de cárcavas y barrancos.

Es difícil distinguir una cuenca grande de una pequeña; una cuenca pequeña se define como aquella cuyo escurrimiento es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, alcanza desde unos cuantos metros hasta un límite de 250 km^2 (Springal, 1969). La definición anterior hace que la subcuenca de Tecocomulco pueda ser catalogada como grande, al contar con una superficie de 536.67 km^2 , por su parte la extensión del parteaguas es de 137.75 km .

FORMA

La forma de la cuenca influye en cómo se produce el escurrimiento. En cuencas alargadas el escurrimiento es uniforme y paulatino sobre los cauces de iguales características, en cuencas compactas los cauces por lo general son cortos, permitiendo que el agua viaje más rápido.

Existen diversos índices que comparan la forma de las cuencas a través de medidas lineales y areales con figuras geométricas:

1. Circularidad de Miller (De Souza *et al.*, 1996). Según el autor, el valor total de circularidad es 1, a medida que el valor obtenido por este método se separa de este número y se acerca a cero la circularidad no existe. Al sustituir los valores requeridos por la fórmula (ver ANEXO 2) se obtiene como resultado 0.355, lo que indica que la circularidad de la subcuenca de Tecocomulco es nula.
2. Factor forma de Horton (De Souza *et al.*, 1996). Señala si el perímetro de la cuenca sigue algún patrón geométrico. Al sustituir los valores en la fórmula (ver ANEXO 3) se obtiene como resultado 0.208, por su cercanía al cero se descarta la similitud de la subcuenca con alguna forma geométrica.

3.1.3.2. PATRON DE DRENAJE

Después de marcar o calcar sobre la carta topográfica todos los escurrimiento superficiales impresos e inferir por medio de las curvas de nivel todos los posibles escurrimientos, se obtuvo la red hidrográfica de la zona de estudio. Al compararse la configuración (figura 7) con la clasificación compilada por Guerra (1980) (ver ANEXO 4), se observa que corresponde con la configuración natural, en su forma ordenada o regular, en particular a la dendrítica y la radial.

La mayor parte de la subcuenca tiene una configuración de tipo dendrítica, a la que también se le llama arborescente por su similitud con la configuración de un árbol; etimológicamente el nombre proviene del vocablo griego δένδρον (dendros) - árbol. Este tipo de configuración es la más común, su distribución sigue todas direcciones sobre la superficie, pero, siempre en favor de la pendiente, por lo mismo se van uniendo las corrientes una con otra en ángulos agudos.

La existencia del drenaje dendrítico en toda la subcuenca indica que la estructura y composición litológica es similar (principalmente volcánica), por lo que no hay interferencia en el escurrimiento, a excepción de algunas fracturas y fallas que lo afectan de manera local. Si se observa detenidamente la hidrología (figura 7) y se correlaciona con la topografía (figura 5), se tiene que el patrón dendrítico localmente cambia su comportamiento a consecuencia de la longitud e inclinación de la ladera y de la litología del relieve. En la zona de montaña (en los cerros La Peña, La Peñuela,

El Burro, Blanco, La Defensa, El Coyote, El Colorado, El Toronjil, Viejo, El Agua Azul y Peña del Aguila), las primeras corrientes son cortas y se van alargando a medida que descienden; por otro lado, donde el terreno no alcanza grandes alturas y la pendiente es de poca inclinación (en los cerros Viejo de Tultengo, La Cruz, La Paila, Santa Susana, El Gallo, La Gloria, El Tiolo, La Minilla y en los volcanes Seco, El Agua y Coatzetzingo), las primeras corrientes no son tan cortas como las anteriores, inclusive alcanzan longitudes de varios kilómetros.

En la base del cerro las Tetillas (volcán Tecoloquillo), sobre la toba riolítica (Toba Tecoloquillo) sigue la configuración dendrítica, pero con una variante angular, la cual se caracteriza por que la unión de algunos de sus tributarios lo hacen en ángulo recto (90°), la razón es que este material tiene una mayor *erodabilidad*, por lo tanto, es también en esta área donde se encuentra la mayor cantidad de barrancos.

Siguiendo estrictamente la clasificación, también se observa la configuración radial, en forma centrífuga; esta configuración parte de un punto central de donde el escurrimiento se disipa en todas direcciones. Es característica de cuerpos elevados, por lo tanto, los volcanes de la subcuenca (volcán Coatzetzingo, cerro La Paila y cerro Viejo de Tultengo) no son la excepción.

3.1.4. LAGUNA DE TECOCOMULCO

3.1.4.1. CARACTERISTICAS

La palabra Tecocomulco tiene sus orígenes en la lengua náhuatl, significa lugar de los tecolotitos (Jiménez y Juárez, 1997).

Hidrológicamente, la superficie de la laguna de Tecocomulco fue una cuenca cerrada debido a fenómenos de origen volcánico.

La forma de la laguna es irregular alargada, con 10.5 km de longitud y entre 1.0 y 3.5 de anchura, el fondo es casi plano y está formado por sedimentos de origen volcánico, eólico y fluvial.

La disposición de las haciendas en las faldas de los cerros circundantes y su altura en relación con el nivel actual del agua, hace notar que hasta hace unos años la laguna era muy extensa y de profundidad no despreciable. El Gobierno del Estado para evitar las inundaciones anuales de los campos de cultivo que rodean a la laguna, mandó construir un canal de drenaje en el lado SW, de

manera que ya se ha secado artificialmente, logrando con esto la aparición de nuevas tierras para el cultivo de gramíneas como la cebada y el maíz, principalmente. Como consecuencia del desagüe de la laguna por el canal y por su azolvamiento, el *ecosistema* lacustre está cambiando, el azolve disminuye el área inundable, transformándolo en un ecosistema palustre con características semipantanosas (figura 8).

El área de la laguna que ya ha sido azolvada, inmediatamente se utiliza para labores agrícolas, es por esto que el cambio del uso del suelo ocasionado por la agricultura y la deforestación contribuyen en la desaparición de la laguna. Margalef (1977) señala que los lagos y lagunas llevan implícitos mecanismos de autodestrucción a causa de la erosión y sedimentación a que se someten, además de que los ambientes de agua dulce tienen una vida relativamente breve. Martínez (1999) presenta un listado de lagos y lagunas de México que se encuentran en proceso de desaparición, subdividido de acuerdo al grado de afectación; a la laguna de Tecocomulco la coloca dentro del grupo de cuerpos de agua con azolvamiento muy avanzado (casi extintos).

En plena época de sequía el nivel de la laguna decrece, no tanto por la evaporación, sino por el aprovechamiento de algunos campesinos de la región que utilizan el agua para el riego de sus cultivos de cebada y maíz. Actualmente, a la laguna se le puede considerar como un pantano, dado que el canal de drenaje construido no lo ha podido desecar por completo; como una medida extra, para evitar que el área inundable se extienda en la planicie, se ha rodeado la laguna con un bordo que le sirve de límite, de esta forma la extensión de la laguna está controlada, pero, el deseo de acabar con la laguna va más allá, pues cerca del poblado de Tecocomulco de Juárez existen unos resumideros (posiblemente la falla 7 sirviendo como fuga - ver figura 4), hacia donde se trata de drenar el agua de la laguna, a través de una canal (construido para este fin), al llegar a esta parte el agua se infiltra y pierde; también, en la parte más próxima al canal de Tecocomulco, existen sobre el bordo de la laguna algunas bombas, con las cuales se extrae el agua, el propósito es disminuir el área inundada. Por ahora, los intentos de desecación sólo ha surtido un efecto parcial, ya que el agua ha bajado de nivel, y su profundidad oscila alrededor de 0.60 m.

Las fluctuaciones naturales del nivel de la laguna a lo largo del año ocurren sólo durante la época de lluvias. Después del periodo de precipitación el nivel se eleva con rapidez, pero en poco tiempo desciende al salir el agua por el canal antes mencionado; en términos generales, el agua mantiene un nivel casi constante a lo largo del año, a excepción de que se atrasen las lluvias o que

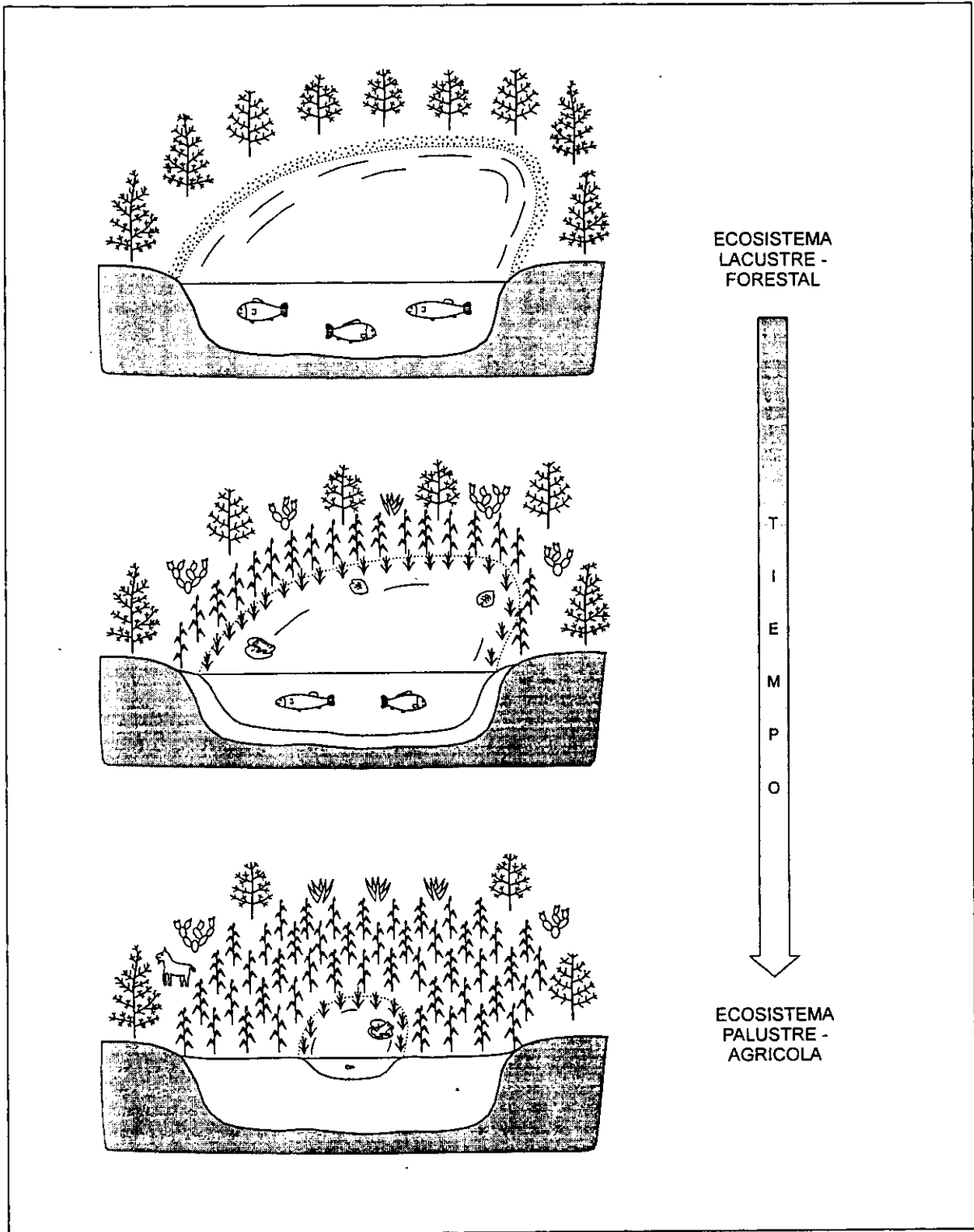


FIGURA 8: PASO DE UN ECOSISTEMA LACUSTRE-FORESTAL A OTRO PALUSTRE-AGRICOLA POR EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO

no se den, como en los años pasados de 1996 y 1997 en que casi no llovió, inclusive hasta antes de las lluvias de verano de 1998 la laguna se secó casi en su totalidad.

El agua de la laguna es de color café claro donde hay mucho movimiento de ganado y campesinos que viven de la caza; es poco más clara, pero con tonalidades verdes, en donde por la densidad del tule no se puede andar entre ella.

3.1.4.2. FLORA Y FAUNA

La laguna de Tecocomulco es un relicto ecológico de los lagos prehispánicos, ello favorece que en su interior se conserven especies animales y vegetales endémicas. La laguna de Tecocomulco (al igual que la de Tochac) se mantiene principalmente por el agua de la lluvia y algunos manantiales, lo que ha permitido la existencia de las condiciones ecológicas naturales que favorecen la supervivencia de la flora y fauna acuática que caracterizaron al lago de Anáhuac, desecado por el crecimiento de la Ciudad de México.

3.1.4.2.1. FLORA

Por su localización geográfica el territorio mexicano está influenciado por 2 regiones biogeográficas: la neártica de clima frío a templado, predominando vegetación de bosque de encino pino y abeto y la neotropical con clima cálido y vegetación predominante de selva (Rzedowski, 1974).

La vegetación de la laguna está modificada en sus márgenes, como consecuencia del crecimiento de parcelas agrícolas; la zonificación de la vegetación acuática en el interior de la laguna es la característica de casi todas las lagunas, es decir, en el fondo hay vegetación enraizada y flotante, en las márgenes hay vegetación semi-sumergida o palustre y algunas plantas flotantes (figura 9). En la porción central el tule (*Scirpus*) es muy abundante, forma densas masas. en las orillas se presenta en gran cantidad la lentejuela (*Lemna*).

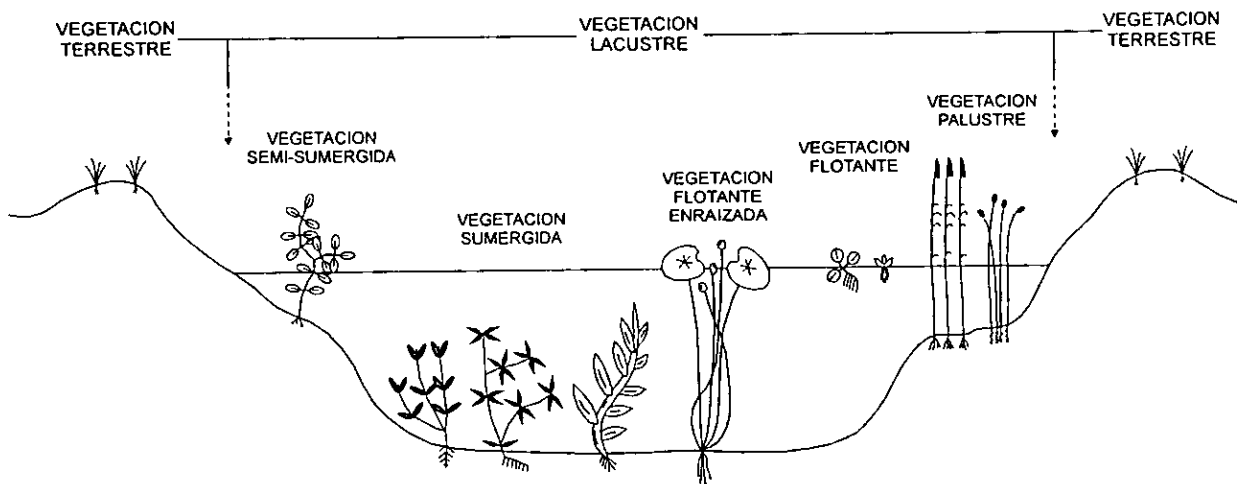


FIGURA 9: REPRESENTACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION QUE HABITAN LOS CUERPOS LACUSTRES

La vegetación que subsiste en Tecocomulco corresponde a la que existió en el antiguo lago de Anáhuac, comprende 35 especies acuáticas de 21 familias distintas. Las principales especies que destacan, según Jiménez y Juárez (1996) se encuentran en el cuadro 1.

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	USO
Tule	<i>Typha latifolia.</i>	Se encuentra en la parte norte y este. Se le puede utilizar para fabricar petates y cestos.
Tule	<i>Scirpus lacustris.</i>	Ocupa el 80% del total de la laguna. No tiene ninguna utilidad; impide el paso de la luz solar, evitando la fotosíntesis del fitoplancton. Sirve de soporte a los nidos de urracas y tordos y como resguardo de sus principales depredadores: víboras y ratas.
Lenteja Lentejilla	<i>Lemna gibba,</i> <i>Lemna perpusilla.</i> <i>Wolffia pupulifera,</i> <i>Wolffia lingulata</i>	Sirve de alimento a 14 tipos de patos, a la gallareta y al carmelillo.
Ninfa	<i>Nymphooides Fallax.</i>	Se encuentra donde no hay tule, en ella viven protozoarios y sanguijuelas.
Pasto de agua	<i>Potamogeton nodosus,</i> <i>Potamogeton foliosus,</i> <i>Najas guadalupensis.</i>	Sirve de alimento al ganado vacuno, solo lo consumen dentro del agua.

Cuadro 1. Vegetación acuática de la laguna de Tecocomulco.

3.1.4.2.2. FAUNA

AVES

En el mundo se han registrado 8 904 especies de aves, de las cuales en México se encuentran 1 000 de ellas, de estas últimas en la Cuenca de México existen 227 especies de aves (74 acuáticas y 153 terrestres) y en la laguna de Tecocomulco se encuentran cerca de 120 especies (el equivalente al 12% del total de México y 53% del total de la Cuenca). De las 120 especies de aves 45 son acuáticas (37.5%) y 75 terrestres (62.5%). Las 45 especies de aves acuáticas se dividen en 37 migratorias de invierno y 8 son residentes (Jiménez, 1996).

La laguna de Tecocomulco hasta hace todavía pocos años era de apreciable extensión y muy apropiada para mantener a una copiosa población de aves acuáticas residentes y migratorias. Sin embargo, en la actualidad, ya solamente quedan restos de aquel depósito que podía proporcionar abrigo a las aves migratorias y aunque todavía llegan anualmente, ya no lo hacen en las cantidades

de antaño, quizá por dos razones: la laguna ocupa un área menor y el número total de aves también debe ser menor. Para tener idea del potencial faunístico de la región, en la laguna de Apan (a 15 km al SW) Smith y Jensen en enero de 1955 (citados en Arellano y Rojas, 1956) contaron las siguientes especies: 10 000 patos golondrino (*Anas acuta tizitioha*), 400 pinto cabezón (*Chaulelasmus streperus*), 500 cercetas coyota y de alas azules (*Anas cyanoptera* y *Anas discors*), 200 patos de cabeza roja (*Aythya americana*), 150 patos coacoxtle (*Aythya valisineria*), 50 patos tepalcate (*Oxyura jamaicensis rubida*) y 400 gallaretas (*Fulica americana*), es de suponer que tanto en la laguna de Tecocomulco como en la de Tochac las cantidades debieron ser similares.

Actualmente la alteración del ecosistema de la laguna por la presencia de campesinos en los alrededores, la introducción de ganado al interior de la misma, las prácticas de caza y los trabajos de drenaje hacen muy difícil la permanencia de una cantidad regular de aves acuáticas en el lugar.

Las aves acuáticas que hoy día se pueden encontrar en esta zona son (Jiménez, *op. cit.*): garzas -el garzón blanco (*Casmerodius albus*), garza chapulinera (*Bubulcus ibis*), la garcita blanca (*Egretta thula*), garzón gris (*Ardea herodias*), garcita gris (*Egretta caerulea*), la garza nocturna (*Nycticorax nycticorax*)-, el corvejón o atotola (*Plegadis chihi*), pato cuaresmeño o tempatlahoac (*Anas clypeata*), cerceta de alas azules o metzcanauhtli (*Anas discors*), gallareta o cuachilton (*Fulica americana*), polla o gallina de agua (*Gallinula chloropus*).

Entre las aves terrestres se encuentran (Jiménez, *op. cit.*): la urraca, zanate o teotzanatl (*Quiscalus mexicanus*), el tordo charretero (*Agelaius phoeniceus*), la golondrina común o cuicuitzcatl (*Hirundo rustica*) y el gorrión doméstico, ingles o chillón (*Passer domesticus*).

La fauna netamente lacustre que pueden encontrarse es (Jiménez y Juárez, 1996):

PECES (Clase: Osteichthyes).

Charal (*Chyrostoma jordani* y *Chyrostoma sp*), carpa escamuda o criolla (*Cyprinus carpio*), carpa herbívora (*Ctenopharingodon idellus*), carpa israel (*Cyprinus carpio specularis*), carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*).

ANFIBIOS (Clase: Amphibia).

Ajolotes (*Amystoma mexicanum*), rana de moctezuma (*Rana montezumae*), rana toro (*Rana catesbiana*), salamandra (*Ambystoma tigrinum*) y tlalaxolotl (*Ambystoma mexicanum*).

3.1.5. CLIMA

Para conocer las características del clima de la subcuenca, se utilizó información de 9 estaciones meteorológicas que se encontraron dentro del área de estudio o en sus cercanías.

Las estaciones aquí consideradas son:

1. Apan, Apan, Hidalgo.
2. El Aserradero, Cuauhtepec, Hidalgo.
3. El Paredón, Chignahuapan, Puebla.
4. El Rosario, Tlaxco, Tlaxcala.
5. El Tepozán, Almoloya, Hidalgo.
6. Presa Tezoyo, Apan, Hidalgo.
7. San Lorenzo Sayula, Cuauhtepec, Hidalgo.
8. San Rafael Mazatepec, Apan, Hidalgo.
9. Singuilucan, Singuilucan, Hidalgo.

Los datos recopilados para clasificar el clima principalmente son temperatura y precipitación del periodo comprendido entre 1971 a 1985; a la temperatura y a la precipitación se le calcularon los valores promedio, tanto mensuales como anuales (cuadro 2).

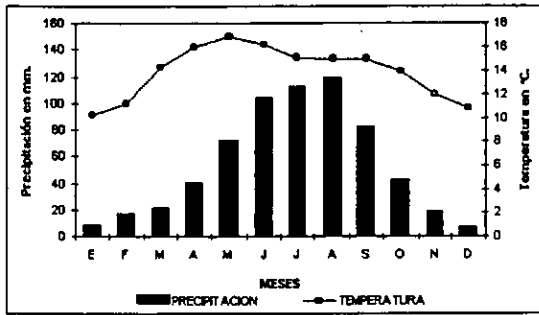
En las gráficas de las estaciones en conjunto (ver gráficas 1 a 9), se observa que la marcha de la temperatura a lo largo del año es similar entre ellas, las pequeñas divergencias se deben a su diferencia de altura; por otro lado, al analizar la distribución de la temperatura a lo largo del año se obtiene que el clima del área de acuerdo con la clasificación climática de Köeppen (1948) corresponde al tipo C (templado). Por su parte, el régimen pluvial es el mismo que en la mayor parte de México, las lluvias ocurren durante los meses de verano (w).

Para obtener un clima más definido, la información meteorológica de las estaciones se analizó de acuerdo con la clasificación climática de Köeppen, modificada por Enriqueta García (1988); al tener el resultado se les representó en el mapa climatológico (figura 10), en donde se

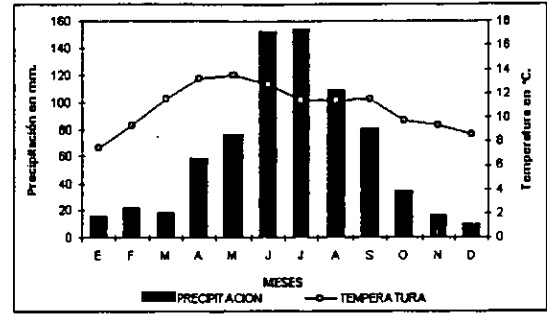
ESTACIONES / MESES		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1. Apan	T	10.3	11.3	14.3	16.0	16.9	16.2	15.1	15.0	15.0	13.9	12.0	10.9	13.9
	P	7.7	16.1	21.1	39.8	71.2	103.4	111.6	119.0	81.4	41.8	18.2	6.4	637.7
2. El Aserradero	T	7.4	9.4	11.5	13.2	13.5	12.7	11.4	11.5	11.5	9.7	9.4	8.6	10.8
	P	15.3	21.3	17.9	58.8	75.6	151.8	152.9	108.8	79.3	33.8	16.0	9.5	741.0
3. El Paredón	T	9.8	10.8	13.6	15.1	15.7	14.5	14.3	14.2	14.0	12.8	10.5	10.0	12.9
	P	8.6	26.4	21.9	44.9	97.2	106.7	82.1	74.9	75.5	43.0	22.6	11.2	615.0
4. El Rosario	T	11.0	11.8	14.8	17.1	16.3	16.8	15.6	15.5	16.0	15.0	12.6	12.0	14.5
	P	14.0	25.0	29.7	46.4	109.5	91.4	100.2	99.0	103.7	47.5	25.3	4.5	696.3
5. El Tepozán	T	9.7	10.9	12.1	13.4	13.5	13.3	12.4	12.3	12.3	11.4	10.9	11.0	11.9
	P	8.3	11.6	44.2	64.4	120.6	201.4	148.7	111.7	97.1	33.1	24.9	3.0	868.9
6. Presa Tezoyo	T	8.9	10.0	12.4	13.8	14.5	13.7	13.4	13.3	13.4	11.7	10.1	9.3	12.0
	P	7.8	12.3	22.1	43.2	83.3	99.8	122.3	97.6	101.8	46.4	17.4	5.7	659.6
7. San Lorenzo Sayula	T	11.7	12.3	15.5	16.9	17.3	15.9	15.0	14.7	14.5	13.8	12.6	11.8	14.3
	P	7.3	12.9	15.7	36.3	66.9	122.7	105.6	108.3	126.9	54.5	22.0	7.9	687.2
8. San Rafael Mazatepec	T	11.0	11.6	14.3	15.5	16.0	14.8	13.6	13.9	13.8	13.0	12.1	11.9	13.5
	P	9.6	15.4	20.9	48.8	76.6	122.7	132.6	98.4	95.1	54.3	33.0	12.1	719.3
9. Singuilucan	T	11.6	12.1	15.0	16.1	16.6	15.3	14.3	14.4	14.3	13.7	12.6	11.9	14.0
	P	12.7	13.1	19.2	42.9	76.2	100.0	95.7	82.4	101.6	44.5	18.7	6.0	613.0

T - Temperatura P - Precipitación

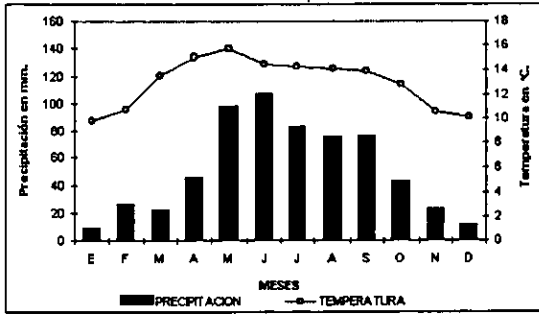
Cuadro 2. Datos de temperatura media mensual y media anual en °C. y precipitación media mensual y media anual en mm.



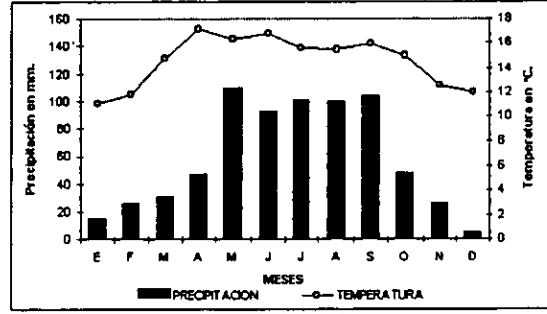
1. Apan



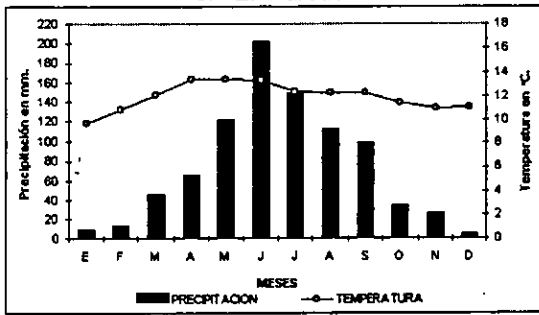
2. El Aserradero



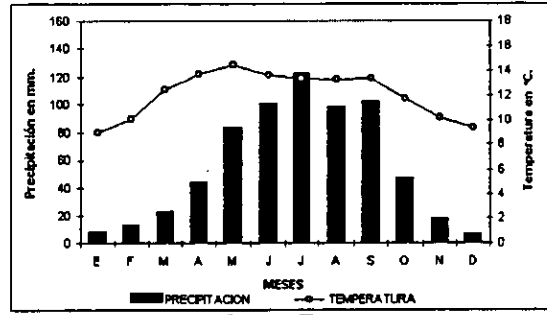
3. El Paredón



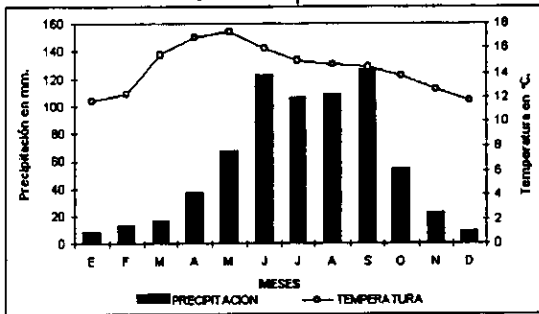
4. El Rosario



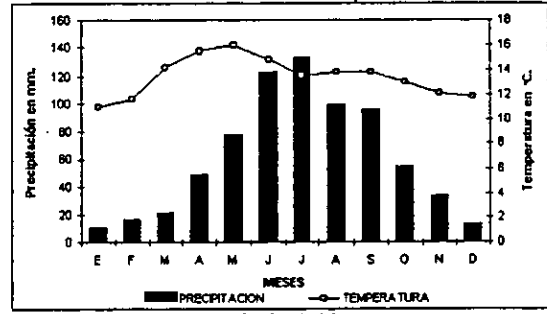
5. El Tepozán



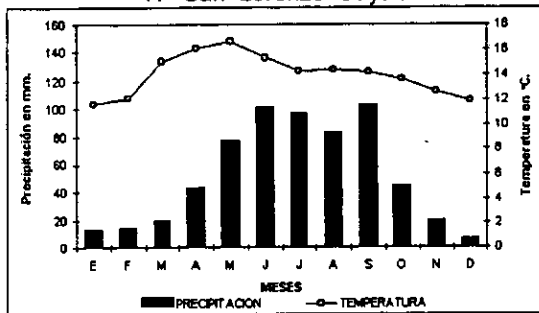
6. Presa Tesoyo



7. San Lorenzo Sayula



8. San Rafael Mazatepec



9. Singuilucan

Gráficas 1 - 9
 Temperatura media mensual
 y
 Precipitación media mensual

incluye el clima, el subtipo de clima, la distribución de la temperatura media mensual y la precipitación media mensual, así como la localización de la estación (el número de cada estación en el mapa es el mismo al de las gráficas y del cuadro 2).

De acuerdo con la clasificación climática de García, en la zona de estudio existen 4 subtipos de clima, que por estación son los siguientes:

Apan y El Aserradero. Cwbg. Templado subhúmedo con lluvias en verano, verano fresco, con marcha de la temperatura tipo ganges (es decir, el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano).

El Paredón, El Rosario, Presa Tesoyo y San Lorenzo Sayula. Cw(w'')bg. Templado subhúmedo con lluvias en verano, presentando canícula (es decir 2 máximos de lluvia separados por dos periodos más secos, uno largo en la mitad fría del año y uno corto en la mitad de la temporada lluviosa), verano fresco, con marcha de temperatura tipo ganges.

El Tepozán y San Rafael. Cwbig. Templado subhúmedo con lluvias en verano, verano fresco, isotermal (es decir, la diferencia de temperaturas medias mensuales no es superior a 5°C.), con marcha de la temperatura tipo ganges.

Singuilucan. Cw(w'')big. Templado subhúmedo con lluvias en verano, presentando canícula, verano fresco, isotermal, con marcha de temperatura tipo ganges.

El tipo y subtipos de clima aquí resultantes, vienen a corroborar los representados por la Secretaría de la Presidencia (1970) en la carta de climas que enmarca a la zona de estudio.

3.1.5.1. TEMPERATURA Y PRECIPITACION

La marcha anual de la temperatura en términos generales (ver gráficas 1 a 9) guarda una estrecha relación entre las estaciones y su ubicación geográfica, en todas ellas sigue una tendencia

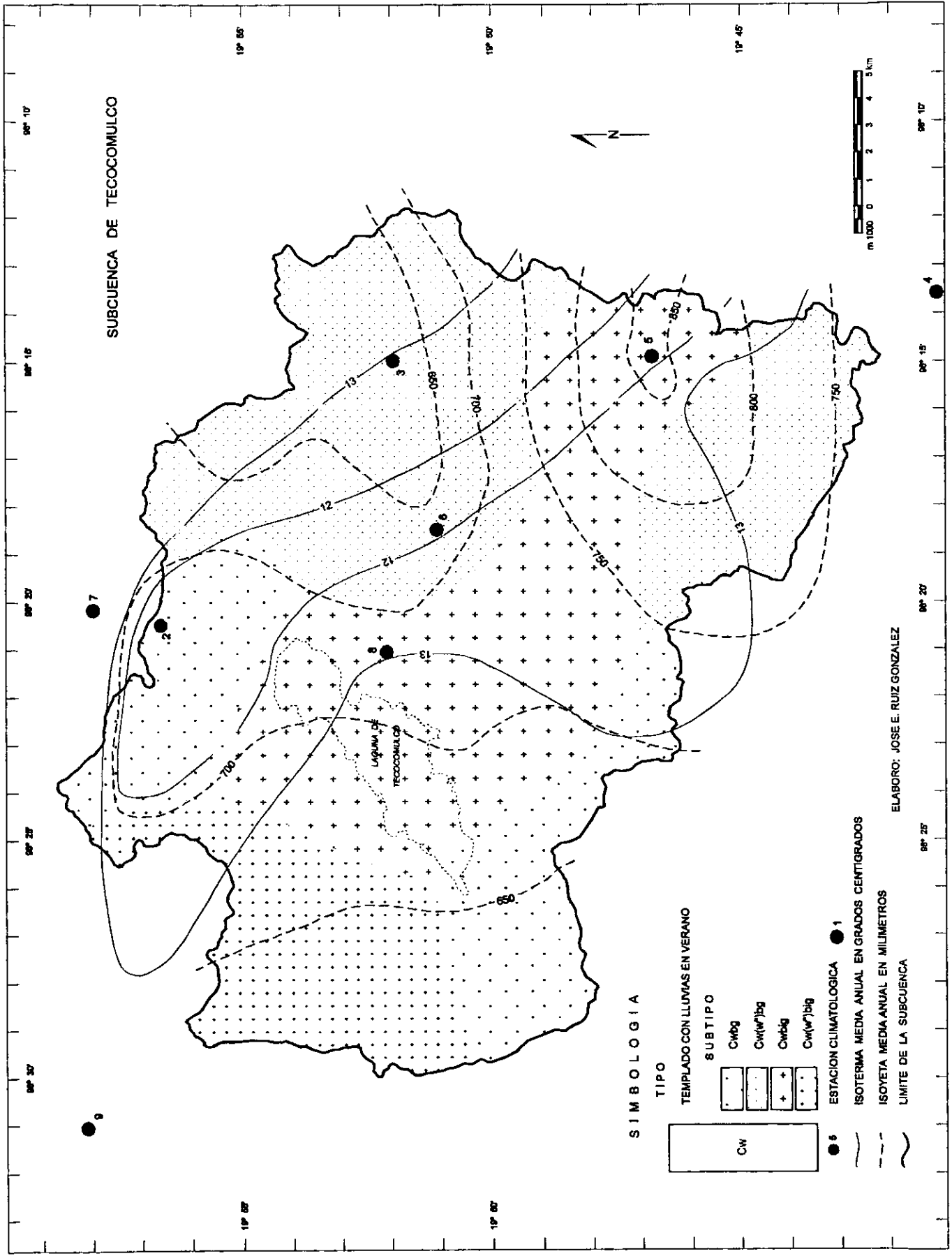


FIGURA 10: CLIMA DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

parecida, al localizarse en una región más o menos similar, por ejemplo en Apan, El Paredón, El Tepozán, Presa Tezoyo, San Lorenzo Sayula, San Rafael Mazatepec y en Singuilucan es casi igual, específicamente en Tepozán sigue la tendencia, pero esta es la única estación donde la diferencia de temperatura entre un mes y el otro no es muy marcada, al ser isotermal. Por su parte en El Aserradero y El Rosario un solo mes cambia la tendencia: en El Aserradero en octubre no se guarda la misma proporción entre septiembre y noviembre, en El Rosario, el mes de mayo no es el más caliente como en el resto de las estaciones, en esta estación abril es el mes en donde se registra la mayor temperatura media mensual.

La precipitación de la zona se da en el verano (w), la precipitación media anual calculada mediante el método de isoyetas es de 701.7 mm (que equivale a $376\ 586\ 974.8\ m^3$). Su distribución espacial (ver figura 10) va de menos de 650 mm en las zonas bajas y planas a más de 850 mm en las zonas altas de montaña. La distribución temporal en el año (ver gráficas 1 a 9) se acentúa entre mayo y septiembre con el 75.2% de la lluvia anual, durante los meses transicionales de abril y octubre precipita el 13.2% de la lluvia anual y entre noviembre y marzo se registra el periodo más seco con el 11.6% de la lluvia anual.

3.1.5.2. EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION

Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por *evaporación* o, a través de las plantas por *transpiración*. La influencia de estos fenómenos sobre el ciclo hidrológico es evidente, si se considera que en muchos lugares del mundo, entre el 70 y 90% de la precipitación es devuelta a la atmósfera por *evapotranspiración* (Hamon, 1966 *in* Custodio, 1983).

En 1945 en México, ante la falta de observaciones para medir la evaporación, con fines agrícolas, se ponen en marcha 228 estaciones (equipadas con *evaporímetros* y *evaporómetros*) colocadas estratégicamente en los principales lagos, lagunas y presas, en esa fecha en la laguna de Tecocomulco se colocó una estación, el anterior proyecto estuvo coordinado por la Comisión Nacional de Irrigación, la Comisión Federal de Electricidad y la Dirección de Geografía (Tamayo, 1946).

Más recientemente, Birkle *et al.* (1995) elaboraron un estudio para conocer cómo se distribuye la evapotranspiración en la Cuenca de México, para ello dividió a la misma en subcuencas; por razones prácticas para él, no lo hizo en las 11 subcuencas hidrológicas, manejó como una sola subcuenca a las de Apan, Tochac y Tecocomulco asignándole el nombre de la primera. Según Birkle *et al.* (*op. cit.*), en la subcuenca de Apan la precipitación anual es de 800 mm y la temperatura media anual es de 13.5° C. Por medio de 6 diferentes métodos obtuvo la evapotranspiración anual de la subcuenca (ver cuadro 3).

METODO	ET ANUAL en mm	P MEDIA ANUAL en mm	% DE ET vs P
Empírico	320	800	40.0
Turc (Gray, 1973)	565		70.6
Blassey-Morin (Criddle, 1958; Blaney, 1959)	618		77.2
Morton (1965)	878		109.7
Budyko (Kuzmin y Vershinin, 1974)	709		88.6
Courtange (Remenieras, 1974)	615		76.8

ET - Evapotranspiración y P - Precipitación

Cuadro 3. Evapotranspiración anual en la subcuenca de Tecocomulco, según Birkle *et al.* (1995), con ampliación del autor.

El inconveniente que se le encuentra a sus resultados de evapotranspiración, es que los datos climatológicos utilizados (precipitación, temperatura, insolación, velocidad del viento y humedad relativa) sólo cubren de 1980 a 1985. Este periodo de tiempo resulta poco confiable, porque en él es imposible que se presenten todos los fenómenos climatológicos que pueden afectar a una misma zona, lo que hace que el resultado sea engañoso. Para captar las condiciones climáticas medias de cualquier sitio García (1980) recomienda que como mínimo se tomen datos que cubran un periodo de 20 años; por su parte, Miller (1982) recomienda 35 años, argumentando que en este largo lapso se presentan todas las condiciones climáticas susceptibles de presentarse en cualquier lugar. Ambos autores consideran que periodos iguales o menores a 10 años se deben tomar con reservas, ya que sólo muestran algunas modalidades del clima.

Para esta investigación también se aplicaron diferentes métodos (cuyas fórmulas aparecen en el ANEXO, ver 5 a 10) para conocer la evaporación y la evapotranspiración en la subcuenca de

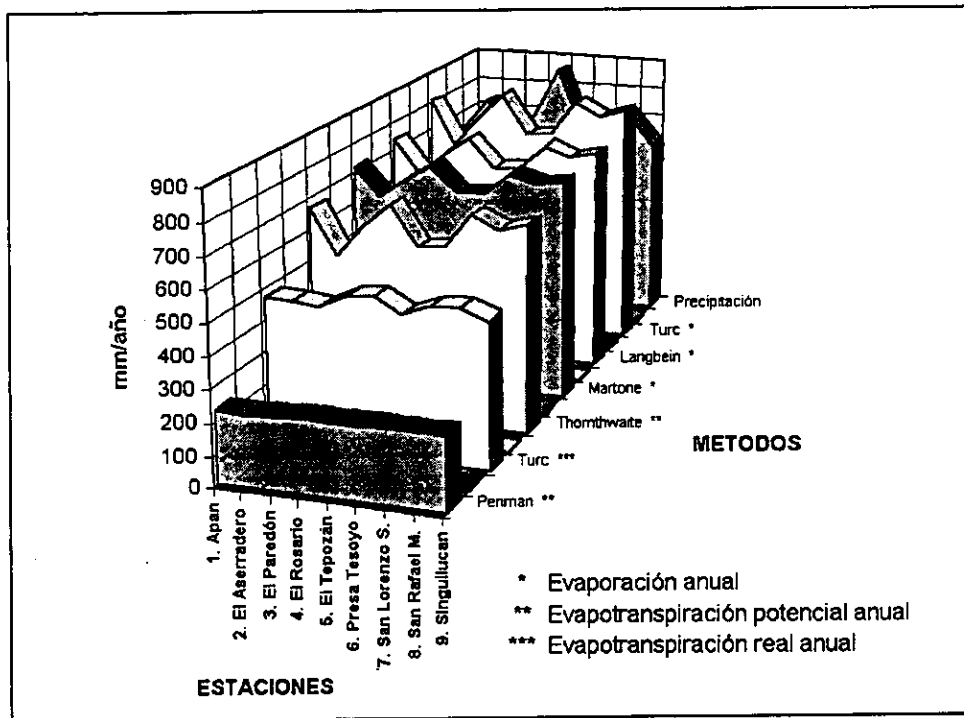
Tecocomulco, para ello se analizaron las 9 estaciones que se utilizaron para el análisis climático. La evaporación y la evapotranspiración se obtuvieron por medio de 3 métodos cada una, los diferentes resultados de las estaciones se promediaron para obtener un solo valor final, los resultados obtenidos aparecen en el cuadro 4. En el caso concreto de la evapotranspiración, se utilizaron 2 métodos potenciales (Penman y Thornthwaite) y uno real (Turc).

METODO	EV ANUAL (*), ETP ANUAL (**) Y ETR ANUAL (***) en mm	P MEDIA ANUAL en mm	% DE EV, ETP Y ETR vs P
Martonne (1926)	693.1 *	692	100.1
Langbein (1958)	703.6 *		101.6
Turc (1954)	762.8 *		110.2
Penman (1960)	231.4 **		33.4
Thornthwaite (1943)	626.8 **		90.3
Turc (1955)	476.6 ***		68.8

EV - Evaporación, ETP - Evapotranspiración potencial,
ETR - Evapotranspiración real y P - Precipitación

Cuadro 4. Evaporación anual, evapotranspiración potencial anual y evapotranspiración real anual en la subcuenca de Tecocomulco.

Como se puede apreciar en el cuadro 4, los resultados de ambos parámetros tienen una amplia variación (aunque teóricamente debían ser parecidos), gráficamente resalta (ver gráfica 10) que para un mismo método, los resultados de las diferentes estaciones son más o menos similares, pero, si se comparan entre los métodos las variaciones son más notorias.



Gráfica 10. Evaporación anual, evapotranspiración potencial anual y evapotranspiración real anual en la subcuenca de Tecocomulco.

Los resultados de la evaporación y la evapotranspiración son diferentes en cada uno de los métodos, debido a que los métodos son empíricos, es decir, el resultado es lo que se piensa se pierde en teoría (*evaporación y evapotranspiración potencial o meteorológica*) según los diferentes autores, mientras que el verdadero valor (*evaporación y evapotranspiración real o hidrológica*) no se puede medir, por lo tanto, es difícil comprobar si el resultado teórico es de verdad lo que se está perdiendo. Custodio (1983) dice : “La ventaja de los métodos empíricos es que son económicos, no requieren de aparatos sofisticados, les basta la información de las estaciones meteorológicas; los valores que con ellos se obtienen carecen de validez si no se cuenta con algunas lecturas directas que los refuercen, por lo que es muy aventurado darles un significado importante”.

Independientemente si los resultados de los métodos empíricos son confiables o no por su variación, se observa que:

- a) Para los resultados de Birkle, la precipitación media es de 800 mm, mientras que la evapotranspiración de 5 métodos es menor a esta cantidad, oscilando entre el 40 y 88% del total de la lluvia, solo en un método fue superior a la precipitación con un 9.7% extra.

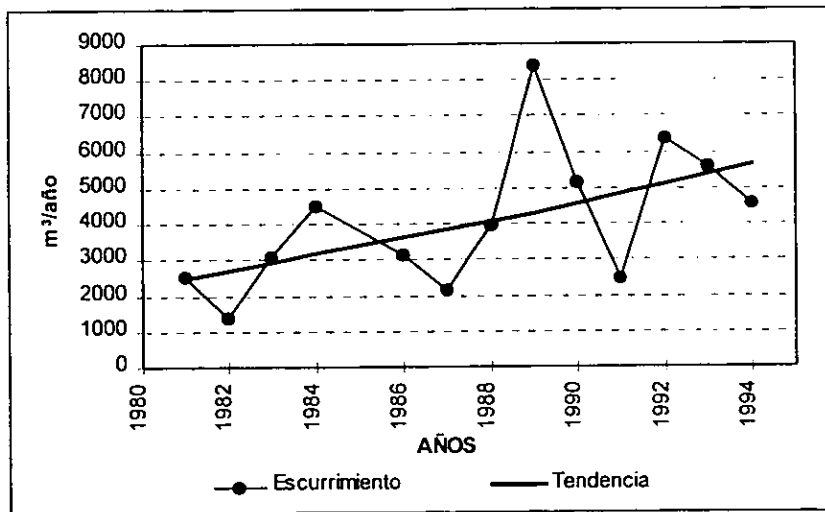
b) En los resultados calculados en esta investigación, la precipitación media es de 692 mm; la evapotranspiración de los 3 métodos es menor que la precipitación oscilando entre el 33 y el 90% del total de la precipitación, mientras que los 3 métodos para obtener la evaporación la exceden hasta con un 10.2% extra. El método de evapotranspiración de Turc (1955) al ser real, es el que teóricamente se debe acercar más a la evapotranspiración verdadera, en este trabajo fue de 476.6 mm el equivalente al 68.8% de la precipitación. Maderey (1990) en un trabajo regional obtuvo que en la zona se pierden en promedio 500 mm, lo que hace suponer que la evapotranspiración real de la subcuenca oscila entre los dos valores antes mencionados.

Cuando la precipitación es mayor que la evaporación y la evapotranspiración, la zona es húmeda, manifestándose lo anterior en la existencia de exuberante vegetación, pero, si la evaporación y la evapotranspiración son iguales o mayores que la precipitación, entonces la zona toma características semidesérticas o desérticas, influyendo para que la vegetación sea escasa o que predomine la vegetación xerófila. En la subcuenca por la predominante vegetación de matorral (excluyendo las áreas boscosas) se puede especular que tanto la evaporación como la evapotranspiración son considerables y se aproximan un poco, pero no sobrepasan el valor de la precipitación.

3.1.5.3. ESCURRIMIENTO

El escurrimiento superficial de la subcuenca ocurre durante e inmediatamente después de los meses lluviosos (de mayo a octubre), en los meses restantes el escurrimiento empieza a descender hasta el grado que la mayoría de los escurrimientos se infiltran y evaporan (de enero a marzo) y sólo se mantienen algunos ríos permanentes (Cuatlaco, Tepozán y Canoas en figura 7).

En la estación hidrométrica de San Jerónimo (ver figura 7) se registró el gasto del escurrimiento de la subcuenca del periodo comprendido entre 1981 y 1994, al graficar el gasto (ver gráfica 11) se aprecia un escurrimiento desigual, el cual oscila entre los 1346 m³ en 1982 y los 8392 m³ en 1989, con un escurrimiento medio de 4092 m³. Durante los 14 años registrados se observa que el escurrimiento sigue una tendencia a aumentar, lo que repercutirá directamente en la erosión de la subcuenca.

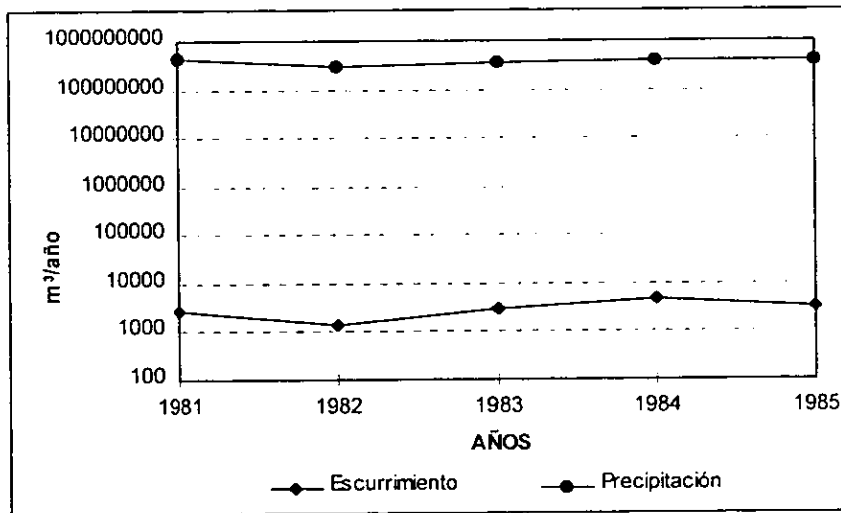


Gráfica 11. Ecurrimiento de la subcuenca de Tecocomulco.

Debido a que los periodos de precipitación y escurrimiento aquí analizados no coinciden ampliamente, es difícil sacar una comparación para relacionarla, sin embargo entre 1981 y 1985 (ver cuadro 5 y gráfica 12) se nota que la relación precipitación-escurrimiento es directamente proporcional, ante la gran disparidad entre los dos valores se eligió la escala logarítmica para su representación gráfica.

AÑO	PRECIPITACION en m ³	ESCURRIMIENTO en m ³	PORCENTAJE
1981	414 309 433	2550	0.00061
1982	298 388 659	1346	0.00045
1983	371 644 149	3054	0.00082
1984	401 831 849	4513	0.00010
1985	386 134 244	3122	0.00080

Cuadro 5. Relación precipitación - escurrimiento en la subcuenca de Tecocomulco.



Gráfica 12. Relación precipitación - escurrimiento en la subcuenca de Tecocomulco.

En el cuadro 5 y gráfica 12 se aprecia un mismo comportamiento entre la precipitación y el escurrimiento: en 1981 inician respectivamente con 414 309 433 m³ y 2550 m³, en 1982 descienden con 298 388 659 m³ y 1346 m³, en 1983 suben a 371 644 149 m³ y 3054 m³, en 1984 vuelven a subir a 401 831 849 m³ y 4513 m³ y para 1985 descienden a 386 134 244 m³ y 3122 m³. El escurrimiento total registrado que sale de la subcuenca no es superior a una diezmilésima parte de la precipitación, la razón que explica la desigual proporción se debe a la infiltración y a la evapotranspiración en el interior de la subcuenca y porque la mayor parte del agua en escurrimiento se queda en la laguna, en las presas (Tezoyo, El Puerco y Benito Juárez) y en los *jagüeyes* existentes.

3.1.6. EDAFOLOGIA Y VEGETACION

De acuerdo con la clasificación de suelos de la *FAO-UNESCO* (1985) aplicada por *CETENAL* (1977) e *INEGI* (1989) en la subcuenca de Tecocomulco (figura 11) las diferentes unidades de suelo que se encuentran son:

CAMBISOL.

Estos suelos por ser jóvenes y poco desarrollados se pueden presentar en cualquier clima, menos en zonas áridas. No presenta horizonte **B**, un incipiente horizonte **A** descansa directamente sobre el horizonte **C**. Puede tener cualquier tipo de vegetación, ya que se encuentra condicionado por el clima y no por el suelo. Se caracteriza por presentar en el subsuelo una capa que parece más suelo de roca, en ella se forman terrones. Son muy abundantes y se destinan a muchos usos; los rendimientos son variados. Su susceptibilidad a la erosión es de alta a moderada.

Se localiza en la parte norte de la subcuenca, sobre las inmediaciones de los volcanes Coatzetzingo, El Agua, el Seco y el Tiololo; sobre la sucesión de domos en los que destaca el cerro La Lobera, en forma aislada en la parte norte del pueblo el Paredón y en la base de los cerros Santa Susana y El Gallo en la parte noroeste (figura 11). En cada uno de estos lugares la vegetación predominante es pastizal, el piedemonte de los volcanes Seco y El Agua parcialmente esta cubierto por bosque, en el caso extremo, al norte de los poblados de Tres cabezas y El Paredón donde ha sido alterado, el suelo está totalmente desprovisto de vegetación (figura 12).

FEOZEM.

Se le encuentra en diferentes condiciones climáticas, como pueden ser zonas semiáridas, templadas o tropicales muy lluviosas y en diferentes tipos de pendiente del terreno, ya sea plano o montañoso. Puede presentar cualquier tipo de vegetación.

Se caracterizan principalmente por tener una capa superior oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. En terrenos planos, si se emplea con agricultura de riego o temporal tiene una alta productividad en granos, legumbres u hortalizas; sobre laderas tienen rendimientos bajos y se erosionan con facilidad. Si se le utiliza para pastoreo o ganadería tienen resultados aceptables.

Este tipo de suelo se localiza en casi toda la subcuenca, ocupa casi el 60% (figura 11), aunque predomina en la parte plana, también se le encuentra sobre el piedemonte, en los lomeríos e inclusive sobre zona. montañosa. En él se practica principalmente agricultura de temporal, la vegetación natural predominante es de matorral (figura 12).

FLUVISOL.

Se caracteriza por estar formado por materiales acarreados por el agua, los materiales están disgregados, no presentan estructuras de terrones, lo que equivale a decir que son suelos poco

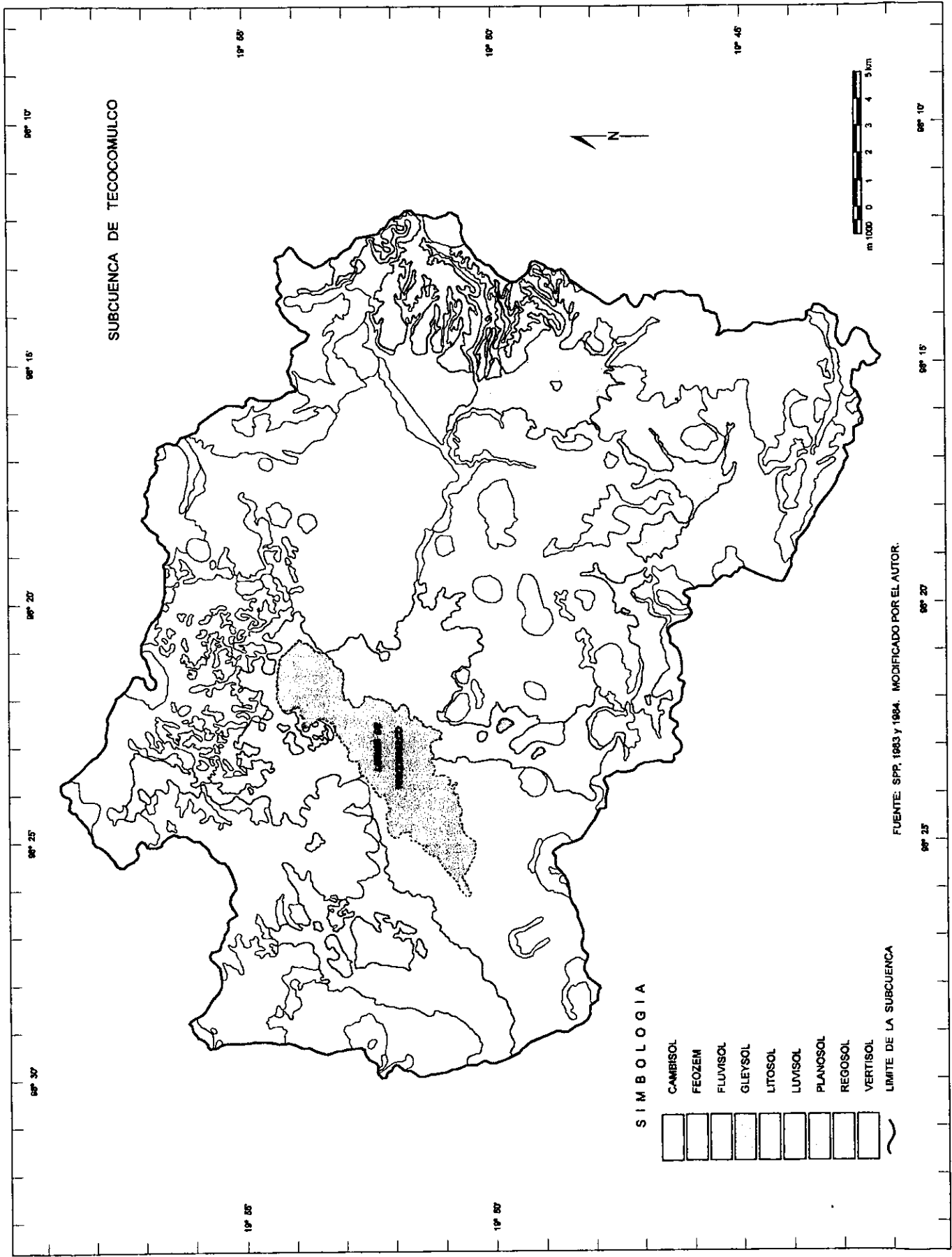
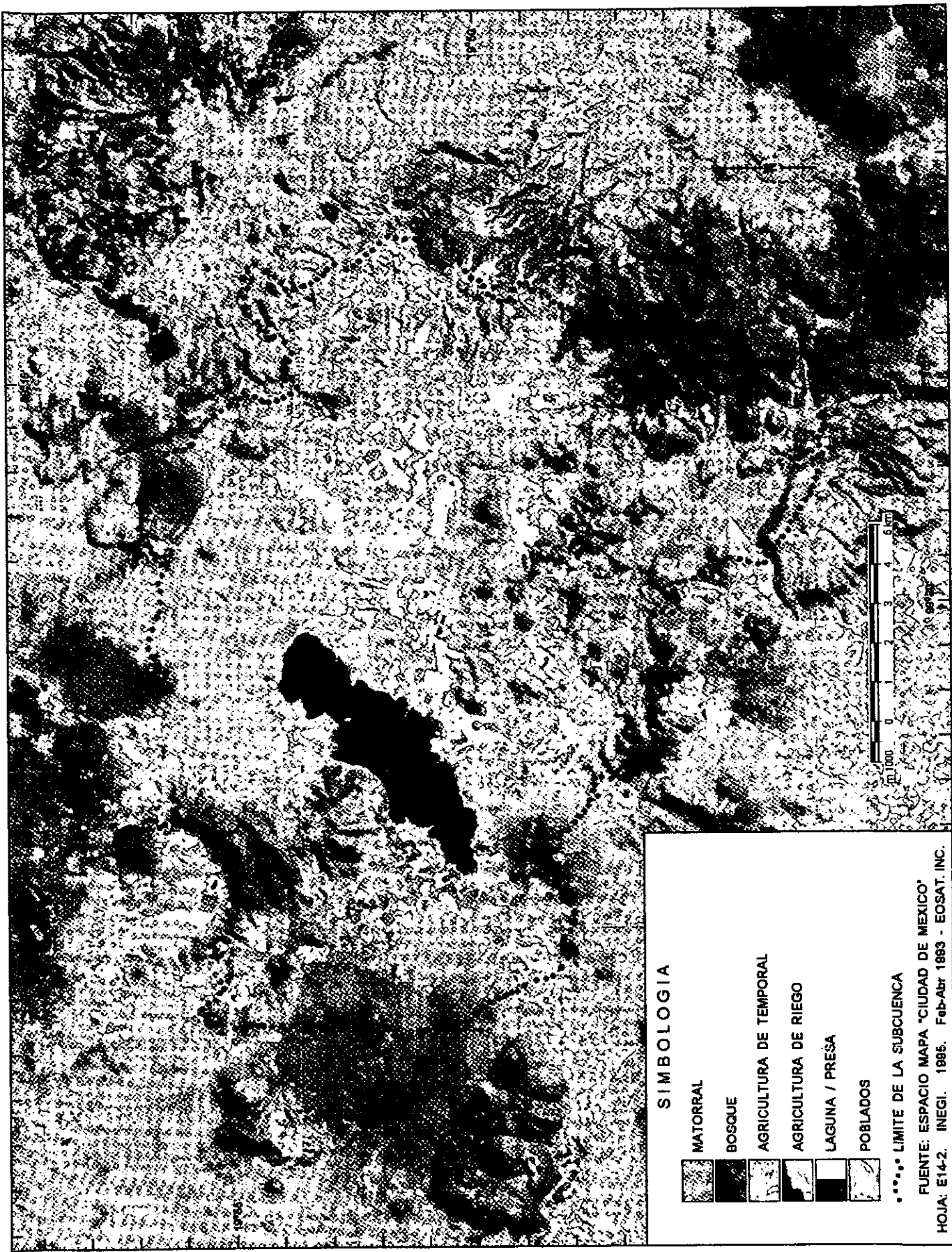








FIGURA 11: EDAFOLOGIA DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO



SIMBOLOGIA

-  MATORRAL
-  BOSQUE
-  AGRICULTURA DE TEMPORAL
-  AGRICULTURA DE RIEGO
-  LAGUNA / PRESA
-  POBLADOS

..... LIMITE DE LA SUBCUENCA

FUENTE: ESPACIO MAPA "CIUDAD DE MEXICO"
 HOJA: E14-2. INEGI. 1986. Feb-Abr 1983 - EOSAT. INC.

FIGURA 12: VEGETACION Y USO DEL SUELO DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

desarrollados; presentan muchas veces capas alternadas de arena, arcilla y grava. Se le encuentra en la cercanía de sierras, desde donde escurre el agua que lo transporta.

Pueden ser someros o profundos, arenoso o arcillosos, fértiles o infértiles, dependen del material que los forman. Este suelo se localiza en dos zonas de la subcuenca: aguas arriba de la presa Tezoyo, en la zona más baja del valle aluvial, el pueblo de Paredón-San Gabriel está edificado sobre una parte de este tipo de suelo; también se le encuentra cerca del pueblo Las Vigas, en la parte sur de la subcuenca (figura 11). Su uso principal es agrícola, tiene escasa vegetación de matorral, en el extremo sur se combina con bosque (figura 12).

GLEYSOL.

Este suelo se encuentra en casi todos los climas, en zonas donde se estanca el agua, ya sea todo el año o sólo en la época de lluvias, razón por la cual sólo se le encuentra en las partes más bajas de los valles y en las planicies. El color del suelo toma tonalidades grises, azules o verdosas. La vegetación natural que presenta es de pastizal, se le puede usar en la ganadería de bovinos en donde se obtienen rendimientos moderados. Si se le utiliza en la agricultura, se deben usar cultivos que toleren las inundaciones. Son poco susceptibles a la erosión.

Se localiza en toda el área que ocupa la laguna de Tecocomulco, también hay a ambos lados de Loma Larga (al sur de la laguna) en dos pequeñas depresiones (figura 11). En los bordes de la laguna se practica la agricultura de riego, la vegetación natural consiste en tule y pasto (figura 12).

LITOSOL.

Este suelo se encuentra en diferentes climas. Se caracteriza por tener una profundidad menor de 10 cm desde la superficie y hasta llegar a la roca o tepetate; son suelos jóvenes, solo presentan el horizonte A y C. Se le encuentra principalmente en lomeríos y en las laderas. Dependiendo del material formador puede ser fértil o no, arenoso o arcilloso. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona donde se encuentra. La vegetación natural que lo cubre tiene limitantes de desarrollo por su poco espesor, si existe bosque se le da uso forestal, pero si hay matorral el uso puede ser ganadero, pero se debe proteger del sobrepastoreo, el cual lo puede eliminar rápidamente.

Se localiza distribuido en toda la subcuenca, ocupa preferentemente las cimas y laderas de los cuerpos montañosos y lomeríos (figura 11). Se le utiliza para el pastoreo de ganado bovino y

caprino; la vegetación principal consiste en matorral y en las cimas de las montañas hay bosque (figura 12).

LUVISOL.

Tiene un alto contenido de arcilla en el subsuelo, su color va del rojo claro a tonos pardos o grises. Si se usan para agricultura producen rendimientos moderados, pero entre más lluviosa sea la zona su rendimiento es mayor. Si tiene vegetación de pastizal puede ser productivo para la ganadería. Su uso forestal es muy importante con rendimientos notables. Su susceptibilidad a erosionarse es alta, debido al uso agrícola y pecuario al que se somete.

Este tipo de suelo se localiza en el extremo noreste del cerro La Peña, propiamente en el piedemonte de esta parte de la Sierra del Tepozán, en los barrancos que circundan el cerro las Tetillas al este, en parte de la base del cerro La Minilla al norte y en el piedemonte del cerro San Antonio al sur (figura 11). En él se practica agricultura de temporal y pastoreo; la vegetación original consiste en matorral, combinado con bosque, sobre todo en la cima del cerro La Minilla (figura 12).

PLANOSOL.

Presenta los 3 horizontes constituyentes de un suelo maduro, solo que el horizonte B es sumamente delgado. Tiene rendimientos moderados en la ganadería y variables en la agricultura. Son muy susceptibles a la erosión.

Este suelo ocupa el valle en cuyo interior se encuentra el poblado del Tepozán San Gabriel, extendiéndose en la parte central de los barrancos de la base del cerro Las Tetillas; también, parte del valle delimitado por los cerros San Antonio, La Defensa, y La Peña están cubiertos por este tipo de suelo (figura 11). Se emplea en su mayor parte en agricultura de temporal, con prácticas de pastoreo en la base del piedemonte hasta donde se extiende. Su vegetación natural consiste en matorral en las zonas planas, con pequeñas áreas de bosque en la base del piedemonte (figura 12).

REGOSOL.

Se caracteriza por no presentar horizontes, en general son de color claro, con parecido a la roca que los subyace y de la cual se origina. Se encuentra con los litosoles o en afloramientos de

rocas o tepetate, es un suelo totalmente inmaduro. Son someros, de fertilidad variable y su utilidad esta condicionada por su profundidad.

Sólo se localiza en dos zonas de la subcuenca: en la parte oeste, ocupa la parte alta e intermedia del Cerro La Paila y en la parte sureste, en donde la mayor parte de las laderas de la Sierra del Tepozán en su parte superior están cubiertas por este suelo (figura 11). Se le da uso forestal sobre la Sierra El Tepozán y ganadero en el Cerro La Paila; en este último se combinan matorral y bosque, mientras que sobre la sierra predomina el bosque (figura 12).

VERTISOL.

Son suelos en donde la estación seca y la lluviosa son muy marcadas. La vegetación natural va desde selvas hasta pastizales en los climas secos. Se caracteriza principalmente por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos durante la época de sequía. Son suelos muy arcillosos, pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos. Por lo regular su color es negro, café o gris.

Su utilización agrícola es extensiva, son muy fértiles, presenta problemas durante su manejo a causa de inundaciones y mal drenaje; lo anterior ocasiona que al evaporarse el agua los suelos se vuelvan salinos. Por su posición tiene una baja susceptibilidad a erosionarse.

Este suelo al ser representativo de zonas planas se encuentra sobre todo en lo que es la planicie central, rodeando a la laguna, además de algunos valles dispuestos en el interior de toda la subcuenca (figura 11). Se le utiliza principalmente para agricultura de temporal; en zonas donde no se le aprovecha, la vegetación original es de matorral (figura 12).

A manera de conclusión general se puede afirmar que la vegetación natural de la subcuenca hoy en día está totalmente modificada con respecto a la que fue hace algunas décadas, aunque todavía quedan árboles aislados como indicios de que en la mayor parte de la subcuenca la zona boscosa ocupó áreas mucho mayores a las actuales. La vegetación original fue de pinos y encinos, pero por la deforestación está remplazada por pastos, magueyes y nopales, al igual que campos de cultivo (figura 12).

En zonas de lomeríos, piedemonte y en partes medias y bajas de las montañas la vegetación predominante es matorral, compuesto de plantas herbáceas, xerófitas y pastos, adaptados ante la falta de humedad en la mayor parte del año. La vegetación en la base de las montañas consiste sobre todo

en magueyes (*Agave sp.*) y nopal silvestre (*Opuntia*). En las zonas más altas de la subcuenca aún se conserva la vegetación original, es decir, bosque de pino-encino (*Quercus*), por la deforestación estas áreas son cada vez menores; las zonas donde los árboles ya han sido eliminados, si se recuperan de forma natural, la nueva vegetación puede seguir siendo la misma, de lo contrario el matorral se expande (como vegetación secundaria) o las zonas se vuelven improductivas al quedar poco tiempo después totalmente erosionadas. La cubierta vegetal es un factor de suma importancia y que incide en la respuesta del escurrimiento superficial ante tormentas de gran intensidad, protege al suelo del golpeteo de las gotas de lluvia e impide que el agua en escorrentía arrastre las partículas disgregadas del suelo.

3.2. MEDIO SOCIAL

La naturaleza siempre ha proporcionado sustento al hombre, conforme aumenta el número de habitantes, se ve en la necesidad de trabajar para producir lo que necesita (principalmente alimento), de esta manera poco a poco va modificando el medio ambiente en busca de sus satisfactores.

3.2.1. ANTECEDENTES Y EVOLUCION HISTORICA

Al finalizar el Pleistoceno hace 10 mil años y cuando ha terminado la última glaciación, el clima influye en los primeros pobladores de la Cuenca de México, quienes eran nómadas y se dedicaban a la recolección y la caza; al adaptarse a las nuevas condiciones climáticas empiezan a poblar las márgenes del lago de Anáhuac. Aunque las huellas más antiguas de ocupación humana en la cuenca se remontan a 25 000 años atrás, en la proximidad de Tequisquiatic, al norte de Zumpango (Serra, 1990), es hasta el año 2000 a. C. que se empiezan a asentar en los alrededores del lago, en lugares como Tlatilco, Chimalhuacan, Zacatenco, Ticoman, Cuicuilco, Copilco, Acolman, Huexotla, Coatlinchan, Chalco, Tlalmanalco y Zumpango (Brown, 1982; Chávez, 1994). A nivel mundial, la mayoría de las civilizaciones que dejaron huella brotaron siempre asociadas al agua, en las riberas de lagos de agua dulce (Margalef, 1981).

En el Museo Arqueológico de Tepeapulco se pueden observar restos de diversos utensilios (vasijas, morteros, molcajetes, tejolotes, metates, metlapiles, hachas, puntas de flecha, piezas de cerámica, estatuas y figuras de basalto, tezontle, obsidiana y barro) encontrados en los alrededores de la zona, la datación de los utensilios permite tener una idea de la evolución de la población local en las siguientes etapas:

1.- Epoca de la Aldeas Agrícolas (1200 a. C. - 100 d. C.)

Estos grupos humanos vivían en aldeas permanentes, tenían como base alimentaria el cultivo de maíz, complementando su alimentación con productos de la caza, pesca y recolección. Se establecieron en las riberas de la laguna de Tecocomulco y al sur de esta última, en las cercanías de Tepeapulco.

2.- Epoca Teotihuacana (100 d. C. - 800 d. C.)

Durante esta época se construyó la pirámide del Tecolote en el piedemonte del cerro el Jihuingo, a 6 km al oeste del cerro de La Paila.

3.- Epoca Tolteca (800 d. C. - 1200 d. C.)

Esta época resulta la menos representada por el escaso número de piezas encontradas.

4.- Epoca Azteca (1200 d. C. - 1521 d. C.)

Aunque formalmente inicia en el año 1200, es hasta después del año 1345 que los mexicas después de más de un siglo de peregrinar de las siete cuevas (Aztlán-Acatitla), arriban a las orillas del Lago de Anáhuac, en donde observan sobre un pequeño islote el presagio de sus sacerdotes: “cerca de unas piedras un nopal en donde se erguía un águila desgarrando y devorando una serpiente”. Sobre el islote fundan su ciudad a la que llamaron Metzico-Tenochtitlan (Metzico o Metzisco-cara de luna en honor a su dios Mexihtiz o Huitzilopochtli y Tenoch-tuna o nopal sobre piedra) (Lenz, 1991). Ante la falta de espacio los aztecas crearon técnicas como las chinampas para ganarle terreno al agua; subsistían del cultivo de maíz, la caza y la pesca; construyeron calzadas para transportarse y diques y canales para desaguar el exceso de agua; todo lo anterior propició el crecimiento demográfico dentro de la Cuenca (García Quintana y Romero Galván, 1978; Messmacher, 1979). Ante la falta de espacio los aztecas se dedicaron a migrar hacia los alrededores,

es por ello que en la subcuenca de Tecocomulco tuvieron una gran difusión, prueba de ello es que de esta época datan la mayor la cantidad de vestigios encontrados en las inmediaciones de la zona.

5.- Epoca Colonial.

Los franciscanos de Texcoco fundaron en Tepeapulco en 1527 el monasterio y la parroquia de San Francisco de Asis y en 1570 concluyen la edificación del convento.

Fray Bernardino de Sahagún fue misionero del monasterio de San Francisco de Asis de 1529 a 1547, periodo durante el cual se perfeccionó en el conocimiento del náhuatl, después de 1547 se da a la tarea de descifrar códices y de dialogar con los indígenas para conocer la historia de los naturales de México. Como resultado de sus investigaciones y con base en los testimonios recabados publicó la Antigua Palabra, la Visión de los Vencidos y su obra más importante la Historia General de las Cosas de la Nueva España (Jiménez, Juárez y Cedillo, 1997).

A un costado de la Parroquia de San Francisco de Asis, dividido por lo que hoy en día es la Avenida Hidalgo, se encuentra la que fue casa de Hernán Cortés, que le fue entregada por medio de la *encomienda* de Otumba. La expansión de los españoles dio lugar al establecimiento de numerosas encomiendas (antecedentes de las haciendas) en toda la zona.

3.2.2. CRECIMIENTO

Aunque el crecimiento de la población se debió producir de manera paulatina, quizá con la construcción del complejo industrial de Ciudad Sahagún en los años cincuenta creció la población, al convertirse en un polo de desarrollo para la región.

Para comprender lo anterior, se analizaron los censos de población de 1980 en adelante, debido a que el censo de 1970 y anteriores no contaban con la población por municipio no se tomaron en cuenta.

En el Censo General de Población y Vivienda de 1980 (SPP, 1983), de 1990 (INEGI, 1991) y en el Censo de Población y Vivienda de 1995 (INEGI, 1996) se consideró la población total de cada estado y de los diferentes municipios que integran la subcuenca; además, en el censo de 1995 se tomó la población por poblado para cada municipio; en este último, al sumarse los poblados de cada uno de los 7 municipios que comprende la subcuenca, se obtuvo la parte de la población municipal

que vive dentro de ella, con la población anterior se calculó una proporción con respecto al total del municipio, dicha proporción sirvió para obtener una estimación del incremento de la población de 1980 y 1990. Los totales y estimaciones obtenidas se encuentran en el cuadro 6.

POBLACION TOTAL (a)

ESTADO	1980		1990		1995	
HIDALGO	1 547 493		1 888 366		2 112 473	
Municipios	1	3	1	3	1	2
Almoloya	8 550	1 880	8 973	1 973	10 340	2 274
Apan	30 090	1 010	35 572	1 194	37 170	1 248
Cuautepec	30 535	2 258	36 519	2 701	43 906	3 247
Singuilucan	11 106	887	12 201	974	12 865	1 027
Tepeapulco	37 888	1 550	42 214	1 727	48 241	1 974
Total	118 169	7 569	135 479	8 678	152 522	9 770
		* 6.4	** 14.6	* 6.4	** 12.5	* 6.4

POBLACION TOTAL (b)

ESTADO	1980		1990		1995	
PUEBLA	3 347 685		4 126 101		4 624 365	
Municipio	1	3	1	3	1	2
Chignahuapan	33 712	3 628	41 896	4 509	46 208	4 973
		* 10.7	** 24.2	* 10.7	** 10.2	* 10.7

POBLACION TOTAL (c)

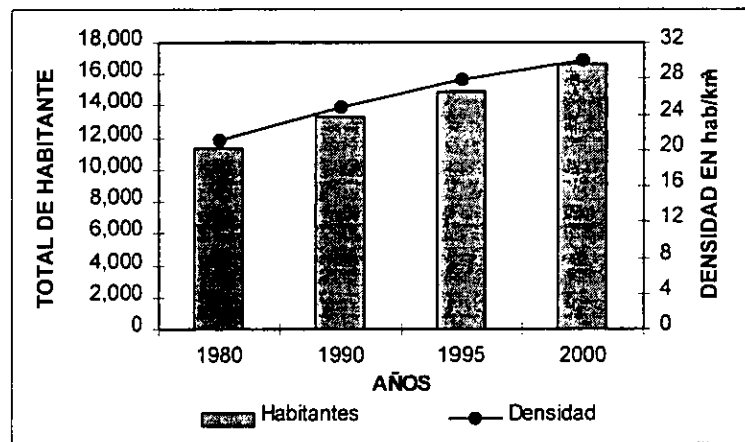
ESTADO	1980		1990		1995	
TLAXCALA	556 597		761 277		883 924	
Municipio	1	3	1	3	1	2
Tlaxco	20 384	125	27 089	166	30 766	189
		* 0.6	** 32.8	* 0.6	** 13.8	* 0.6

- 1.- Población total del municipio.
- 2.- Población del municipio correspondiente a la subcuenca.
- 3.- Población estimada en base al porcentaje de crecimiento de 1995.
- * Porcentaje con respecto a la población total del Municipio.
- ** Proporción de crecimiento.

Cuadro 6 (a-b-c). Crecimiento de la población en la subcuenca de Tecocomulco.

Como se puede observar en el cuadro 6, en el valor correspondiente a la población que vive en el interior de la subcuenca (2 y 3) se destaca que en los 7 municipios la población está en constante crecimiento. Los municipios correspondientes a los Estados de Puebla y Tlaxcala están sufriendo un crecimiento considerable (con un 24.2 y un 10.2 por ciento para el primero y con 32.8 y

un 13.8 por ciento para el segundo), por su parte, los municipios de Hidalgo tuvieron un crecimiento menos marcado (con un 14.6 y un 12.5 por ciento); en el caso de las 6 cifras anteriores, hay que destacar que la primera corresponde al crecimiento de 1980 a 1990, mientras que la segunda sólo cubre un periodo de 5 años (1990 a 1995), lo que hace que para Puebla y Tlaxcala la variación entre una y otra sea considerable. Al sumar las cantidades parciales de población para cada estado se tiene que para 1980 la población total fue de 11 322 habitantes, para 1990 aumento a 13 353 y finalmente para 1995 fue de 14 932 habitantes, distribuidos al interior de la subcuenca (ver gráfica 13).



Gráfica 13. Crecimiento total y densidad de la población en la subcuenca de Tecocomulco.

La importancia sobre el crecimiento de la población radica en que dicha población demanda un lugar donde vivir, terrenos donde cultivar y madera para usarla como material de construcción o como combustible, lo que desencadena un serio problema de erosión del suelo y otros derivados de esto.

3.2.3. DISTRIBUCION

Políticamente, la subcuenca de Tecocomulco abarca los Estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala, ocupando parcialmente 7 municipios, en ellos la población se distribuye de manera desigual en 93 poblados (INEGI, 1996) (ver cuadro 7).

ESTADO	MUNICIPIO	POBLADOS
Hidalgo (013)	Almoloya (007)	Cuatlaco, Coronillas, Golondrinas, Huacalillos, Huimiyucan, Laguna el Puerco, Las Maravilla, La Mesa del Gallo, La Misa, La Ordeña, El Portezuelo, El Pozo, Presa la Hacienda, Rancho Nuevo, El Retiro, El Sabinal, San Antonio Cuatlaco, San José Coliuca, San Juan Violeta, Tepozán, El Tepozán San Gabriel, Las Vigas, La Violeta.
	Apan (008)	Alcantarillas, Cocinillas, El Colorado, El Coyote, El Mirador, Acopinalco, Rancho Vidal, Santa Cruz, Hacienda Santa Cruz, Tezoyo, El Tigre.
	Cuautepec (016)	El Aserradero, El Campamento, La Cañada, Coatzetzengo, El Coyuco, El Encinal, Las Isletas, Lomas de Ojuila, Maravillas, Mazatepec, Santa Elena Paliseca, La Palma, Las Palmas, San Juan Tecocomulco, Tecocomulco, Tezoncualpa.
	Singuilucan (057)	Buenavista, Francisco I. Madero, Crecencio A., El Cebadal, La Joya, La Mora, La Paila, Plutarco Elias Calles, La Raya, Sabanetas, Santa Ana Chichicuautla, Tlazala, La Virgen.
	Tepeapulco (061)	Los Cides, Estación de Bombeo N° 8, Francisco Sarabia, Corralillos, Colonia 20 de Noviembre, Jaguey Prieto, San Jerónimo, San Miguel Allende, Santa Cruz, Tultengo, Vista Hermosa.
Puebla (021)	Chignahuapan (053)	Canuillas, Cuatelolulco, Barranca de la Cruz, El Eco, Nuevo San Claudio, El Paredón, Pedernales, Pueblo Nuevo, Peñuelas, Las Quemadas, El Reparó, Rinconada, San Isidro Coliuca, San Isidro Pedernales, San José Corral Blanco, Tecoloc, Tecoloquillo, Tres Cabezas.
Tlaxcala (029)	Tlaxco (034)	La Vega, Las Vigas.

Cuadro 7. Distribución de la población en la subcuenca de Tecocomulco.

Para 1995 los 14 932 habitantes que vivían en la subcuenca se encontraban distribuidos en 93 poblados (ver cuadro 7), la densidad para ese año fue de 27.8 hab/km². Por medio de estimaciones se calculó que para 1980 la densidad fue de 21.0 hab/km² y para 1990 de 24.8

hab/km². Si se mantiene la misma proporción de crecimiento de 1990 a 1995, se estima que para el año 2000 vivirán 16 686 habitantes dentro de la subcuenca, lo que dará una densidad de 30.0 hab/km² (ver gráfica 13).

3.2.4. ACTIVIDADES ECONOMICAS Y USO DE SUELO

Hasta antes de 1950 la población de la subcuenca y sus alrededores era totalmente rural, las actividades económicas imperantes eran las primarias (agricultura y ganadería). Con las políticas de industrialización fuera de la Ciudad de México, entre 1951 y 1952 se inicia la construcción del complejo industrial de Ciudad Sahagún, con las siguientes compañías:

1. La DINA (Disel Nacional) especializada en la construcción de carros, autobuses y maquinaria agrícola pesada.
2. La CNCF (Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril) dedicada a la construcción de diversos tipos de vagones de ferrocarril y en las últimas décadas de los vagones del Sistema de Transporte Colectivo (Metro).

El complejo industrial revolucionó a los residentes, parte de la población económicamente activa dedicada a las labores agrícolas y a la producción de pulque fue absorbida por la industria, surgiendo nuevos empleos, entre obreros, albañiles, peones, mecánicos y electricistas. Las actividades secundarias abarcaron una mayor parte de la población económicamente activa; pese a lo anterior, algunos habitantes aún se dedicaron a sus antiguas actividades (Cruz, 1974).

Actualmente el uso del suelo en la subcuenca de Tecocomulco es principalmente agropecuario, en la planicie, los valles y partes del piedemonte se dedican a la agricultura de temporal, en las inmediaciones de la laguna se practica agricultura de riego (figura 12). De acuerdo con el VII Censo Agrícola-Ganadero (INEGI, 1994) y por las observaciones realizadas en campo, se puede precisar que los principales productos agrícolas son:

Cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), alfalfa (*Medicago sativa L.*), sorgo (*Sorghum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*). Se debe destacar que el cultivo de la cebada a tomado un aumento considerable con respecto a los otros cultivos, a partir de las últimas décadas.

Por su parte, el ganado en orden de importancia (por el número de cabezas) es: ovino, caprino, bovino, porcino, caballar, asnar y mular. En terrenos agrícolas (temporal y riego) (figura 12) se realiza pastoreo de rastrojo (restos de cultivo y hierbas), en el matorral, durante todo el año se realiza pastoreo de ganado ovino y caprino principalmente. Sin embargo, cabe aclarar que la información agrícola y ganadera es la que predomina en forma general, pero de manera local en algunos poblados ocupa un orden diferente.

En los dos aserraderos que se conocen formalmente dentro de la subcuenca se produce madera de pino y encino; la ubicación de los mismos es la siguiente: uno está cerca del poblado de Francisco I. Madero (al oeste de la subcuenca), explota madera del cerro La Paila y de la subcuenca vecina; el otro se encuentra a aproximadamente 1 km al este del poblado el Tepozán San Gabriel, explota madera de la zona circundante al cerro La Peña y parte de la Sierra el Tepozán. Actualmente, dentro de la subcuenca se cortan de manera clandestina enormes cantidades de árboles de todas las zonas boscosas, ocasionando la posterior pérdida del suelo.

El modo de vida de la población (tanto local como a nivel nacional) y su evolución social, claramente está representado en la subcuenca: cuando la principal bebida era el pulque, la subcuenca en un alto porcentaje se dedicaba al cultivo del maguey, llegando a ser la principal zona productora de pulque del país, con el paso de los años el hábito cambió, hoy día la cerveza ocupa un mejor lugar como bebida; se cultivan enormes extensiones de cebada (monocultivo), convirtiendo a la zona es una de las principales proveedoras para la Cervecería Modelo, en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Quizá esta última razón, puede ser una de las causas del actual modelado de la subcuenca, cuando la zona producía pulque, el cultivo del maguey se encargaba que estos estuvieran en buenas condiciones y en cantidades importantes, cuando el pulque pierde su mercado, las plantaciones se abandonan o se cambia de cultivo, en el caso de las planicies se cultivan ahora con maíz o con cebada, mientras que al maguey que se producía en el piedemonte y zona de montaña ya no se le cuida y es presa fácil de quienes rompen y pelan su penca, en busca de gusanos y mixiote (membrana semi-transparente que cubre a la penca) respectivamente. Lo anterior desencadenó el rápido avance de la erosión en una buena parte de la subcuenca.

CAPITULO 4.

GEOMORFOLOGIA

La *geomorfología* es una herramienta indispensable para los estudios de erosión. El análisis geomorfológico inicial permite definir las diferentes unidades del relieve (zonificación), posteriormente, para el estudio de las variables geomorfológicas se aplican métodos específicos, que ayudan a analizar los elementos del relieve desde un punto de vista particular. El objetivo de los diferentes métodos es comprender el origen y evolución del relieve, aunque en la actualidad aparecen nuevos métodos geomorfológicos o se perfeccionan los anteriores (Lugo, 1988), para este análisis sólo se aplicaron algunos.

4.1. MORFOMETRIA

La *morfometría* se refiere a diversos análisis cuantitativos del relieve que incluyen altitud, área, volumen, pendiente, densidad de drenaje, entre otros, con apoyo en modelos matemáticos, de lo que resultan mapas temáticos que ayudan a comprender mejor cómo se está modelando la superficie terrestre.

4.1.1. ALTIMETRIA

También se le conoce como hipsometría, se elabora a partir de la topografía. Para su elaboración se considera la cota máxima y mínima de la zona en estudio, para elegir el número de rangos a trabajar, en donde los tonos fríos representan las porciones bajas y los cálidos las altas (Salitchev, 1981). Adicionalmente en este mapa se calcularon las áreas planimétricas de cada piso altimétrico y de toda la subcuenca.

En el mapa altimétrico es más fácil comprender el relieve que en el mapa topográfico, porque representa al relieve que tiene la misma altitud con franjas de colores, cuya elaboración depende del criterio que aplique el autor, para este caso fue de 100 metros.

Como se puede observar en el mapa altimétrico (figura 13), la distribución del relieve es irregular, corresponde la mayor área a la parte más baja y se reduce paulatinamente conforme se asciende en altura. La distancia vertical entre el punto más alto y más bajo de la subcuenca es de 851 m.

Para realizar un análisis altimétrico más completo de la subcuenca, se obtuvo la superficie en km² de cada piso altimétrico (ver cuadro 8); con las áreas se hicieron diferentes cálculos para elaborar gráficas que muestran algunas características de la cuenca en estudio.

PISO ALTIMETRICO	DESNIVEL	ALTURA	AREA EN km ²	%	% DE ALTURA	% DE AREA
3375-3300	75	851	0.116	0.02	100.0	0.02
3300-3200	100	776	2.675	0.50	91.2	0.52
3200-3100	100	676	5.661	1.05	79.4	1.57
3100-3000	100	576	13.854	2.58	67.7	4.16
3000-2900	100	476	24.540	4.57	55.9	8.73
2900-2800	100	376	53.138	9.90	44.2	18.63
2800-2700	100	276	125.018	23.30	32.4	41.93
2700-2600	100	176	143.853	26.80	20.7	68.73
2600-2524	76	76	167.815	31.27	8.9	100.00
Total =			536.670	100.00		

Cuadro 8. Superficie en km² de los pisos altimétricos de la subcuenca de Tecocomulco.

a) HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMETRICAS

En la gráfica 14 se aprecia que la distribución de los pisos altimétrico no es constante, pues el histograma no sigue una tendencia rectilínea. Los pisos altimétricos se pueden agrupar en tres grupos:

- I. El primer grupo ocupa 3 pisos, va de los 3100 a los 3375 metros. El decrecimiento entre un piso y otro es proporcional. Los pisos más altos ocupan menos área a causa de que desde su formación su área tuvo que ser más pequeña, pero, hay que agregar que día con día los agentes erosivos los están reduciendo. Por otro lado, los sedimentos que estos producen se acumulan en las partes más bajas, acrecentando principalmente el área del piso más bajo.

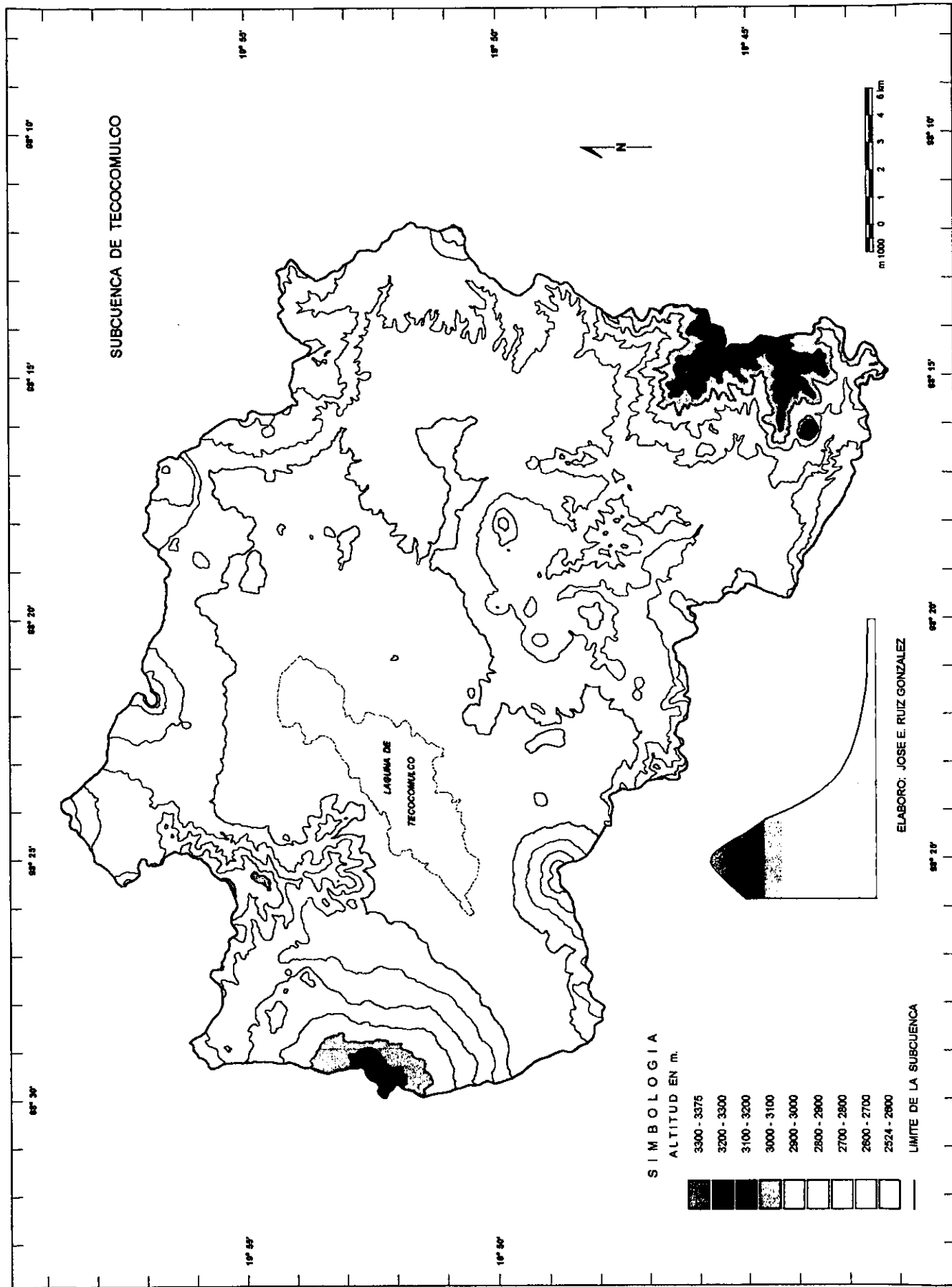
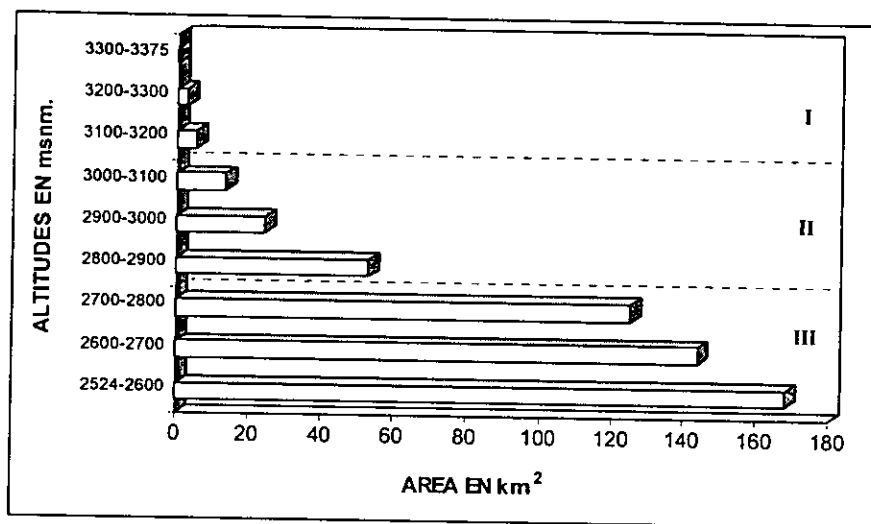


FIGURA 13: ALTIMETRIA DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

- II. El segundo ocupa del piso 2800 al 3100 metros. La ruptura entre este piso y su inmediato superior e inferior sirve como límite.
- III. El tercero va de los 2524 a los 2800 metros. La disminución visual entre un piso y otro se puede decir es constante y uniforme. La mayor parte del área de la subcuenca se encuentra en estos primeros 276 metros de altitud.

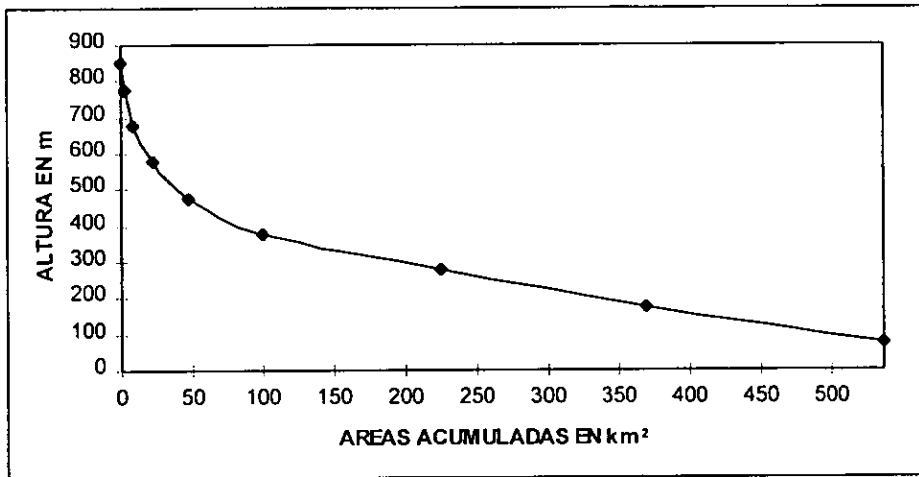


Gráfica 14. Histograma de frecuencias altimétricas.

b) CURVA HIPSOGRÁFICA

La curva hipsográfica muestra la distribución de pisos altimétricos, sólo que ahora el área se representa de manera secuencial y acumulativa; en ella se aprecia cómo se distribuye la superficie de cada piso, es similar a un perfil de la subcuenca.

La distribución del área por pisos sigue una proporción desigual (gráfica 15), en los primeros dos pisos (2524 - 2700 metros) se encuentra la mayor parte del área de toda la subcuenca, el 58.07%.



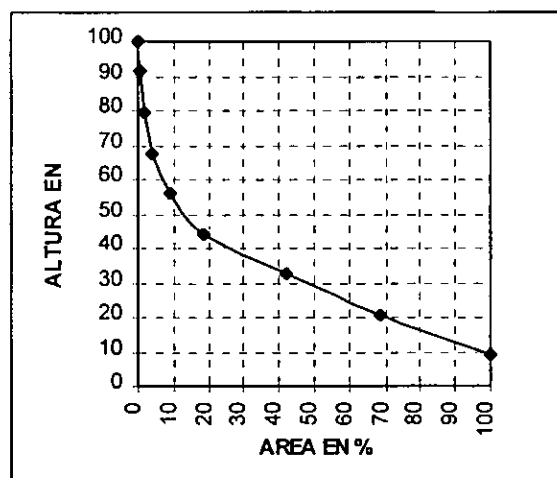
Gráfica 15. Curva hipsográfica.

c) CURVA INTEGRAL HIPSOMETRICA

La forma cóncava de la curva (gráfica 16) indica que los pisos altimétricos están en una etapa de erosión activa; aunque el origen del relieve es relativamente reciente, la fase que ha alcanzado su modelado está muy avanzado de manera general, pero, se remarca principalmente en la parte más alta, de ahí que los últimos pisos presenten una disposición casi vertical; además, en teoría el área que cada piso representa en la gráfica, en la realidad es el volumen que ocupa el relieve. En esta gráfica se observa que el volumen total de toda la subcuenca se encuentra en los primeros pisos y conforme se asciende en los sucesivos comienza a disminuir, al reflejar un área menor y con ello también el volumen.



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA



Gráfica 16. Curva integral hipsométrica .

4.1.2. PENDIENTES

Para la elaboración de este mapa la metodología es la siguiente (Lugo, 1988):

- a) Primero se analiza entre que equidistancia de curvas de nivel se quiere sacar la pendiente.
- b) Se divide la distancia vertical entre dos o más curvas, entre la separación horizontal que hay entre las mismas, destacando que la unidad de medida horizontal y vertical debe ser la misma.
- c) El cociente de la división puede representarse en 4 distintas formas, las cuales son:
 1. Decimal (0.2), es el resultado de la división.
 2. En forma de fracción ($1/3$), es la diferencia entre la distancia vertical y horizontal, es decir la proporción.
 3. En porcentaje (20%), se obtiene al multiplicar por 100 el valor obtenido en la primer forma. En teoría, si se está trabajando con metros como unidad de medida, se dice que por cada 100 metros que se avancen en plano horizontal, se esta subiendo o bajando la cantidad de metros que se obtuvo en el resultado.
 4. En grados (20°), si el valor de la primer forma se convierte al ángulo tangente correspondiente.

El siguiente mapa se elaboró de acuerdo con la última forma. En el caso de los mapas del capítulo 5 se aplicaron las formas 3 y 4.

Para la elaboración de este mapa se eligió una equidistancia entre las curvas de nivel a cada 10 metros, tratando que los rangos elegidos para su representación fueran el límite entre las principales geoformas, es decir, planicie, piedemonte, lomeríos y laderas montañosas (Lugo, 1988).

La pendiente del terreno para el modelado del mismo es de suma importancia, pues la erosión actúa en forma directamente proporcional a la pendiente, es decir, a mayor pendiente, mayor erosión y viceversa. Si con la pendiente se conjuntan litologías poco consolidadas, suelos erodables, procesos hídricos y gravitacionales, y algunas prácticas antrópicas (como el pastoreo excesivo y la deforestación), como resultado se pueden tener zonas con acelerada erosión, difíciles de recuperar.

El mapa de pendientes en grados (figura 14) presenta cómo de manera lógica, las pendientes menores a 2 grados se localizan en las zonas planas (planicie y valles intermontanos), conforme la pendiente se acerca a la base de los cuerpos elevados, llámense lomeríos o sierras montañosas, empieza a tener una ligera elevación hasta que llega a los 5 grados, formando al piedemonte; finalmente, en las laderas montañosas se encuentra la pendiente más pronunciada. La Sierra del Tepozán presenta laderas empinadas e incluso verticales de 90 grados, como es el caso del cerro La Peña, escarpe de origen tectónico de mas de 100 m, el cual corona la cima de dicha sierra.

4.1.3. AMPLITUD DEL RELIEVE

Se conoce como amplitud o energía del relieve a la diferencia máxima de altura (en metros) en una superficie determinada del terreno. Su elaboración consiste en lo siguiente:

1. El área de estudio se divide en cuadrados que cubran una misma superficie o área, para ello se aprovechó la cuadrícula *UTM* de la carta, en el caso de las cartas a escala 1: 50 000 el área que cubre la cuadrícula es de 1 km²; por cuestiones prácticas para esta escala en México se aplica una cuadrícula de 5 km² (Lugo, 1981, 1988).
2. En cada cuadro se obtiene la máxima altitud y se anota el valor.
3. Se hace lo mismo que en el paso anterior, pero ahora con la mínima altitud.
4. El valor de la mínima altitud se resta al valor de la máxima altitud para obtener con ello la diferencia de altura para ese cuadro.

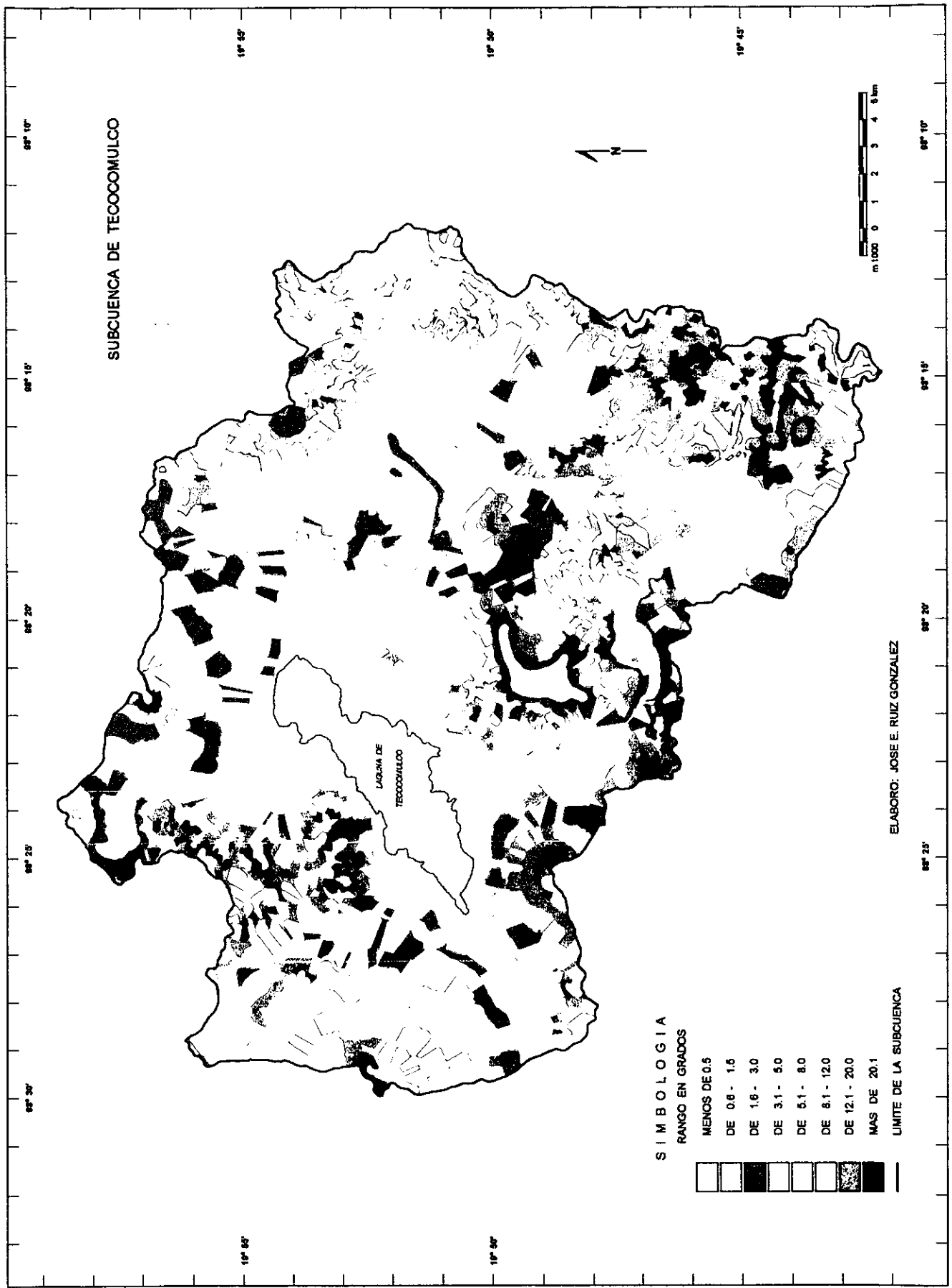


FIGURA 14: PENDIENTE EN GRADOS DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

5. Por la cantidad de resultados obtenidos (618), se buscan rangos para facilitar su representación, todos los valores que entren en un rango se hachuran o colorean para diferenciar un cuadro de otro.

Como se puede ver, la amplitud del relieve (figura 15 inferior) guarda una estrecha y lógica relación con la topografía, los valores más altos se encuentran donde están las mayores alturas, mientras que la amplitud mínima se encuentra en la planicie y en los diferentes valles. La disección vertical del relieve se ayuda de las fracturas de las rocas para facilitar la insición de las corrientes superficiales.

Para tener una mejor visión de este mapa (dado que los cuadros de colores hasta cierto punto no son fáciles de interpretar), se simplificó su representación por medio de isolíneas de igual valor de amplitud (figura 15 superior), en donde se pueden señalar los siguientes puntos:

1. Se aprecia mejor la similitud entre este mapa y el topográfico: los valores mínimos de amplitud se encuentran en la planicie y los diferentes valles, y comienzan a aumentar conforme se acercan a los cuerpos elevados (lomas y montañas).
2. Los valores de amplitud menores a 20 m se encuentran en la planicie central, bordeando la laguna, en algunos valles intermontanos y en la parte baja del piedemonte.
3. La amplitud entre 20 y 50 m se presenta cubriendo amplias zonas de piedemonte y lomeríos.
4. La categoría superior a 100 m se encuentra propiamente sobre las laderas montañosas de las diferentes sierras.
5. Los valores de amplitud superior a los 200 m representan zonas aisladas, se encuentran sobre las principales elevaciones de la subcuenca; aunque para su representación en este mapa el valor máximo de amplitud representado fue 200 m, se registraron 12 amplitudes superiores a los 300 m, siendo el valor de la amplitud extrema igual a 465 m.

4.1.4. CLASIFICACION DE ORDENES DE CORRIENTES

El mapa de clasificación de ordenes de corrientes se hace teniendo como base el mapa hidrográfico (figura 7), atendiendo el método propuesto por Horton (1945) y Strahler (1952), citados

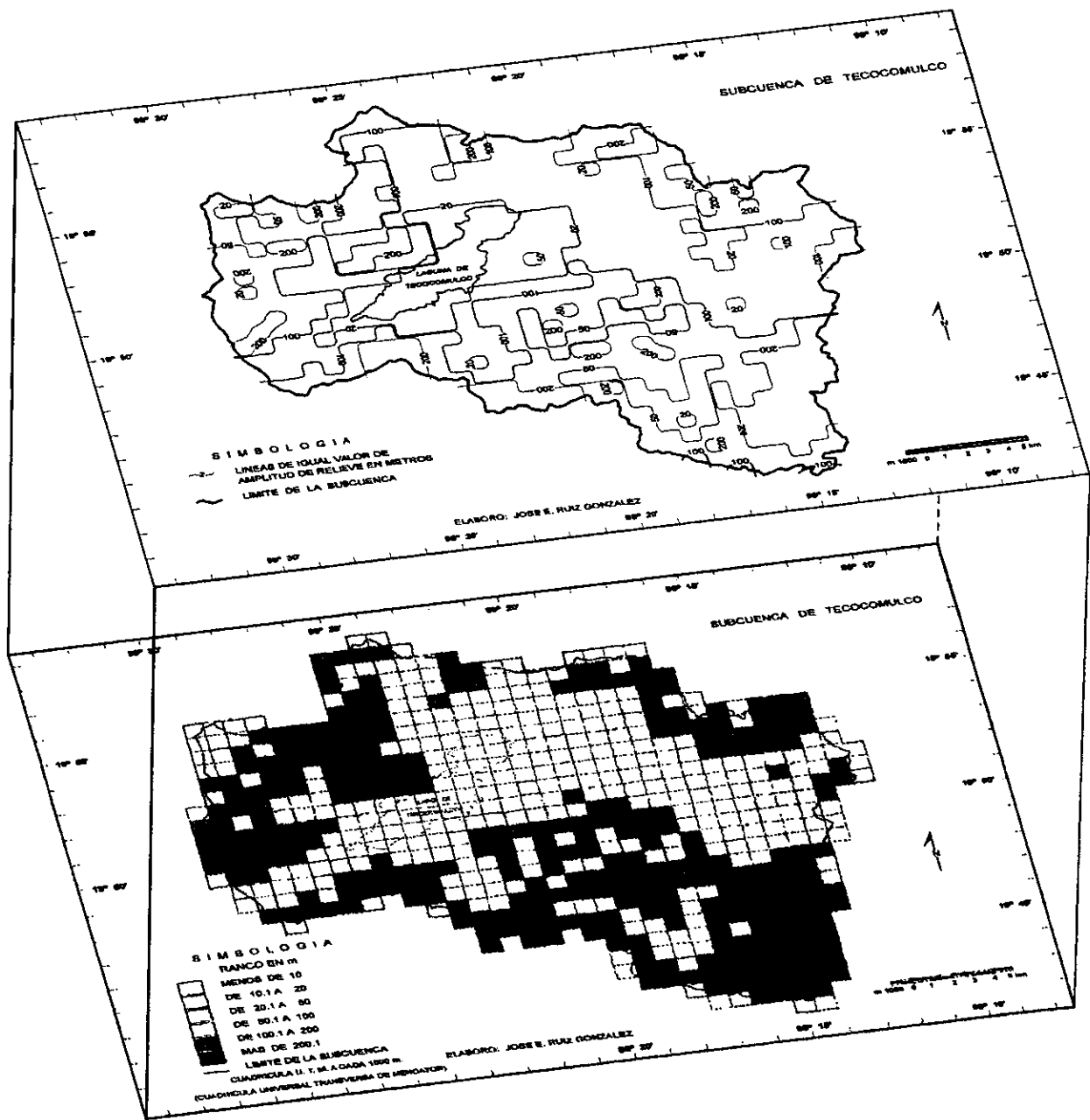


FIGURA 15: AMPLITUD DEL RELIEVE DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

en Lugo (1988). Las corrientes que no posean afluentes son de primer orden, con la unión de dos corrientes de primer orden se forma una corriente de segundo orden, si se juntan dos corrientes de segundo orden se tiene una corriente de tercer orden, de esta manera se siguen trazando las corrientes hasta que finalmente se encuentre el último orden. Para hacer fácilmente identificable este mapa se acostumbra que todas las corrientes de un orden tengan el mismo color.

Al tener jerarquizada toda la red hidrográfica (figura 16) se conoce cómo se distribuye el drenaje cuantitativamente dentro de la subcuenca, previamente hay que contar las corrientes que hay de cada orden.

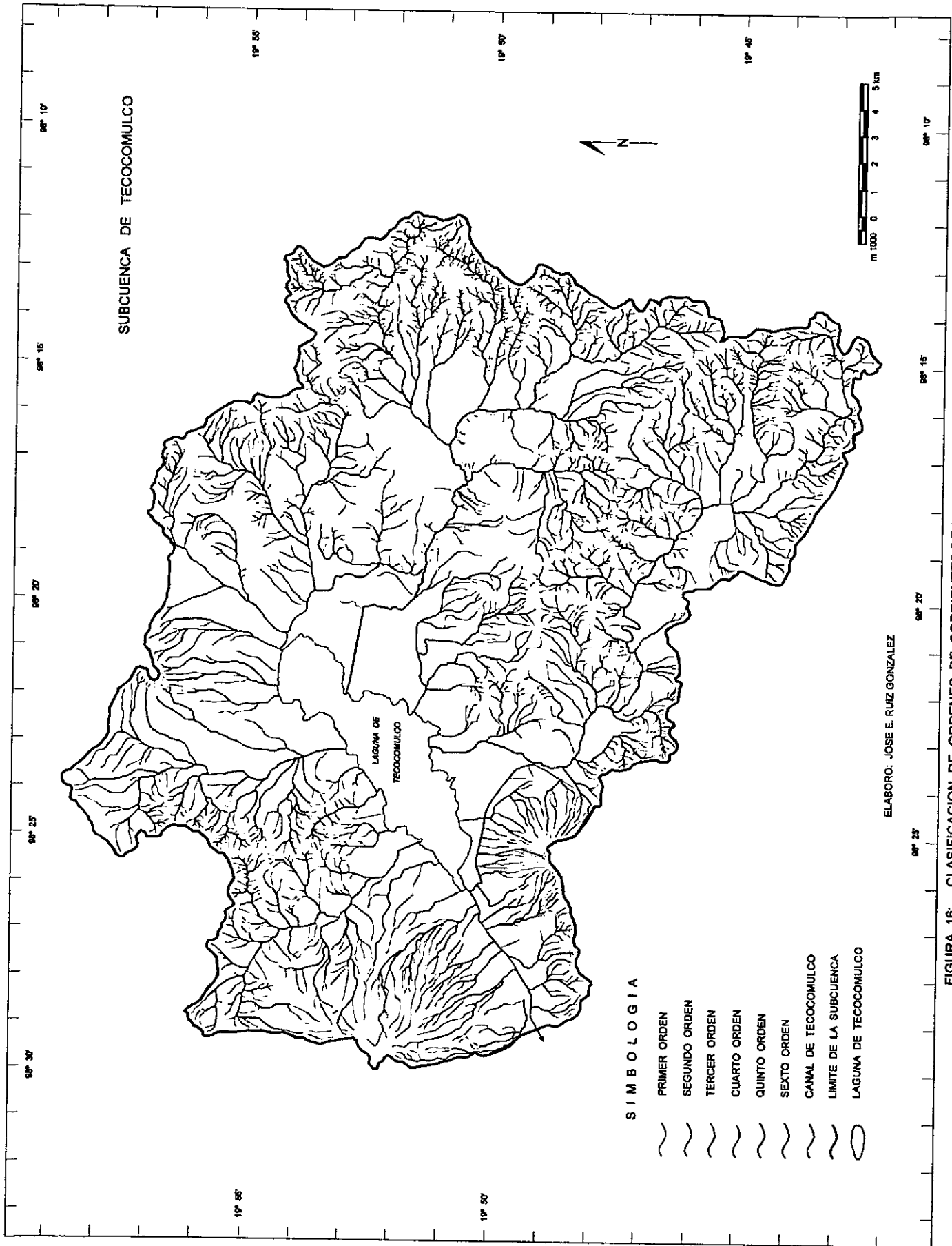
Para obtener la distribución cuantitativa de las corrientes se elaboró el cuadro 9, en donde:

- a) En la primera columna se pone el número de orden (NO).
- b) En la segunda el número de corrientes que hay de cada orden (NC).
- c) En la tercer columna se representa la relación de confluencia (RC). Para obtenerla se dividen las corrientes de primer orden entre las de segundo orden y el resultado es la relación de confluencia para el segundo orden, posteriormente las de segundo se dividen entre las de tercero y así sucesivamente hasta que se divide el ultimo orden. Como es lógico, las corrientes de primer orden no tienen relación de confluencia. A manera de nota hay que aclarar que no siempre las corrientes de un orden se agregan a los de su siguiente inmediato, a veces corrientes de primer orden se agregan a corrientes de cualquier orden, por lo anterior, la confluencia es hipotética, pero válida.
- d) En la cuarta columna se obtiene el valor logarítmico del número total de corrientes de cada orden (Log N), con los resultados se puede graficar como se encuentra distribuida la red de drenaje dentro de la subcuenca.

NO	NC	RC	Log N
PRIMER	2 027	x	3.31
SEGUNDO	507	4.00	2.71
TERCER	118	4.30	2.07
CUARTO	35	3.37	1.54
QUINTO	7	5.00	0.85
SEXTO	2	3.50	0.30

Total = 2 696

Cuadro 9. Distribución de corrientes por número de orden

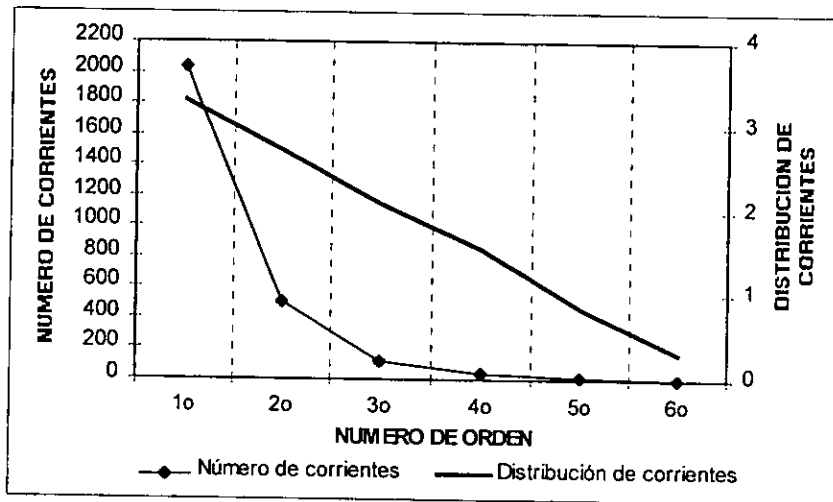


S I M B O L O G I A

- PRIMER ORDEN
- SEGUNDO ORDEN
- TERCER ORDEN
- CUARTO ORDEN
- QUINTO ORDEN
- SEXTO ORDEN
- CANAL DE TECOCOMULCO
- LIMITE DE LA SUBCUENCA
- LAGUNA DE TECOCOMULCO

FIGURA 16: CLASIFICACION DE ORDENES DE CORRIENTES DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

Como se puede observar en el cuadro 9 y en la gráfica 17, predominan principalmente las corrientes iniciales de primer y segundo orden (destacando solo las de primer orden), entre ambas corrientes ocupan el 93.9% del total de las corrientes.



Gráfica 17. Total y distribución de corrientes por número de orden en la subcuenca de Tecocomulco.

Las corrientes de primer orden son las más jóvenes, mientras que las últimas se refieren a las más antiguas. Por el elevado número de corrientes de primer y segundo orden que existen en la cuenca, se puede inferir que el modelado de la superficie es relativamente joven y tiene fases de inscisión vertical, lo que significa que la erosión hídrica lineal en ellas potencialmente es alta (si no hay vegetación disminuye la infiltración y aumenta el escurrimiento, concentrándose sobre todo en las corrientes de los primeros órdenes), lo que ocasiona el acarreo de grandes cantidades de material, mismo que posteriormente se deposita en la zona plana. Si ocurriera lo contrario y los primeros órdenes no fueran numerosos y en su lugar hubiera pocos órdenes, pero de longitudes considerables, significaría que el modelado del relieve tiene fases de ensanchamiento y depositación al estar alcanzando su madurez, es decir, se está nivelando.

Al graficar la cuarta columna del cuadro 9 (gráfica 17), se observa que logarítmicamente la proporción de corrientes es normal, es decir, sigue cierta tendencia a formar una línea recta; de encontrarse rupturas o anomalías muy marcadas en la línea significaría que el número de

corrientes de un orden en proporción es mucho mayor a sus anteriores y posteriores, cosa que en este caso no ocurre. Si se observa detenidamente la línea de la gráfica, se nota que no es totalmente recta, se notan dos ligeros quiebres en los órdenes 4° y 5°, la explicación es que el trazado de canales interfiere escurrimientos naturales, que al “encauzarlos” los disminuye en número. Como la mayoría de canales se construyeron en la parte más baja, es natural que los últimos órdenes sean los afectados, cosa que no pasaría si el drenaje fuera totalmente natural.

4.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Uno de los objetivos de los estudios geomorfológicos es clasificar el relieve por sus formas y los procesos erosivos y acumulativos. De la comparación de los mapas topográfico y de pendiente en grados se reconocen en la subcuenca de Tecocomulco las siguientes geoformas principales: planicie, valles, piedemonte, lomeríos y laderas montañosas (figura 17), los umbrales entre ellas están delimitados por la pendiente.

- Planicie y valles. Es el relieve dispuesto en forma horizontal o casi horizontal, que ocupa gran extensión del terreno, la pendiente fluctúa entre los 0 y 2°, como es el caso de la planicie central donde se encuentra la laguna; los valles intermontanos se consideran pequeñas planicies que se encuentran entre cuerpos montañosos a una mayor altitud.
- Piedemonte. Es la zona transicional entre la planicie y la base de los lomeríos y las laderas montañosas, ocupa pequeñas franjas de terreno, su pendiente va de los 2 a los 5° (se encuentra en la base de las lomas y montañas); en esta unidad geomorfológica la erosión sufre un cambio, propiamente aquí es donde se inicia la acumulación de los materiales que transporta, por ello los abanicos y taludes aluviales y coluviales tienen diferentes dimensiones, pero sobre todo, siempre están como transición entre la planicie y la zonas altas. Cabe destacar que por la pendiente del terreno, en este mapa se incluye como piedemonte a terreno cuya pendiente fluctúa entre el rango antes mencionado, aunque en el estricto sentido no es propiamente piedemonte, el caso más representativo de este ejemplo es la base del volcán de Coatzacoatzengo, al norte de la subcuenca.
- Lomeríos. Tienen pendientes superiores a los 5 grados, ocupan áreas pequeñas de diferentes dimensiones. Se les encuentra como varias lomas unidas (Lomas de Ojuila) o de manera aislada (Loma Larga). Tomando como referencia su base no sobrepasan los 100 metros de altura, son

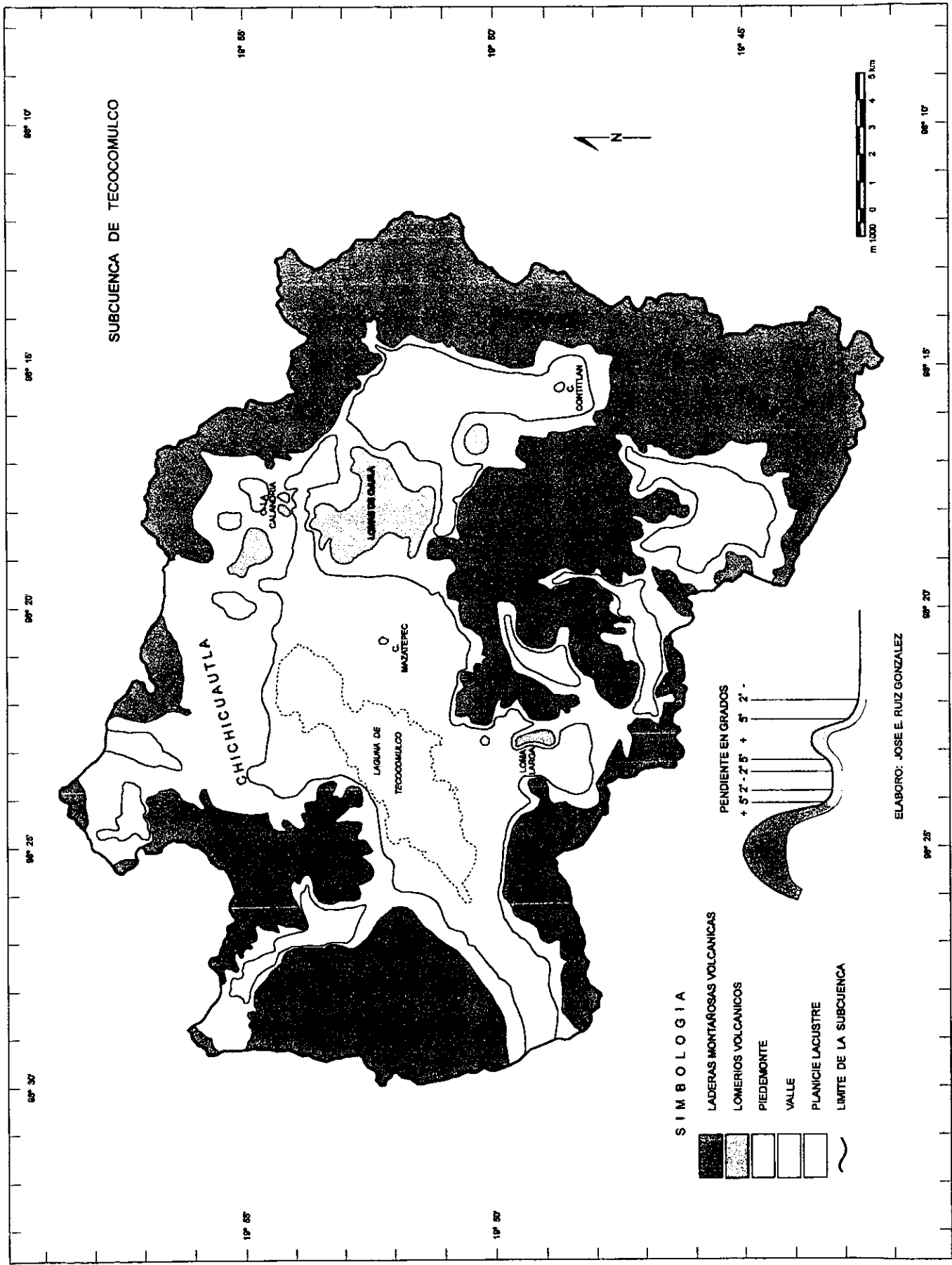


FIGURA 17: UNIDADES GEOMORFOLOGICAS DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

estructuras pequeñas (Denovo y Chicaro, 1957), por lo tanto, los cerros que se encuentra aislados entran en estas geoforma, siempre y cuando no sobrepasen el límite de elevación.

- Laderas montañosas. Ocupan vastas extensiones de terreno, siempre están agrupadas en forma de sierras (Chichicuatla en el norte y Tepozán en el este y sureste). Sobrepasan los 100 metros de altura; por lo general son las principales abastecedoras de los materiales que intemperiza y posteriormente transporta la erosión hacia sus zonas de acumulación.

4.3. MORFOGENESIS

La morfogénesis se refiere a la forma del relieve en función de su origen, analiza los agentes y procesos creadores y modeladores del relieve, entre los dos dan origen a una amplia variedad de geoformas en la superficie terrestre.

Los procesos endógenos forman al relieve terrestre (relieve endógeno), los procesos exógenos por el contrario, se encargan de la nivelación de la superficie por medio de su desintegración, produciendo formas acumulativas aluviales y coluviales (relieve exógeno) (Lugo, 1988). Las formas del relieve se clasifican en tres grupos: i) Relieve endógeno, ii) Relieve endógeno modelado y iii) Relieve exógeno (Lugo, 1984; Lugo *et al.*, 1994). En donde i y iii proceden de los anteriores procesos formadores del relieve y ii consiste en relieve volcánico severamente afectado por la erosión.

Los rasgos morfológicos de la subcuenca de Tecocomulco se originaron desde el sistema Terciario al Cuaternario (figura 3 y 6). Los rasgos morfológicos terciarios datan desde el Oligoceno hace 38 millones de años, comprenden desde pequeños lomeríos hasta estructuras montañosas de 3 775 msnm. Los rasgos cuaternarios están formados por planicies, algunos domos y conos cuya estructura aún se encuentra bien conservada, alcanzan elevaciones de más de 3 000 msnm.

En Tecocomulco (figura 18) los dos procesos endógenos han contribuido a formar el relieve: la planicie central, en donde se encuentra la laguna es una depresión de origen tectónico (Aguayo *et al.*, 1989) y los principales relieves volcánicos siguen también los patrones de los lineamientos y fracturas principales que cruzan la Cuenca de México (Ledezma, 1987) (figura 4), además de algunas fallas y fracturas locales. Por otro lado, los procesos exógenos claramente se observan entre

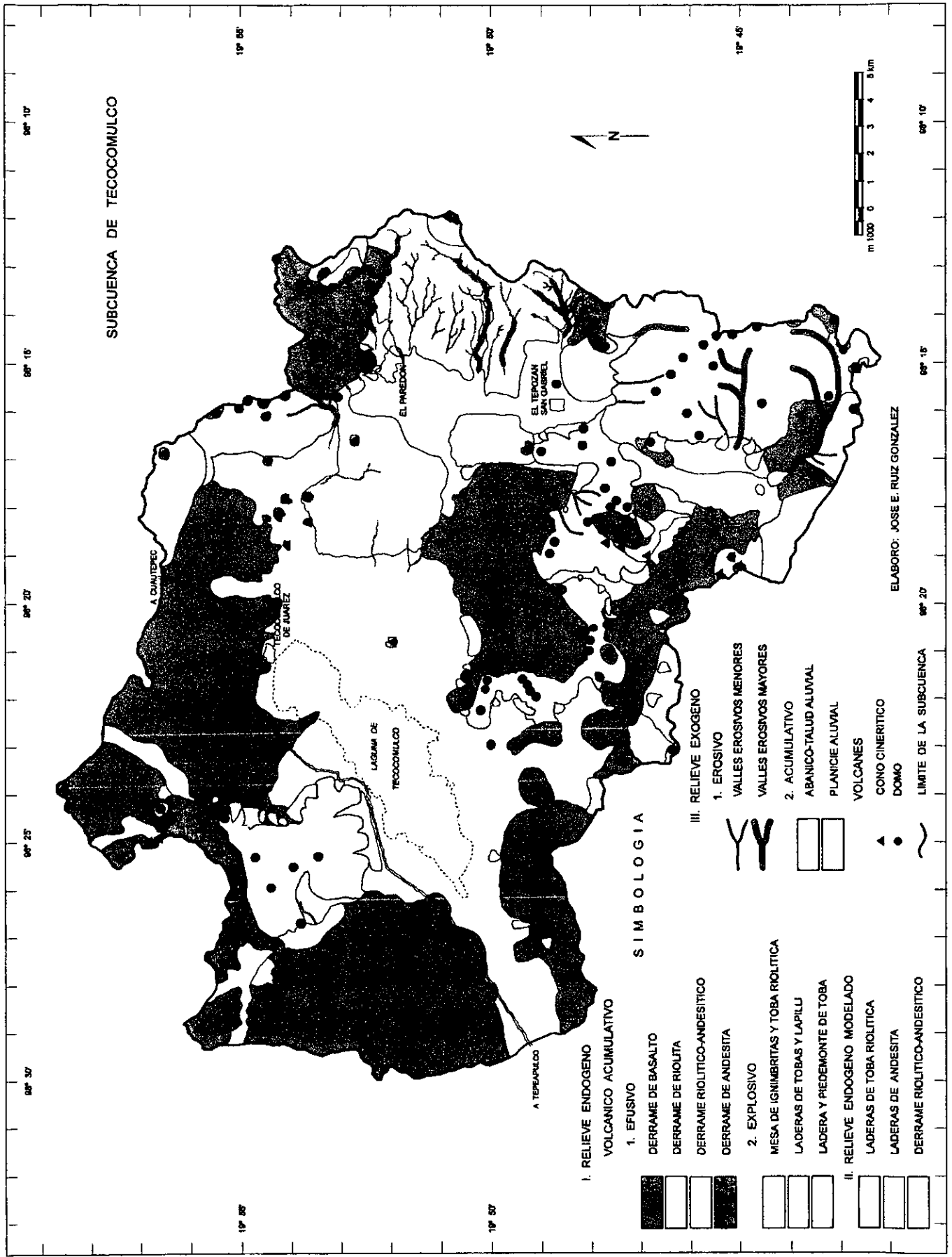


FIGURA 18: MORFOGENESIS DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

los valles intermontanos, la planicie central y en la formación de barrancos y algunos abanicos y taludes aluviales.

Como se puede observar en la figura 18, en la subcuenca es posible encontrar los 3 diferentes tipos de relieve:

I. RELIEVE ENDOGENO.

En la subcuenca es del tipo el volcánico acumulativo, se subdivide en: 1) efusivo, 2) explosivo, 3) extrusivo y 4) explosivo-efusivo (Lugo, 1984). De estos, sólo los dos primeros se encuentran en la subcuenca (figura 18).

1. Relieve volcánico efusivo. Formado por la salida de magma a la superficie; en la subcuenca constituye todas las prominencias topográficas, por su edad o litología presentan un modelado mínimo. Se encuentra formando sierras montañosas, mesas y derrames de lava, en laderas y algunas porciones de piedemonte, y como conos y domos volcánicos. La litología está constituida por derrames de basalto, riolita y andesita (figura 6).
2. Relieve volcánico explosivo. Corresponde al relieve formado por erupciones explosivas. Se manifiesta dentro de la subcuenca como pseudomesetas, laderas y planicies; en términos generales, casi sin excepción la mayor parte de la superficie de la subcuenca está cubierta por una capa de material piroclástico con diferente grado de compactación y de espesor variable.

II. RELIEVE ENDOGENO MODELADO.

En la zona estudiada es del tipo volcánico erosivo o volcánico denudatario, se caracteriza por no conservar su forma, pues ésta ha sido modificada por los procesos exógenos; el rápido modelado del relieve depende de factores como la edad de la roca, litología (textura, estructura, resistencia), pendiente del terreno, clima e influencia humana. En la subcuenca (figura 18) se le encuentra principalmente en derrames riolítico-andesíticos, los cuales presentan un modelado considerable; también está representado por material volcánico sumamente erosionado, la toba riolítica expulsada por el volcán Tecoloquillo (Ledezma, 1987) (Cerro Las Tetillas) (ver figura 6) a pesar de ser relativamente joven, por ser un material poco consolidado tiene una alta erodabilidad, lo que ha facilitado la incisión de las diferentes corrientes que por ella cruzan y han modelado la zona con profundos barrancos de más de 70 m.

III. RELIEVE EXOGENO.

Se subdivide en destructivo (erosivo o denudatario) y en constructivo o acumulativo (Lugo, 1984).

1. El relieve exógeno erosivo se forma como consecuencia de las diferentes corrientes permanentes o intermitentes que recorren el interior de la subcuenca disgregando y arrastrando la roca o sedimento por donde van pasando, se manifiesta con la extensa red hidrológica que ha disectado notoriamente la superficie de la subcuenca (figura 7). En el fondo de los diferentes valles la insición de las corrientes ha formado algunos barrancos de diferentes dimensiones, los cuales se pueden subdividir en mayores y menores (figura 18). Los diferentes barrancos son de fondo estrecho, presentan un perfil transversal en forma de V; tienen un crecimiento rápido por actividad de sus cabeceras, afectadas por erosión remontante. Cabe destacar que algunos rasgos del modelado son de origen antrópico, como puede ser el caso de algunos barrancos incipientes que se han formado a causa del mal uso del suelo y de la enorme deforestación a la que se ha sometido a la subcuenca.
2. El relieve acumulativo es producto del depósito de materiales transportados por los diferentes agentes erosivos, se le subdivide en:
 - a) Aluvial. Integrado por la acumulación de materiales fluviales que constituyen la planicie y el piedemonte, en este último se pueden distinguir dos formas principales de acumulación: el abanico y el talud, el primero se forma cuando una corriente deposita de manera aislada todos los materiales que acarrea en un sólo punto, por su parte, para que un talud se forme deben de depositar varias corrientes próximas. Aunque el talud es un término de muchos orígenes en geomorfología, aquí se le considera como una sucesión de varios abanicos juntos. En la subcuenca se le encuentra en la planicie central, en los valles intermontanos, en el piedemonte y como abanicos y taludes claramente visibles.
 - b) Lacustre. Se le llama así al depósito de material en ambientes acuosos, como es el caso de los materiales que se depositan en el fondo de la laguna.
 - c) Eólico. Aquí se incluyen los sedimentos depositados por el viento. La subcuenca al ser constantemente afectada por el viento ocasiona que cuando el suelo está totalmente seco el viento levante grandes tolvaneras, las cuales transportan sobre todo los sedimentos más finos hacia el interior o fuera de la misma subcuenca, a manera de capas delgadas, que si no se adhieren al suelo posteriormente vuelven a ser levantadas por el viento. Este

depósito sólo se vuelve permanente en el interior de la laguna y de las presas, al depositarse el polvo sobre el agua, se hunde y pasa a formar parte directa del fondo. No necesariamente se deben de formar dunas o barjanas para que se diga que hay depósitos eólicos (García de Pedraza, 1989). Cabe aclarar que los depósitos de toba diseminados por toda la subcuenca se produjeron por efecto de caída libre y la razón que explica el porqué la toba se encuentra a distancias considerables de su foco de emisión, es debido a que antes de precipitarse fue transportada por el viento.

- d) Coluvial. Son las formas originadas por procesos gravitacionales, entre ellas se encuentran conos y taludes, producto de caídas y deslizamientos, aunque el primero se manifiesta en las paredes de algunas cárcavas y barrancos; por su inapreciable observación a la escala del mapa se omite.

En términos generales, en la subcuenca el volcanismo geomorfológicamente fue importante porque en un tiempo geológico relativamente corto produjo grandes cambios, por el nacimiento de cuerpos volcánicos y dómicos, así como por los derrames y piroclastos que aportaron los primeros. El material que dio forma a la subcuenca procede de material endógeno volcánico, salido a la superficie a través de 50 diferentes conos volcánicos, diseminados en las márgenes y en el interior de la misma, además, con la existencia de 103 domos (distribuidos de la misma manera) (ver figura 18) se modeló el relieve original, al cual posteriormente atacaron los agentes atmosféricos, destruyéndolo para formar con su depósito relieve exógeno.

4.4. MORFODINAMICA

La morfodinámica explica los procesos que modelan las formas del relieve.

Inicialmente se regionalizaron los diferentes procesos exógenos que están modelando al relieve, posteriormente cada proceso se subdividió, según el grado de intensidad en que esta afectado. Aunque la morfodinámica también debe de incluir los procesos endógenos (movimientos verticales y horizontales) por su representación inapreciable a la escala del mapa se omiten, sólo se ilustran los procesos exógenos.

El principal modelado de la subcuenca se da por erosión hídrica y eólica, ambas favorecidas por las actividades antrópicas. En el mapa morfodinámico (figura 19) sólo se representan los procesos hídricos, ya sea erosivos o acumulativos; aunque la erosión eólica afecta sin excepción a toda la subcuenca, principalmente en el largo periodo seco del año en que no llueve, no se representa.

La erosión hídrica se manifiesta en sus 2 variantes:

- Laminar. Afecta zonas planas y de poca pendiente, sin vegetación y a terreno con pendiente que esté cubierto en cierta manera con vegetación.
- Lineal. Se presenta en sus 3 tipos (Derreau, 1981; Davies *et al.*, 1987); a medida que la erosión laminar se centra en un sólo lugar, empieza a profundizar. Cuando la incisión del terreno es inferior a los 40 cm se le llama surco, si la incisión aumenta, pero es menor de 4 m se le llama cárcava, finalmente si la incisión sobrepasa los 4 m se le asigna la categoría de barranco; cuando los barrancos han alcanzado una insición considerable y llegan al nivel de las aguas freáticas se dice que pasaron a la etapa de cañones (Lugo, 1982), misma a la que aún no se llega en la subcuenca. Se pueden encontrar zonas de surcos en casi todos los cuerpos montañosos, ocupando más áreas en unos a diferencia de otros, las cárcavas también se encuentran en toda la zona de montaña, sólo que el área que ocupa es menor, las zonas de cárcavas se consideran ya improductivas, donde se juntan varias se observan paisajes característicos, en donde se aprecian aún restos (en forma de *pedestal* y *pináculos*) de lo que en otro tiempo fue terreno continuo; los barrancos afectan sobre todo la parte este de la subcuenca, la zona más afectada es la toba riolítica (Toba Tecoloquillo en figura 6), material sumamente erodable por su poca resistencia a la erosión, también existen otros barrancos de manera aislada en el interior de la subcuenca.

Erosión antrópica. El hombre actualmente es el agente más activo en la modificación del relieve, como consecuencia de su variada actividad (agricultura, ganadería, pastoreo, deforestación, incendios, construcción, etc.) genera erosión inducida. En este caso sólo se hace referencia a las zonas puntuales, en donde produce erosión directa, como ocurre en las minas o bancos de material de explotación en superficie; para ello, se aprovechan algunos aparatos volcánicos para la extracción de material de construcción (roca, tezontle, arena, etc.). En el interior de la subcuenca se pueden encontrar 6 minas que se destinan para el uso antes mencionado.

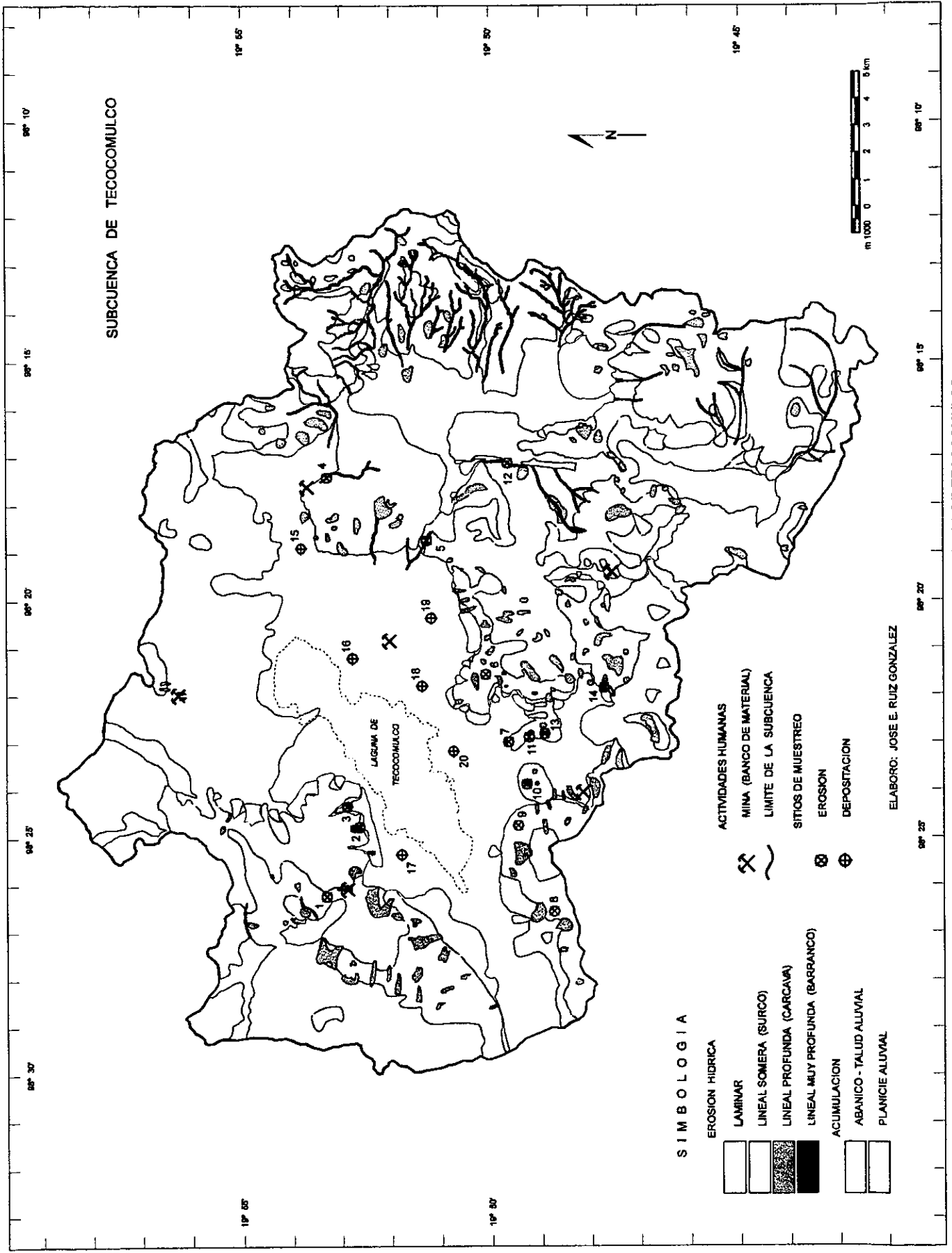


FIGURA 19: MORFODINAMICA DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

A medida que el relieve es erosionado, los diferentes agentes de transporte inician su tarea de llevarlo a las zonas más bajas, si el depósito se da en la base de las montañas o de las lomas forma los abanicos o taludes aluviales, pero si el material va más allá, pasa a formar parte directa de la planicie central o de los diferentes valles.

CAPITULO 5.

PERDIDA DE SUELO

Existen evidencias que demuestran que la erosión ha sido una de las principales causas del ocaso de grandes culturas, al no realizar obras de conservación del suelo (Stallings, 1979):

a) En Mesopotamia, entre los ríos Tigris y Eufrates desde hace 7000 años se inició el cultivo del suelo. Mesopotamia estaba densamente poblada, para alimentar a la población se construyó una amplia red de canales para irrigar los suelos correspondientes a una zona semidesértica; por otra parte, talaron árboles de las colinas cercanas en busca de madera para construcción y para combustible, además, pastaron en exceso sus praderas con grandes cantidades de ganado. Como consecuencia, el suelo erosionado fue arrastrado hacia los ríos y canales en donde se depositó. La limpieza de los canales resultaba vital para seguir aprovechando el agua en las tierras de labor, pero requería de mucho trabajo, al igual que la defensa de la ciudad ante ataques invasores. Finalmente, la tarea combinada de limpiar los canales y defender la ciudad resultó demasiado grande, la falta de agua para riego hizo fracasar la agricultura, al no producir la cantidad de alimentos requeridos para la sobrevivencia de sus pobladores, se produjo la migración de sus habitantes hacia otros sitios. Hoy en día sólo existen ruinas cubiertas de grandes cantidades de sedimentos, este es el típico caso de erosión acelerada o antrópica.

b) En el valle del Nilo el río transportaba enormes cantidades de arena y limo, este sedimento era rico en nutrientes para las plantas naturales. Año con año el sedimento se depositaba en delgadas capas sobre la planicie, enriqueciendo el suelo y con ello favoreciendo la existencia de abundante vegetación natural. Cuando estas tierras se dedicaron al cultivo y fueron intensamente pastoreadas, el agua del río excavo cárcavas y barrancas que hoy en día se conservan como evidencias de la existencia de esta gran cultura.

c) Los fenicios desde hace 5000 años cultivaron en terrenos con pendiente inclinada en las playas del Mediterráneo (en las ciudades de Tiro y Sidón), como resultado de las intensas lluvias, el suelo se perdió fácilmente, como medida preventiva construyeron paredes a través de las laderas, sin

embargo, las paredes no funcionaron y la erosión siguió, obligando a los moradores a abandonar las ciudades.

d) En la ciudad de Djemila, perteneciente al Imperio Romano, en el norte de Africa, se encontraron restos de lo que en otro tiempo fue una enorme ciudad, sólo que estaba completamente cubierta por lodo, arena y materiales arrastrados desde las laderas de las barrancas circundantes, que en otro tiempo estuvieron cubiertas de bosque.

Hoy en día el hombre se sigue manifestando de igual manera (no sólo en la subcuenca de Tecocomulco), para la construcción se aprovecha la madera de las zonas arboladas, se deforesta, no importando las consecuencias; el pastoreo se hace en todos los lugares posibles (áreas de cultivo, piedemonte, lomeríos y montañas), el ganado se alimenta de los retoños que en un futuro puede ser vegetación protectora del suelo (pastos, arbustos y árboles); se incendian cientos de hectáreas de manera accidental o de forma premeditada para ganarle al bosque terreno para la agricultura, ganadería y construcción.

Como es fácil apreciar, a medida que el hombre empieza a reproducirse a ritmos considerables, el suministro de recursos, en este caso el alimento, se vuelve cada vez más difícil de satisfacer, porque la cantidad de producción ya no alcanza igual para todos, aunque la producción se mantenga constante. La teoría maltusiana (ideada por el político inglés Thomas Robert Malthus en 1798) postula que la mejora en sanidad e higiene, la educación y las nuevas técnicas de cultivo (abonos, fertilizantes, semillas mejoradas, maquinaria) originan una rápida explosión demográfica, por la sobrepoblación los alimentos se vuelven insuficientes. La población aumenta en progresión geométrica (1, 2, 4, 8, 16, 32, etc.) mientras que la producción de alimentos lo hace en progresión aritmética (1, 2, 3, 4, 5, 6, etc.), la solución es incorporar más áreas que produzcan alimentos. Además, señala que el crecimiento humano no controlado, sólo puede ser frenado por el hambre, las enfermedades y las guerras (Malthus, 1986).

El aumento demográfico sobreexplota los recursos hasta que los agota y en algunos casos los acaba, a medida que utiliza cantidades cada vez mayores. En el caso del suelo, su uso en exceso agota los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y por otro lado, la necesidad de madera como material para construcción y leña ocasiona la desaparición de áreas boscosas, en ambos casos, al dejar al suelo descubierto se le deja expuesto a la erosión.

5.1. SIMULACION DE LA EROSION EN LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

5.1.1. ANTECEDENTES DE LOS MODELOS DE PERDIDA DE SUELO

Hudson (1982) presenta una recopilación expuesta de manera resumida de los intentos por medir la pérdida de suelo, inicia citando a Zingg (1940) quien evaluó los efectos de la longitud (L) y de la pendiente del terreno (S). Después Smith (1941) define el concepto de pérdida admisible de suelo y realiza la primera evaluación de un factor de cultivo y otro de los distintos tipos de protección mecánica. Posteriormente señala que Browning y sus colaboradores (1947) estudiaron la erodabilidad de los suelos, los efectos de la rotación de cultivo y las practicas agrícolas.

En 1947 se organizó una comisión, cuya tarea consistió en integrar todos los estudios anteriores a ese año, tomando en cuenta la variación de la precipitación; el resultado recibió el nombre de Ecuación de Musgrave, en honor del presidente de la junta, aunque también se le conoce como Ecuación de Prácticas-Pendiente, por ser estas dos variables las principales. La fórmula de la ecuación es:

$$E = T \times S \times L \times P \times M \times R$$

en donde:

E	Es la erosión del suelo en toneladas.
T	El tipo de suelo.
S	La pendiente.
L	La longitud de la pendiente.
P	Son las prácticas de cultivo.
M	Es la protección mecánica.
R	La precipitación.

Después de ser usada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos durante casi 20 años, esta ecuación fue sustituida por la Ecuación Universal de Perdida de Suelo, elaborada por Wischmeier y Smith, 1965, citado en Hudson, *op. cit.*

ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO

A través de numerosos intentos (entre 1945 y 1965) en los Estados Unidos, para cuantificar los efectos erosivos, se hizo posible la creación de la Universal Soil Loss Equation (*USLE*) o Ecuación Universal de Perdida de Suelo (*EUPS*), USDA, ARS Agricultural Handbook, 1965, referido en Hudson, *op. cit.*

La ecuación es:

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

en donde:

- A* Es la pérdida de suelo en ton/km².
- R* Índice de erosividad de la lluvia, de acuerdo a la escala basada en el índice EI₃₀. El índice EI₃₀ se calcula a partir de los datos de precipitación; dado que el cálculo es empírico las unidades de esta escala carecen de importancia y pueden ser consideradas adimensionales.
- K* Factor de erodabilidad del suelo, las unidades dependen de la cantidad de suelo perdido por unidad de erosividad *R* bajo condiciones típicas especificadas.
- L* Factor de longitud. Es una relación que compara la pérdida del suelo con la de un campo experimental de longitud específica (22.6 metros o 72.6 pies).
- S* Es el factor de la pendiente. Expresa una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo experimental de pendiente específica (9%), si la pendiente es menor, la erosión también. Entre mayor sea la inclinación del terreno, mayor será la erosión.
- C* Factor de las prácticas de cultivo. Es la relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo experimental cultivado en condiciones específicas (barbecho, cultivado, etc.). Este factor es el más complicado, ya que depende de la forma en como se cultiva; se puede calcular de dos formas, en una sola parte (anual) o en partes (dividiendo las fases del cultivo en periodos). Para su cálculo, en cualquiera de las dos maneras, se designa un valor (*C* parcial) de acuerdo con la practica de cultivo que se empleé, y se multiplica por la erosividad (*R*) para obtener el valor de *C* real. Si el cálculo se hace de la segunda forma, los productos de cada parte se suman para obtener el valor de *C*.
- P* Factor de conservación. Establece una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo en la que no se realiza práctica alguna de conservación.

El propósito de la EUPS es aislar cada una de las variables de las que se forma y asignarle un número. Al multiplicar todos los valores obtenidos el resultado será la cantidad de suelo perdido, la ecuación original fue obtenida en unidades del sistema inglés, para este caso se representó en unidades del sistema métrico decimal. El término universal el hipotético, el modelo no debería de tener límites geográficos, su aplicación está en función de la disponibilidad de valores locales representativos para cada factor.

Aunque se ha intentado aplicar la EUPS en cuencas pequeñas (Beer *et al.*, 1966, citado en Hudson, *op. cit.*), su utilidad no ha sido mucha debido a dos razones:

- La ecuación únicamente considera la pérdida de suelo en tierras arables.
- Sólo intenta predecir la erosión laminar y lineal somera, ocasionada por el impacto de las gotas de lluvia y el lavado o arrastre del suelo superficial, no toma en cuenta la erosión por abarrancamiento y por movimientos de masa.

La aplicación de esta fórmula para áreas grandes no es muy recomendable, por ello se han desarrollado variantes en su aplicación, al hacerle ajustes en el cálculo de algunos factores para adaptarlos a condiciones locales, en la actualidad es el modelo que más se usa para medir la erosión hídrica (Chisci, 1981; Foster, 1988; Laflen, 1988; Rose, 1988; Klaghofer *et al.*, 1992; Owen *et al.*, 1998; Miller y Gardiner, 1998).

Los intentos por mejorar la EUPS no se han quedado estáticos, hoy en día existe una nueva versión: la RUSLE (Renard, 1991, citado en Schwab *et al.*, 1993), la cual es una versión computarizada que agiliza los cálculos y representación, basta escribir los valores requeridos en una base de datos y el programa hace los cálculos a la vez que los representa en una base cartográfica.

Aunque en éste trabajo no se consideró la erosión eólica, ésta no deja de ser significativa, si se toma en cuenta que la zona de estudio tiene características semiáridas durante la época seca del año, además de que la mayor parte de su superficie esta cubierta por toba con diferentes grados de compactación.

El inconveniente para medir la erosión eólica es que los depósitos quizá provienen de la misma cuenca y en muchos de los casos, de regiones muy remotas, desde donde el viento los transporta por suspensión, saltación y arrastre.

Se tiene idea que la erosión eólica nada más afecta regiones áridas y semiáridas, cosa que no es cierta, afecta todo tipo de zonas, sólo que en las primeras es más notable (Bennett, 1947).

Para evaluar la pérdida de suelo por erosión eólica se creó el Modelo de Erosión por Viento (Wilson and Cooke, 1980; Lyles, 1988; Skidmore, 1988; Schwab *et al.*, 1993; Schwab *et al.*, 1996; Owen *et al.*, 1998; Miller y Gardiner, 1998), cuya fórmula es:

$$E = f(I \times K \times C \times L \times V)$$

en donde:

- E* Es la cantidad anual de suelo perdido en ton/km².
- f* Factor de pérdida de suelo.
- I* Índice de susceptibilidad del suelo a la erosión.
- K* Factor de la aspereza o rugosidad del suelo.
- C* Factor climático.
- L* Longitud equivalente del campo a lo largo de la dirección del viento dominante.
- V* Cantidad equivalente de cobertura vegetal.

5.1.2. MODELO JULIEN-FRENETTE

El modelo elaborado por Julien y Frenette (1986) se conoce como predicción de depósito de sedimentos; lo hicieron a partir de las bases de la EUPS, al considerar que ésta última fue creada exclusivamente para zonas agrícolas, porque las variables que manejaron para su creación parten principalmente de parcelas de experimentación, en donde se conocían las variables meteorológicas (sobre todo la precipitación) que las afectaban y sus características edáficas como son la composición química y textural, ángulo y longitud de la parcela, métodos y modos de cultivo. Además, su aplicación en general se hace en áreas pequeñas, las cuales por lo general ocupan menos de 10 km², sin embargo, en los casos de áreas más grandes, éstas se pueden subdividir en fragmentos menores.

El método aquí aplicado es una simplificación, cuya elaboración necesitó de la EUPS, pero para su aplicación sólo se retoma el factor de prácticas de cultivo (C). La ventaja de su uso radica en que se creó para conocer la pérdida del suelo en cuencas grandes (mayores de 100 km²). Inicialmente éste método se utilizó para conocer la pérdida del suelo por erosión en la cuenca de Chaudière en la provincia de Quebec, obteniendo resultados muy confiables, a pesar de que su superficie es de 5 830 km².

5.1.2.1. FUNDAMENTOS TEORICOS

La ecuación para conocer la pérdida de suelo por erosión producida por lluvia, se representa por medio de la fórmula 1.

$$e' = 48.13 (0.0076 + 0.0053 s' + 0.00076 s'^2) c' \quad (1)$$

en donde:

- e' Es la pérdida anual del suelo por erosión por unidad de área en toneladas por kilómetro cuadrado (ton/km²).
- s' Es la pendiente general en porcentaje.
- c' Es similar al factor de prácticas de cultivo (C) de la EUPS.

Para conocer la pérdida de suelo por erosión se sigue el siguiente procedimiento:

- a) Se sobrepone una cuadrícula (cuyas superficie de cada cuadro deben ser de 1 km²) que cubra toda el área de la subcuenca; la cuadrícula usada fue la UTM, que a la escala 1: 50 000 tiene las dimensiones requeridas.

El valor de s' o de la pendiente uniforme en porcentaje se obtiene a partir de la fórmula 2.

$$s' = \frac{100 (h_2 - h_1)}{\lambda (\cos\theta + \sin\theta)} \quad (2)$$

en donde:

la máxima altitud (h_2) y la mínima altitud (h_1) se localizan en las esquinas opuestas de cada cuadro (ver figura 20), de aquí también se obtiene la longitud (λ) de cada cuadro y el ángulo (\emptyset) hacia donde se dirige la pendiente en relación con las curvas de nivel.

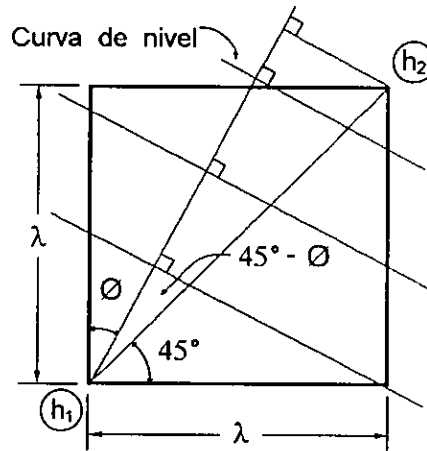


FIGURA 20: REPRESENTACION ESQUEMATICA PARA LA OBTENCION DE LA PENDIENTE

Como en la mayoría de los casos, las altitudes extremas no se encuentran en las esquinas opuestas de los cuadros, se utiliza la fórmula 3.

$$s = \frac{100 (E_{\max} - E_{\min})}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

en donde:

- s Es la pendiente general en porcentaje.
- E_{\max} Máxima altitud encontrada en cada cuadro.
- E_{\min} Mínima altitud encontrada en cada cuadro.
- A Area de cada cuadro, para el caso de los cuadros del interior es de 1 km^2 y en el parteaguas es una fracción de 1 km^2 .

Para obtener la pendiente general en grados se aplica la fórmula 4.

$$s'' = \tan^{-1} \left(\frac{(E_{\max} - E_{\min})}{d} \right) \quad (4)$$

en donde:

- s'' Es la pendiente general en grados.
 E_{\max} Máxima altitud encontrada en cada cuadro.
 E_{\min} Mínima altitud encontrada en cada cuadro.
 d Distancia entre la máxima y mínima altitud.

b) El valor c' , que como se dijo anteriormente corresponde al valor C de la EUPS, para este caso se substituyó por una constante de pérdida de suelo por pendiente, porque las prácticas de cultivo sólo se aplican en las áreas agrícolas, hasta cierto grado planas o con poco declive, en ellas la erosión es mínima, si se toma en cuenta que la mayor parte de las zonas afectadas dentro de la subcuenca se encuentran entre lomeríos, laderas de montaña y piedemonte. Las zonas planas y valles, por el contrario, reciben sedimentos de las partes más altas y si se erosionan la cantidad que se pierde resulta mínima, debido a que la erosión que más las afecta es la eólica, lo que ocurre sólo en una parte del año.

El cuadro original de pérdida probable de suelo, a partir de la pendiente en porcentaje (Hudson, *op. cit.*), se adaptó de acuerdo con los rangos que se eligieron para este trabajo, el resultado se presenta en el cuadro 10.

PENDIENTE en %	VALOR DE c'
0.0 - 2.0	0.40
2.0 - 5.0	0.46
5.0 - 8.0	0.52
8.0 - 12.0	0.60
12.0 - 20.0	0.83
más de 20	0.90

Cuadro 10. Pérdida probable de suelo a partir de la pendiente en porcentaje.

Una vez que a cada cuadro UTM de las cartas se le han tomado sus respectivos datos, se procede a substituirlos en cada una de las cuatro fórmulas, al igual que el valor de c' .

5.1.2.2. APLICACION

Para aplicar el modelo de Julien-Frenette en la subcuenca de Tecocomulco, inicialmente se dividió la región en una malla de 618 elementos de 1 km² de superficie, donde en cada uno se aplicaron las cuatro fórmulas anteriores, dando como resultado igual número de mapas. Para ello se realizó lo siguiente:

1.- Al aplicar la fórmula 4 se crea el mapa de pendiente general en grados. Al sustituir los tres valores que se piden en la fórmula, para cada elemento se obtuvieron 618 resultados diferentes, para poder presentar esta amplia gama de valores de manera más representativa se simplificaron los resultados en los 6 rangos siguientes, expresados en grados:

1. Menos de 2°
2. De 2.1 a 5°
3. De 5.1 a 8°
4. De 8.1 a 12°
5. De 12.1 a 20°
6. Más de 20.1°

Cada intervalo se representó con un color específico. A manera de nota, cabe aclarar que este mapa no se incluye en el trabajo debido a su similitud con el mapa siguiente.

2.- Las fórmulas 2 y 3 se utilizaron para elaborar el mapa de pendiente general en porcentaje. Cuando se sustituyeron los valores y obtenido el resultado, al igual que en el anterior se obtuvieron también 618 resultados, que para cuestiones prácticas, se representaron sobre el mapa con el mismo número de rangos del mapa anterior, ahora expresados en porcentaje (figura 21).

3.- Para obtener el valor de la erosión en la subcuenca (figura 22) se aplica la fórmula 1, donde el valor de s' se sustituye del resultado del punto anterior; dependiendo cual sea el resultado se busca entre que rango se encuentra en el cuadro de pérdida probable de suelo por pendiente en porcentaje (cuadro 10) para encontrar el valor de c' . De igual manera, como la fórmula se aplica en todos los elementos se obtienen 618 resultados, para su representación en el mapa se dividieron en 6 rangos:

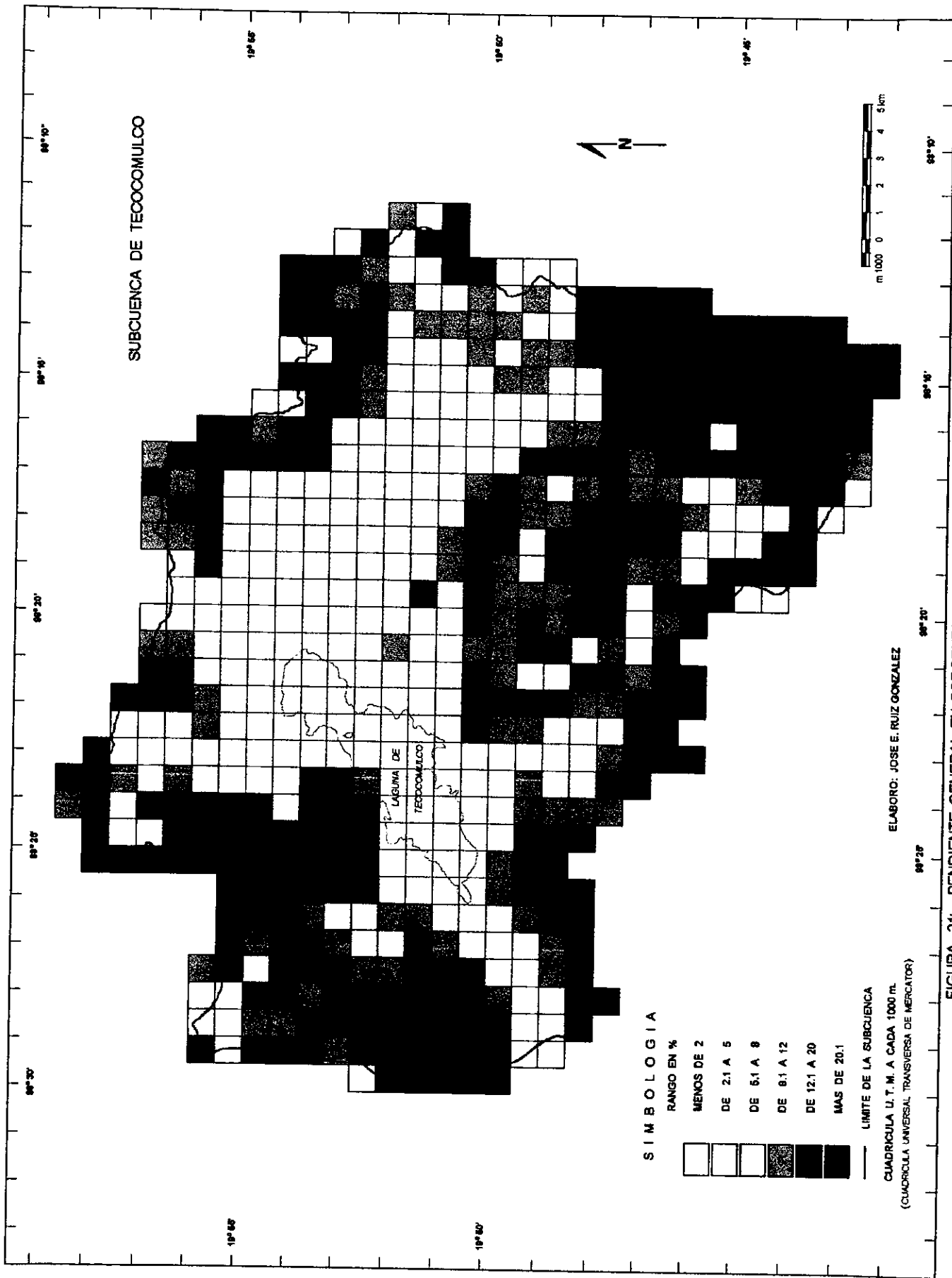


FIGURA 21: PENDIENTE GENERAL EN PORCENTAJE DE LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

1. Menos de 1 ton/km²
2. De 1.1 a 3 ton/km²
3. De 3.1 a 5 ton/km²
4. De 5.1 a 8 ton/km²
5. De 8.1 a 12 ton/km²
6. Más de 12.1 ton/km²

Los límites de los rangos usados en los mapas se intentó que resultaran representativos. En el caso de los mapas de pendiente, los límites corresponden a los límites en que se dividen las principales geoformas del relieve; los rangos para el mapa de erosión, más que nada, están en función (desde el punto de vista del autor) de cómo la pérdida de suelo se puede considerar de mínima a máxima.

5.1.2.3. RESULTADOS

En el mapa de pendiente general en porcentaje (figura 21) se aprecia la estrecha relación que guarda con la topografía, este mapa sólo sirvió para llegar al mapa de erosión.

Como se puede observar, la erosión en la subcuenca (figura 22 inferior) está en función de la pendiente que presenta la topografía; los rangos de erosión se indican con colores, en donde se tiene que en los cuadrantes en las zonas de mayor pendiente se pierden 12 toneladas o más de suelo por km², cantidad que decrece a medida que la pendiente del relieve disminuye hasta sólo algunos cuantos kilogramos por km² en las zonas planas.

En la figura 22 (superior) se presenta una mejor comparación entre la intensidad de erosión y la topografía, al representar con de isolíneas a la erosión, en este mapa se observa que la erosión es mayor en las laderas montañosas y en la zona de lomeríos. Al descender en altitud, propiamente sobre la zona que ocupa el piedemonte, la erosión disminuye notablemente. Finalmente, en la zona ocupada por la planicie central y por los valles intermontanos la erosión decrece al mínimo y sólo alcanza cantidades menores a una tonelada por km². En este caso, aun en las partes bajas (según este modelo) existe erosión hídrica laminar; en general, esta área es de acumulación, pero también se pierde suelo por medio de erosión eólica en la época seca del año, en que el sedimento más fino es fácilmente suspendido o arrastrado por el viento hasta otras áreas donde es depositado.

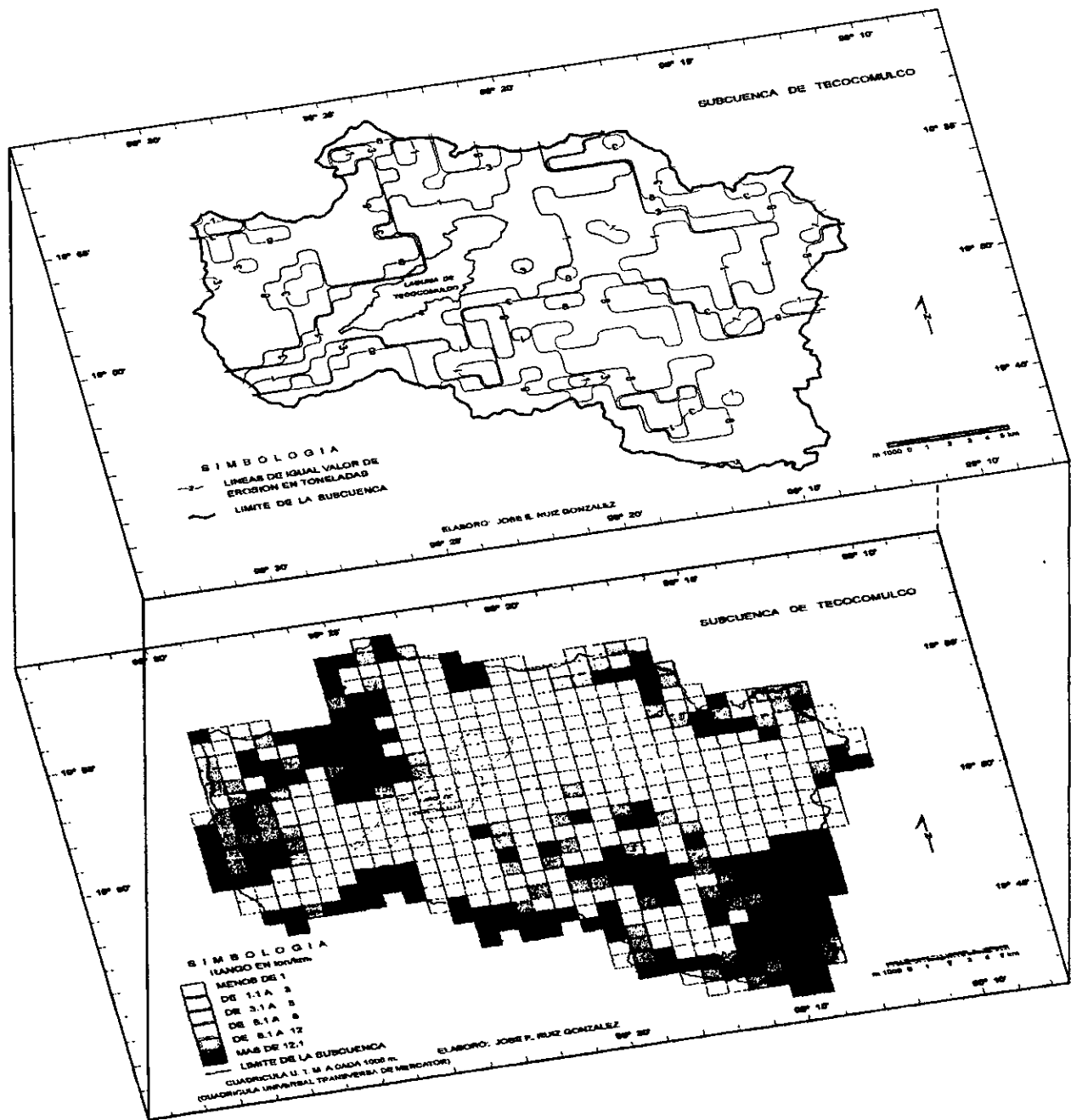


FIGURA 22: EROSION EN TONELADAS/km² EN LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

5.2. EROSION EN LA SUBCUENCA DE TECOCOMULCO

La erosión no es un fenómeno que se presente en iguales condiciones sobre la superficie terrestre, en la parte inicial del trabajo se han dicho cuales son las causas que la condicionan.

En el punto anterior se calculó la erosión de forma teórica, en este apartado se hará de forma práctica.

5.2.1. MEDICION Y COMPROBACION DE CAMPO

Para conocer cómo está afectando la erosión-depositación la subcuenca y la laguna de Tecocomulco, una vez zonificados los sitios aportadores y receptores más próximos a la laguna, se seleccionaron 20 sitios significativos que funcionaron como sitios de observación y medición (figura 19), en dichos lugares se colocaron clavos con rondana (fichas) que quedaron a nivel del suelo (figura 23), la distribución de las fichas para cada punto fue a cada 30 cm en promedio (en algunos casos se hizo entre los 20 y los 40 cm), en cada sitio se colocaron 12 fichas. En el lado opuesto, en la parte receptora, se colocaron fichas de control topográfico y estacas de madera, los lugares elegidos para el monitoreo fueron los principales canales que llegan a la laguna; en ambos sitios (aportadores y receptores) la toma de lecturas se realizó mensualmente durante un lapso de 20 meses. La distribución de los lugares para monitoreo de la erosión, se determinó considerando como antes se mencionó, los lugares donde los efectos de la erosión se presentan con mayor intensidad y porque son las áreas que mayor cantidad de sedimentos aportan a la superficie de la laguna de Tecocomulco, para evaluar la cantidad de sedimentos que pueden llegar a dicho embalse y tratar de implantar sugerencias que permitan atenuar la extinción o colmatación de la misma. La razón por la cual sólo se pusieron sitios de muestreo alrededor de la laguna es porque los sedimentos que en ellos se generan, llegan directamente al área que ocupa la laguna, mientras que los que se producen en el resto de la subcuenca, se depositan en los diferentes valles y en las presas El Puerco, Tezoyo y Benito Juárez.

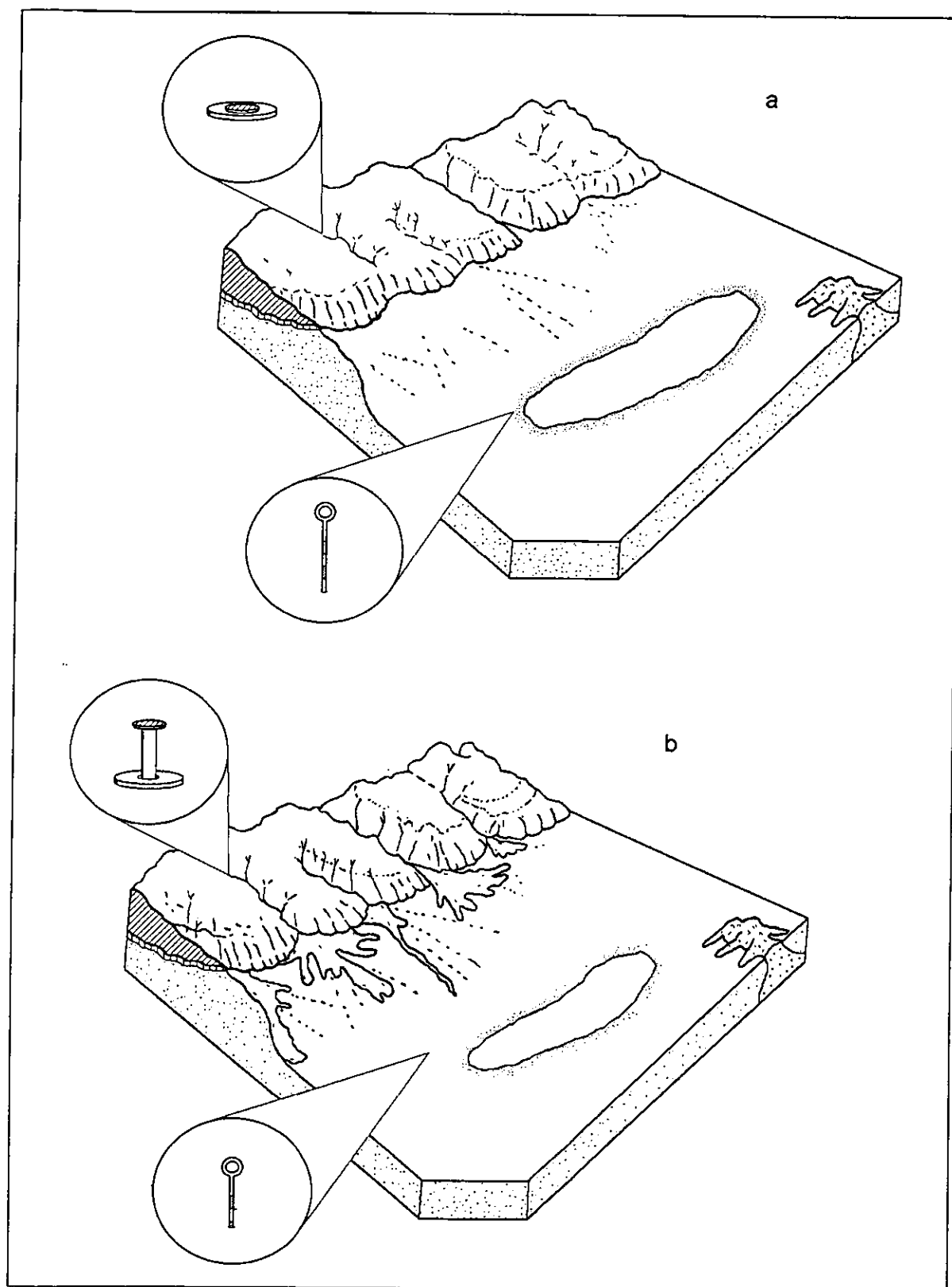


Figura 23: Esquema idealizado que muestra la relación entre la erosión y el azolve de una laguna. Representación visual de los sitios elegidos para la colocación de fichas de medición. a) Etapa inicial con las fichas acabadas de colocar. b) Etapa posterior donde la erosión ya ha actuado sobre ellas.

5.2.2. RESULTADOS

Al observar las fichas después de 20 meses, sobre ellas se nota que la erosión ha sido diferente, aunque la distancia que las separa en ocasiones fluctúa entre los 20 y 40 cm. Algunas mediciones fueron de apenas unos milímetros en zonas con poca pendiente o en aquellas donde existe vegetación, mientras que donde no hay vegetación alcanzan casi los 7 cm (cuadro 11). Si con los valores extremos se estimara la erosión de toda la subcuenca, el resultado sería muy bajo en el primer caso y muy elevado en el segundo; al sacar un valor promedio de las diferentes zonas afectadas por la erosión (laminar y lineal: surco, cárcava y barranco) se obtiene la cantidad que en términos generales se erosiona en la parte próxima a la laguna (el resultado final se generalizó para toda la cuenca, porque en cierta manera algunas de las características de la subcuenca son similares); además, la mayor parte de los sedimentos de toda la subcuenca de una u otra manera llegan hasta el lecho lacustre, a menos que sean detenidos durante su recorrido por obras construidas para este fin.

SITIO	NUMERO DE FICHA	REGISTRO MEDIO EN cm
Erosión hídrica laminar	1, 7 y 11	0.4
Erosión hídrica lineal:		
- Somera (surco)	3, 8, 10 y 13	6.0
- Profunda (cárcava)	2, 6, 9 y 14	6.8
- Muy profunda (barranco)	4, 5 y 12	3.3
- Acumulación	15, 16, 17, 18, 19 y 20	1.7

Cuadro 11. Valores finales de pérdida de suelo y depósito de sedimento en las fichas de observación.

a) EROSION DEL SUELO.

De acuerdo con los valores promedio de pérdida de suelo, medidos en las diferentes fichas, se calculó la cantidad de suelo que se erosiona de la subcuenca (ver cuadro 12).

EROSION (en valores promedio)		TOTAL	ANUAL
Erosión laminar		0.4 cm	0.2 cm/año
Erosión lineal:	Surco	6.0 cm	3.6 cm/año
	Cárcava	6.8 cm	4.0 cm/año
	Barranco	3.3 cm	1.9 cm/año

Cuadro 12. Cantidad total y anual de suelo erosionado.

En el cuadro 12 se puede generalizar que:

1. En donde se presenta erosión laminar (en zonas con cierta cobertura vegetal o con poca pendiente) se perdieron en promedio 0.4 cm de suelo durante el tiempo de observación, lo que da un valor de 0.2 cm/año.
2. En lugares con escasa cobertura vegetal, donde predomina erosión lineal de surco se perdieron en promedio 6 cm de suelo durante el tiempo registrado, el equivalente a 3.6 cm/año; en el caso de zonas que presentan erosión lineal con cárcavas se registraron 6.8 cm y 4 cm/año respectivamente. En el área de donde la erosión lineal pasa a la categoría de barranco se perdieron 3.3 cm en promedio de suelo durante el tiempo de registro, lo que equivale a 1.9 cm/año.

Cuantitativamente, de donde hay más aporte de sedimentos (ver figura 19) es de las zonas de erosión lineal somera y profunda (surco y cárcava), le sigue la zona de barrancos, donde se combina la erosión lineal somera y profunda con la laminar, finalmente de donde hay menor aporte es de la zona donde solo hay erosión laminar.

b) VOLUMEN Y PESO DEL SUELO EROSIONADO.

Para calcular la pérdida de suelo, inicialmente se obtuvo la superficie en m^2 de cada una de las diferentes zonas afectadas por un tipo de erosión en particular (laminar, surco, cárcava y barranco de la figura 19); posteriormente, los diferentes valores se multiplicaron por el valor promedio de pérdida de suelo (en metros) para ese tipo de zona, al multiplicarse los valores de pérdida de suelo con los valores areales (en metros cuadrados) el resultado final obtenido fue en metros cúbicos (m^3). Los diferentes resultados se sumaron para conocer el volumen total de pérdida de suelo en metros cúbicos de toda la subcuenca; por otra lado, para conocer la pérdida de suelo, pero en toneladas, al

resultado del volumen total se multiplicó por 1.3 que es una constante para transformar volumen de sedimento en toneladas (ver cuadro 13).

	TOTAL	ANUAL
Volumen	30 924.5 m ³	18 554 m ³ /año
Peso	40 201.9 ton	24 121 ton /año

Cuadro 13. Volumen y peso total y anual del suelo erosionado.

Del cuadro 13 se desprende que de la parte aportadora de material se erosionaron casi 31 mil m³ de suelo, el equivalente a poco mas de 40 mil toneladas, durante el tiempo registrado, lo que da un valor de perdida de suelo anual de 18 554 m³ o 24 121 ton.

c) SEDIMENTACION DEL MATERIAL EROSIONADO.

Todo el material erosionado, es transportado por los diferentes agentes erosivos hasta la parte más baja, en donde por gravedad tienden a depositarlo al llegar al nivel base.

Para conocer el caso concreto del proceso de la sedimentación en la subcuenca, lo primero que hay que conocer es el área de toda la zona aluvial, la cual incluye la planicie y los diferentes valles intermontanos. En teoría la depositación de los materiales erosionados siempre lo hace en capas horizontales, pero, por la misma topografía, nunca se forman capas totalmente horizontales. Hipotéticamente al dividir el volumen del suelo perdido entre toda el área aluvial, se obtiene que se depositó durante 20 meses una capa de sedimentos de 5.7 cm de espesor, si el mismo volumen se dividiera únicamente en el área del vaso lacustre, por lógica la capa de sedimentos sería mayor, alcanzando 11.1 cm. Lo que equivale a 3.4 y 6.6 cm/año respectivamente (ver cuadro 14).

SEDIMENTACION	TOTAL	ANUAL
Area aluvial	5.7 cm	3.4 cm/año
Area de la laguna	11.1 cm	6.6 cm/año

Cuadro 14. Sedimentación total y anual en el área aluvial y lacustre.

Para intentar corroborar lo anterior, se necesitó de las lecturas de las fichas colocadas en los canales para medir la depositación del sedimento, sin embargo no fue posible, porque los canales

fueron desazolvados y las fichas fueron literalmente desenterradas. Durante 10 meses que estuvieron colocadas las fichas, se midió que el sedimento depositado creció en promedio 1.7 cm con respecto al día en que se colocaron.

5.3. DISCUSION

En términos generales los resultados obtenidos con el Modelo de Julien-Frenette son confiables, la efectividad del modelo teóricamente es buena, en el papel los resultados a los que se llegó cumplen con lo observado en la realidad; quizá la única limitante del modelo es su representación final; en mapas de matriz el valor final se generaliza a toda el área, en donde algunos detalles puntuales se pierden, mientras que otros se acentúan más, pero el mapa sigue siendo confiable. Al respecto es pertinente recalcar que éste es simplemente un modelo teórico.

Si a manera de nota se compara la erosión obtenida con el modelo de predicción de depósito de sedimentos con los simuladores de erosión del programa Dhydro (De Souza *et al.*, 1996) se nota que hasta cierto punto hay similitud, el inconveniente del programa es que aunque se cumple con algunas variables (pendiente, uso de suelo, grado de cobertura vegetal y lluvia total) no se cuenta con otras (periodos de lluvia máxima, escurrimiento e infiltración); al disponer de todas las variables los simuladores de erosión serían más confiables, ya que es posible visualizar "n" número de modelos diferentes (ver ejemplo en ANEXO 11). Como el resultado final de los simuladores se generaliza para toda la subcuenca se recomienda trabajar las zonas específicas de manera individual y armar un modelo final. Los diferentes mapas obtenidos en el programa sólo sirvieron como material comparativo, de ellos no se genero alguna conclusión definitiva.

Por otro lado, la confiabilidad del modelo directo es buena; su aplicación puede realizarse en cualquier zona con buenos resultados, la base de su efectividad radica en la regionalización de los diferentes procesos erosivos, la colocación de las fichas en sitios significativos y la densidad de las mismas. Si la regionalización es correcta, cuando se obtengan las diferentes áreas y se calculen con los valores de las fichas, los resultados de erosión, ya sea en volumen (m^3) o por peso (tonelada) serán confiables.

No se considera que el modelo aquí planteado tenga limitaciones, pero, si a manera de refuerzo se supiera durante el monitoreo cuál fue el total de la precipitación, las predicciones serían más confiables. Para la medición de la erosión no se tomó en cuenta la precipitación, pero si se supiera cuánto precipitó durante el tiempo de observación, se podría suponer una relación entre la lluvia y la erosión, cosa que al menos en este caso resultó imposible, porque en las diferentes estaciones de la región el periodo de su registro termina en el mismo que en casi toda la red de estaciones meteorológicas de México, es decir en 1985.

En el cuadro 15 se ilustra de manera general y resumida una síntesis de los diferentes aspectos tratados, la base del cuadro son las unidades básicas del relieve del punto 4.2.

UNIDADES BASICAS DEL RELIEVE / CARACTERISTICAS	LOCALIZACION	GEOLOGIA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL	PRECIPITACION MEDIA ANUAL	EDAFOLOGIA	VEGETACION Y USO DE SUELO
Laderas montañosas	Están formadas por las principales elevaciones de la Sierra de Chichicauitla y del Tepozán, y en la parte centro sur de la subcuenca.	Constituidas por derrames basálticos, riolíticos y andesíticos, por domos y conos cineríticos de origen Terciario y Cuaternario.	Entre 11 y 13° C.	Entre 700 y 900 mm.	Presentan litosol, regosol y cambisol, también hay feozem y luvisol.	Donde no se presenta la erosión predomina bosque de pino y encino.
Lomeríos	Se encuentran al este de la laguna, principalmente en Lomas de Ojuila, o como cerros aislados, destacando Loma Larga, al sur de la laguna.	Están formados por lavas y tobas básicas, por ignimbritas y por algunos conos cineríticos. Todo de origen Cuaternario.	Entre 11 y 13° C.	Entre 700 y 800 mm.	Tienen litosol y feozem.	Están cubiertos por matorral y pastos; en pequeñas zonas se practica agricultura de temporal y pastoreo.
Piedemonte	Se encuentra en la base de todas las elevaciones de la subcuenca.	Se forma de depósitos aluviales cuaternarios.	Entre 11 y 13° C.	Entre 700 y 800 mm.	Donde ya se ha formado suelo hay feozem y vertisol.	Existen restos de matorral y pastos; se practica la agricultura de temporal y pastoreo.
Valles intermontanos	Se distribuyen en la parte noreste, norte, este y sureste de la subcuenca	Están formados por depósitos aluviales cuaternarios.	Entre 12 y 14° C.	Entre 700 y 800 mm.	Formados por vertisol, feozem y planosol.	Cuenta con pequeñas zonas cubiertas por matorral y pastos; en su mayor parte se practica agricultura de temporal.
Planicie	Se encuentra en el centro y oeste de la subcuenca.	Está formada por depósitos aluviales cuaternarios.	Entre 12 y 14° C.	Entre 600 y 750 mm.	Se forma de feozem y vertisol.	Tiene reducidas zonas cubiertas de pastos y matorral. Se destina principalmente a la agricultura de temporal y de riego en los bordes de la laguna.
Lecho lacustre	Se encuentra en el área inundable de la planicie, forma la laguna.	Está formado por depósitos lacustres y aluviales cuaternarios.	Entre 12 y 14° C.	Entre 650 y 750 mm.	Está formado por gleysoil.	Predomina vegetación lacustre, principalmente tuc. Se dedica a la cría de peces y ranas.

Cuadro 15. Síntesis general de la subcuenca de Tecocomulco.

UNIDADES BASICAS DEL RELIEVE / CARACTERISTICAS	ALTITUD	PENDIENTE PREDOMINANTE	AMPLITUD DEL RELIEVE	MORFOGENESIS	MORFODINAMICA	EROSION (PERDIDA DE SUELO)
Laderas montañosas	Inician desde los 2600 msnm, pero la mayoría parte de los 2700 msnm.	Mayor de 5 y hasta 90°.	Mayor de 20 m.	Relieve endógeno del tipo volcánico acumulativo, en sus variantes efusivo y explosivo; relieve endógeno modelado y relieve exógeno erosivo	Son modeladas por erosión laminar y lineal somera, profunda y muy profunda.	Más de 5 ton/km ² /año.
Lomeríos	Sólo se le encuentra entre los 2524 y los 2700 msnm.	Mayor de 5°.	Entre 10 y 20 m.	Relieve endógeno del tipo volcánico acumulativo, en sus variantes efusivo y explosivo.	Modelados por erosión laminar y lineal somera, profunda y muy profunda.	Entre 1 y 5 ton/km ² /año.
Piedemonte	La mayor parte se encuentra entre los 2600 y 2800 msnm, aunque hay pequeñas áreas en los otros pisos altimétricos.	Entre 2 y 5°.	Entre 10 y 20 m.	Relieve exógeno acumulativo.	Modelado por erosión laminar y lineal somera y profunda. Presenta acumulación de material aluvial.	Entre 1 y 5 ton/km ² /año.
Valles intermontanos	Se les encuentra entre los 2600 y 2800 msnm.	Menor de 2°.	Menor de 10 m.	Relieve exógeno acumulativo.	Presentan acumulación de material aluvial.	Menos de 1 ton/km ² /año.
Planicie	Sólo se encuentra en el primer piso, va de 2524 a los 2600 msnm. La mayor parte está por debajo de los 2550 msnm.	Menor de 2°.	Menor de 10 m.	Relieve exógeno acumulativo.	Presenta acumulación de material aluvial.	Menos de 1 ton/km ² /año.
Lecho lacustre	Ocupa principalmente el área inundada por la laguna.	Menor de 0.5°.	Menor de 10 m.	Relieve exógeno acumulativo.	Presenta acumulación de material aluvial.	Menos de 1 ton/km ² /año.

Cuadro 15. Síntesis general de la subcuenca de Tecocomulco (continuación).

CAPITULO 6.

CONTROL DE LA EROSION Y RECUPERACION DE SUELO

6.1. USOS Y RIESGOS DEL SUELO

Para evitar la erosión del suelo y destinarle un mejor uso, de acuerdo a sus características el Servicio de Conservación del Suelo de Estados Unidos (United States Soil Conservation Service-USSCS) citado en Tyler (1985), ha creado un sistema de clasificación de la capacidad del suelo, en donde indica cual es el mejor uso que se le puede dar, así como las limitaciones y riesgos a los que se puede ver afectado si no se le da el uso planteado (figura 24).

La clasificación esta formada por 8 clases, divididas en 2 unidades de 4 clases cada una; las primeras 4 clases corresponden a suelos aptos para el cultivo, mientras que las últimas 4 no son aptas para el cultivo, más bien deben de estar cubiertas permanentemente con vegetación para evitar la pérdida del suelo. En la siguiente descripción se adaptó la clasificación de modo general al uso del suelo en la subcuenca:

- Clase I. Agrícola muy intenso. Este tipo de suelo no tiene limitación alguna para ser cultivado; son suelos profundos, productivos y fácilmente trabajados, al estar planos o nivelados. Para un mejor rendimiento necesitan mantener su fertilidad y estructura con fertilizantes y abonos verdes, cal, residuos de plantas y rotación de cultivos. Se localiza en las inmediaciones de la laguna y en la parte central de los diferentes valles.
- Clase II. Agrícola intenso. Son suelos sujetos a limitaciones moderadas en su uso; son buenos en general, pueden ser cultivados con prácticas fácilmente aplicables. Tienen pendiente suave, su profundidad es limitada, están expuestos a erosión moderada, en algunos casos son inundables por lo que requieren de buenas obras de drenaje. Por lo anterior requieren de rotación de cultivos para conservar el suelo. Se localiza en la zona transicional entre la planicie y el piedemonte.
- Clase III. Agrícola moderado. Estos suelos están sujetos a severas limitaciones de cultivo, debido a los riesgos o daños que se pueden generar. Tienen pendiente semi-inclinadas, lo que hace que estén expuestos a erosión severa, su fertilidad es baja. Son moderadamente buenos, se pueden

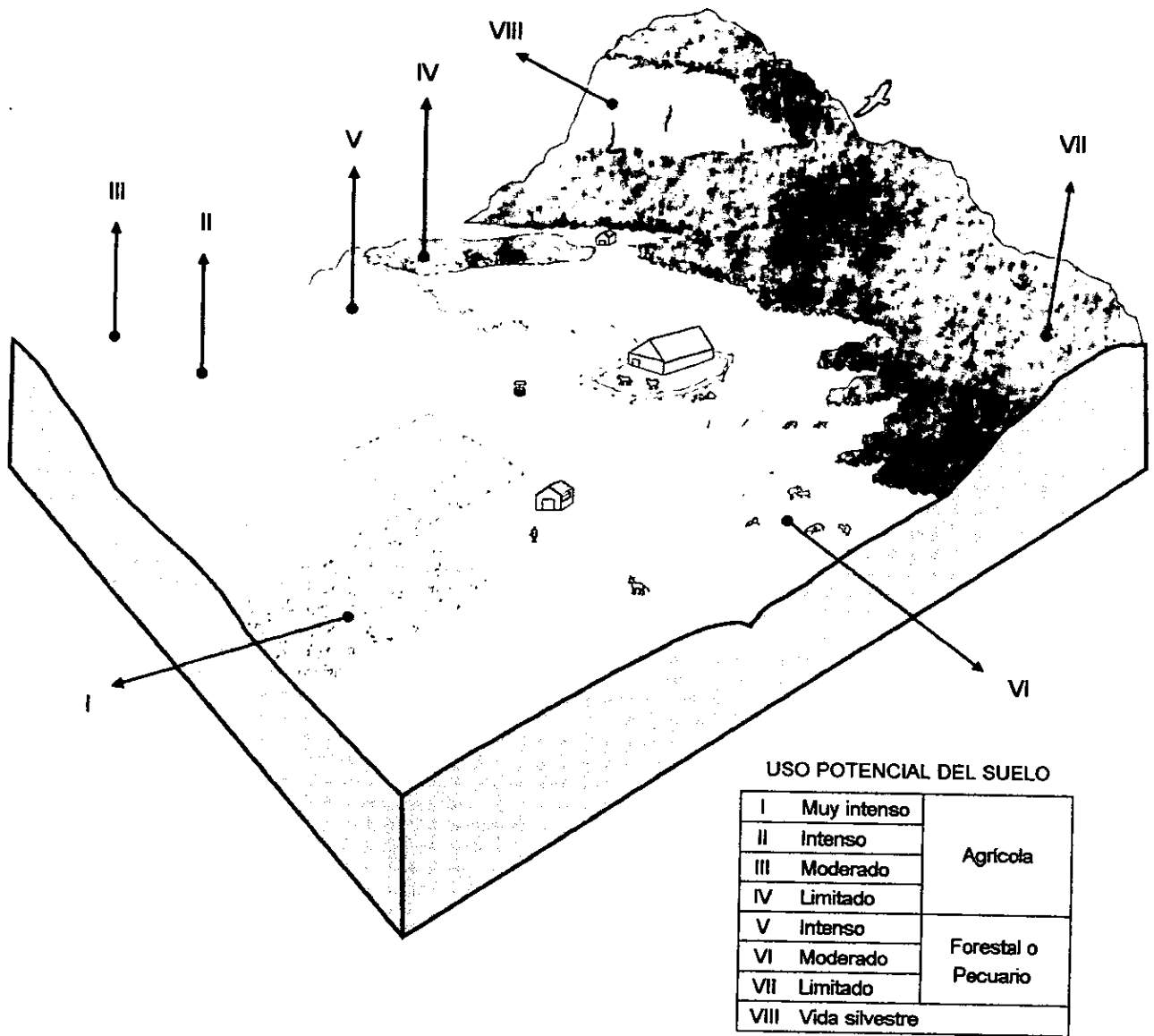


FIGURA 24: CLASIFICACION DE SUELOS, DE ACUERDO CON LA CAPACIDAD DEL TERRENO PARA SU POSIBLE USO, CON BASE EN LA U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE

usar con buenos resultados si se aplican rotaciones de cultivo y si siempre están protegidos con vegetación. Se le localiza principalmente en el piedemonte.

- Clase IV. Agrícola limitado. Esta clase de suelos tienen limitaciones permanentes muy severas o riesgos también muy severos si se usan como terrenos de cultivo. Están sobre pendientes pronunciadas sometidas a la erosión, lo que restringe su uso para el cultivo, son poco profundos y bajos en fertilidad. Son regularmente buenos y pueden ser cultivados ocasionalmente si se manejan con cuidado, siempre se debe procurar que estén con cobertura vegetal que los proteja de la erosión. Se localiza en la zona transicional entre el piedemonte y los lomerios o laderas montañosas.
- Clase V. Forestal o pecuario intenso. Esta clase de suelos debe mantenerse con vegetación permanente o ser usado para pasto o bosque. Aunque el terreno es casi nivelado no es propio para la agricultura por tener exceso de piedras. La ganadería debe regularse para evitar la destrucción de la cubierta vegetal existente. Se localiza en las márgenes de los diferentes derrames, donde la pendiente es notable y en zonas aisladas cubiertas con vegetación.
- Clase VI. Forestal o pecuario moderado. Los suelos de esta clase deben ser usados para pastos y bosques, no son suelos aptos para cultivos. Debido a que están sobre laderas o por ser muy superficiales, no deben usarse para pastoreo. No se debe destruir la cubierta vegetal si cuenta con ella. Se localiza por lo general en terreno escabroso, en casi todos los cuerpos montañosos de la subcuenca.
- Clase VII. Forestal o pecuario limitado. Este tipo de suelo está expuesto a severas limitaciones cuando son utilizados para pastoreo o bosque por ser someros y pobres. Se encuentra en las zonas mas altas de la subcuenca, en donde esta escarpado.
- Clase VIII. Vida silvestre. Este tipo de suelos son escabrosos, incluso para bosques o pastoreo. Su uso apropiado es para la vida silvestre y recreo. Al igual que la otra clase, se encuentra en la parte más alta de la subcuenca, en el área escarpada de la Sierra del Tepozán.

6.2. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Las siguientes sugerencias van encaminadas a los gobiernos Estatal y Federal para que realicen o financien prácticas de conservación de suelo en la subcuenca, a instituciones

gubernamentales que se dedican a preservar los recursos naturales como es el caso de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, el Instituto Nacional de Ecología y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a instituciones educativas interesadas en el estudio y cuidado de las especies que viven en y de la laguna, finalmente para la población local que se preocupa por preservar el medio en que vive.

Para detener el acelerado y creciente problema erosivo en la subcuenca de Tecocomulco, existen algunas **prácticas**, mediante las cuales es posible disminuir y en algunos casos acabar con los problemas de pérdida de suelo. Las diferentes prácticas aquí elegidas se basan en las propuestas por la FAO-ONU (1967), en la Clasificación de Suelos de la USSCS en Tyler (1984), en las propuestas por Schwab, *et al.* (1990) y por la SARH, *et al.* (1991).

6.2.1. PRACTICAS MECANICAS

Se conocen como **prácticas mecánicas** a todas aquellas actividades que se efectúan con herramientas agrícolas, equipo especial y mano de obra, consisten en realizar movimientos de tierra con la finalidad de disminuir los escurrimientos superficiales y con ello reducir la erosión. La selección de las prácticas mecánicas está en función de la clase y uso que se le dé al suelo.

Las prácticas mecánicas recomendadas para aplicarse en la subcuenca son:

I. SURCADO EN CONTORNOS.

Consiste en trazar los surcos en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo las curvas de nivel. Esta práctica es recomendable en terrenos con pendiente no mayor al 5%.

La forma de como se deben trazar los surcos es la siguiente:

- a) Donde se van a trazar los surcos se busca la ruptura de pendiente y se marca con una estaca.
- b) A partir del punto inicial se marca una línea guía que siga el contorno de la ladera (curva de nivel) por medio de estacas a cada 15 o 20 metros.

- c) Se procede a trazar el surco o línea guía con los utensilios agrícolas que se disponga (arado o tractor).
- d) Posteriormente se trazan surcos paralelos a la línea guía, hacia arriba y hacia abajo hasta que cubran toda el área.

Esta práctica se recomienda principalmente en la zona de piedemonte; por lo general, en la zona transicional entre la planicie y el piedemonte se debe cuidar y aplicar esta práctica, si se siguen con los surcos rectos de la planicie, cualquier lluvia que sea capaz de producir escorrentia acarreará grandes cantidades de suelo.

II. CULTIVOS EN FAJAS O EN TERRAZAS.

Al igual que el cultivo de surcado, sigue el contorno de la curva de nivel, sólo que este se aplica donde la pendiente es mayor del 5%, a diferencia de la práctica anterior, para su construcción requiere de más equipo y fuerza de trabajo (por la misma pendiente que dificulta la construcción). Por la topografía, la pendiente, el grosor del suelo y las características climáticas, existen diferentes diseños de terrazas (figura 25) con espaciamientos entre ellas también diferentes. Las hay a nivel o inclinadas, de base ancha, de base angosta, de banco, de bancos alternos y con canal amplio. Si la pendiente es abrupta, la construcción de la terraza debe ser de base angosta y por lo tanto, de bordo alto, por otro lado, en pendientes menos pronunciadas son propicias las terrazas de base ancha y de bordo bajo.

La inclinación de la terraza está en función de las características climáticas de la región. En zonas donde la lluvia es excesiva se recomienda que la terraza tenga cierta inclinación para su propio drenaje. De lo contrario, zonas donde la lluvia es escasa (como en el caso de la subcuenca) se recomienda que la terraza sea plana o que tenga cierta inclinación contraria al bordo, para que el agua recibida se quede en la terraza por más tiempo.

Para la construcción de las terrazas se deben de cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Que entre ellas siempre exista paralelismo, es decir, que sean equidistantes; deben seguir la configuración de las curvas de nivel.
- b) La construcción de las terrazas debe de hacerse en la época seca del año.
- c) Al mover la tierra de un lugar a otro sufre cambios de volumen, de acuerdo con la composición de sus partículas; por lo general, el material removido aumenta su volumen entre el 15 y 40%, razón por la cual, al terminar la terraza debe de quedar con una forma mucho mayor a la deseada,

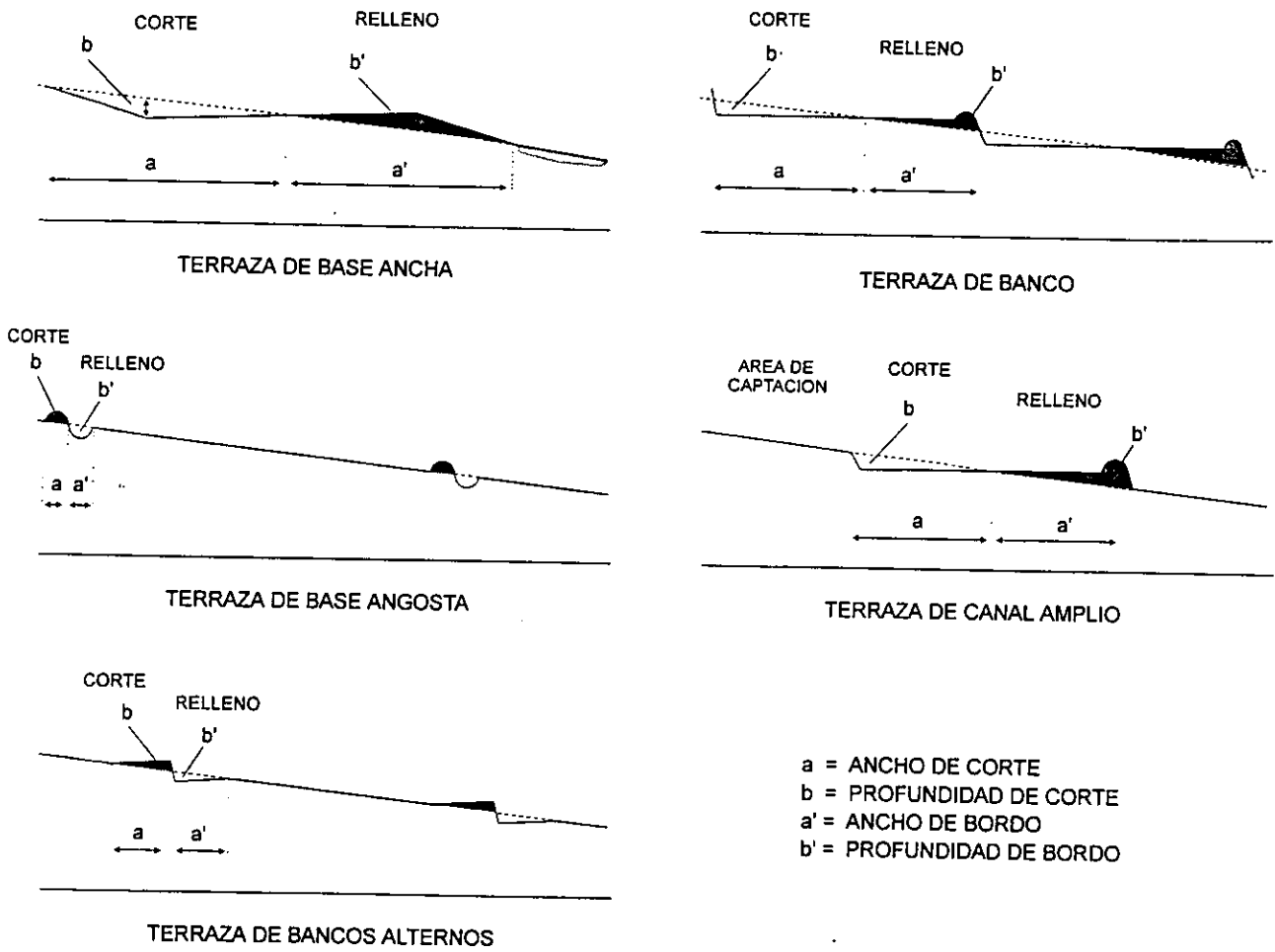


FIGURA 25: TIPOS DE TERRAZAS (SECCIONES TRANSVERSALES)

por los efectos de la precipitación, por el paso de ganado y maquinaria sobre las terrazas el material sufre su reacomodo, quedando ahora mucho más compactado, como se ilustra en el cuadro 16.

GRUPO TEXTURAL	VOLUMEN OCUPADO POR EL SUELO (m ³)		
	Condición natural	Abombamiento	Compactación
Gruesa	1	1.15	0.87
		1.20	0.83
Media	1	1.21	0.83
		1.30	0.77
Fina	1	1.31	0.76
		1.40	0.71

Cuadro 16. Cambio del volumen del suelo por su reacomodo.

- d) El equipo de construcción y la mano de obra debe estar de acuerdo a la cantidad de tierra que se va a mover. Para grandes movimientos de tierra es necesaria la participación de equipo pesado, si la terraza se construye sobre pendiente no muy pronunciada es posible utilizar solo mano de obra y equipo agrícola rústico como es el arado con tiro animal.

Para conservar la terraza y darle mayor durabilidad, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Evitar que después de la construcción, cuando todavía no esté consolidada, las atraviese ganado o vehículos de labranza, si esto llegara a ocurrir lo recomendable es reparar de inmediato el desperfecto, de lo contrario después será más difícil. A manera de refuerzo se debe plantar en los bordos hierba y pasto, para que sus raíces los fijen y los hagan más resistentes.
- En terrazas recién construidas, se recomienda observar el asentamiento después de lluvias fuertes para una posterior reparación.
- Mantener la capacidad de almacenamiento de las terrazas, limpiando los canales y procurando elevar el bordo, para evitar la pérdida del suelo.
- Recoger las rocas que se encuentren sobre surcos y canales para colocarlas sobre el bordo y así darle una mayor estabilidad.

- e) Combatir a los roedores que por lo general hacen sus madrigueras en las inmediaciones de los bordos, al perder soporte la terraza sufre caídas con las lluvias o con el peso de la maquinaria de labranza.
- f) El punto más importante que hay que tomar en cuenta es que si no se les va a dar mantenimiento a las terrazas, lo preferible es no construirlas, una terraza mal conservada puede causar más daños de los que sufriría el terreno antes de la construcción.

III. CONTROL DE SURCOS, CARCAVAS Y BARRANCOS.

En las formas producto de la erosión lineal, en cualquiera de sus 3 estados (figura 19) se busca:

- a) Prevenir y detener la erosión remontante.
- b) Reducir la velocidad de los escurrimientos superficiales que erosionan el fondo y las márgenes, mediante el uso de estructuras diseñadas para este fin.
- c) Rellenar y estabilizar a las cárcavas con los azolves captados, posteriormente tratar que se desarrolle vegetación nativa de la zona, procurando que la sucesión vegetal primero desarrolle especies herbáceas, rastreras, arbustivas y finalmente arbóreas.

Para prevenir y detener la pérdida de suelo producida por la erosión lineal existen diferentes modelos de presas de control de azolve, que dependiendo la profundidad de la incisión en el suelo, los materiales y recursos con que se cuente, se puede elegir el modelo más adecuado.

PRESAS DE CONTROL DE AZOLVE.

- Las presas de control de azolve se construyen en forma perpendicular a la dirección de la corriente, tienen como finalidad disminuir la velocidad del agua y suavizar la pendiente de la cárcava con la sedimentación de los azolves.
- El espaciamiento entre una presa y otra (si se requieren construir varias) depende de la profundidad de la cárcava y de la cantidad de sedimentos que se desee almacenar; la distancia mínima entre dos presas se determina al prolongar una línea horizontal, por un lado, la base de la primer presa y por otro, la parte más alta de la segunda presa.

humedad después de las lluvias. En terrenos no agrícolas es una buena medida plantar nopales y magueyes para evitar que la erosión se lleve el suelo, si es que este fue deforestado; en zonas altamente erosionadas se pretende que este tipo de cultivos se lleve a cabo en la cabecera de los surcos y cárcavas para evitar que la erosión siga aumentando en longitud (remontando), además, no está de más plantar algunos en los bordes de las paredes para que no se den caídas en las márgenes y con ello se ensanchen los surcos o cárcavas.

Esta medida se puede considerar como una de las propicias que se pueden llevar a cabo en la subcuenca de Tecocomulco para aminorar la erosión: en primer lugar la región presenta la mayor parte del año falta de humedad, lo que le da un aspecto de zona esteparia, consecuencia de ello es el predominio de vegetación de tipo matorral (figura 12); cabe señalar que en la zona la vegetación boscosa cada vez se reduce más a causa de la deforestación, las zonas deforestadas poco después son pobladas por vegetación de matorral; el matorral se caracteriza por su vegetación de tipo arbustiva, así como magueyes y nopales que crecen de modo natural. En segundo lugar, si se plantan magueyes se asegura que fácilmente se van a adaptar a las características climáticas, haciendo que el esfuerzo y el gasto valga la pena, al saber de antemano que esta práctica sí va a servir para contrarrestar la erosión. Por último, se debe hacer énfasis que en otra época la región fue cien por ciento productora de pulque y la principal del país, por lo que se intuye que casi en su totalidad la principal vegetación consistió en magueyes; durante el auge pulquero había personal encargado de vigilar el crecimiento del maguey y su cultivo (el caporal y peones respectivamente), si el caporal observaba sitios con pérdida de suelo o con magueyes viejos o enfermos, inmediatamente lo reportaba a los peones, para que estos últimos plantaran pequeños magueyes, que previamente tenían plantados en un vivero que servía para su reproducción. Para lograr lo anterior el Gobierno del Estado de Hidalgo creó el Patronato del Maguey, Organismo Oficial cuyo objetivo fue cultivar maguey para la producción de pulque y con sus raíces consolidar y retener el suelo, evitando con ello los escurrimientos superficiales (Blanco y Ramírez, 1966).

En esta práctica a lo que hay que tener cuidado, es al creciente saqueo de magueyes (que hoy día casi los exterminan) para extraerles los gusanos y el mixiote de un alto valor comercial.

Por otra parte, también se puede pensar en el cultivo de nopal, pero no el silvestre que se da en la zona, sino el de especies más comerciales, como puede ser el caso del comestible y el de obtención de tuna. Esta práctica puede tener doble beneficio: protege al suelo de la erosión y reditúa económicamente a los lugareños que se dediquen a ello, aunque los beneficios se obtendrán un par

de años después, al alcanzar su madurez el nopal. Por cuestiones climáticas y morfológicas, esta medida resulta viable, para disminuir la erosión y elevar en nivel económico de los residentes de la subcuenca.

PROMOVER LA REGENERACION DE LA VEGETACION NATURAL.

Lo ideal es que la vegetación que nace en terrenos deforestados no sea secundaria, mas bien que siga siendo la misma, para preservar el medio original. Ante el rapaz crecimiento de la vegetación secundaria o en su defecto, porque se pierde el suelo, lo planteado es reforestar con el mismo tipo de vegetación de la región.

REFORESTACION.

La reforestación es plantar árboles en terrenos que previamente contaban con ellos, los cuales, fueron cortados para usarse como madera (construcción) o como leña (combustible).

La subcuenca en términos generales ha sido excesivamente deforestada; de acuerdo con algunos árboles que sirven como vestigios, se puede concluir que sin excepción, la mayor parte de la subcuenca (zona montañosa, zona de lomeríos y algunas partes del piedemonte en figura 17) estuvo algún tiempo poblada de árboles. La depredación del hombre acabó con un gran porcentaje de bosque, en su lugar predomina vegetación de matorral (figura 12) y en los casos extremos el terreno ha sido totalmente erosionado, sin el menor rastro de vegetación sobre su superficie.

El decreto del 4 de febrero de 1941 -publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de abril de 1941- declara que toda la zona forestal del Estado de Hidalgo queda totalmente vedada (Cruz, 1974), sólo se permiten aprovechamientos comerciales que cumplen los requisitos estipulados por la ley en los dos aserraderos que se encuentran en la subcuenca.

MANEJO DE BOSQUES.

Manejar el bosque es obtener beneficios económicos del mismo, sin descuidar la cubierta forestal y la protección del suelo en contra de la erosión. Hay que planificar y dirigir el uso de este recurso, al cortar un árbol se debe plantar otro que lo reemplace, para que el bosque siempre exista y con ello se pueda seguir aprovechando.

BARRERAS ROMPEVIENTOS.

La erosión eólica es el proceso degradatorio desarrollado por el viento, es característica, pero no exclusiva de zonas áridas y semiáridas. En la subcuenca la frecuencia de la sequía, los cambios de temperatura, los suelos secos sin vegetación o con muy poca, facilitan que el viento se lleve las partículas sueltas del suelo.

Es conveniente que al levantar las cosechas se dejen los residuos de la misma para aminorar la velocidad del viento en la superficie del suelo y evitar la saltación y arrastre de las mismas partículas, aunque a las más ligeras se las llevará en suspensión (a manera de tolvánicas). Además, es posible adicionar restos de cosechas para formarle al suelo una cubierta protectora. Otra medida para minimizar la erosión eólica es plantar árboles alineados o arbustos (entre los árboles se deben plantar matorrales y plantas menores para evitar que el viento se filtre) en los límites de las parcelas, para que el viento tenga un obstáculo; al pasar sobre la hilera de árboles el viento se frena y se levanta, aunque metros más adelante (en teoría la protección de la cortina es de 14 veces su altura) continúa con su labor erosiva.

PASTOREO ROTATIVO, EVITAR SOBREPASTOREO.

Si se cuenta con ganado hay que realizar un pastoreo rotativo, para evitar que se deje totalmente desprovisto de vegetación al suelo, al efectuar un pastoreo excesivo.

En la subcuenca, se aprecia que la mayor parte de las viviendas cuentan con ganado en menor o mayor número. En todo Tecocomulco, solo se encuentran dos lugares que tienen su ganado entablado (cercado), al cual tienen que proporcionar su alimento; paradójicamente ambos lugares se encuentran a un kilómetro escaso de separación uno del otro; ambos se sitúan sobre la planicie, al suroeste de la laguna, los lugares son: la Granja de Aguilera, se dedica a la cría de ganado ovino y la Hacienda de Cocinillas, dedicada a la cría de ganado bovino (toros de lidia). El resto de las viviendas, al contar con unas cuantas cabezas de ganado (algunos borregos, cabras y vacas) se dedican a pastarlas en los terrenos de cultivo, cuando no está cultivado, o en las lomas y zona montañosa, acabando con la vegetación y facilitando la pérdida del suelo por las mismas pisadas del ganado.

DESAZOLVAR LA LAGUNA

Una práctica mecánica más para rescatar la laguna es su desazolve, aunque a corto plazo puede acarrear problemas ecológicos, con el tiempo es posible que estos desaparezcan.

Esta práctica se debe de hacer con equipo pesado (trascavos y camiones de carga), se recomienda realizar lo más rápido posible y sobre todo, que se haga en el periodo del año en que el nivel de la laguna es el más bajo, es decir, en los primeros meses del año, antes de las lluvias. Al sedimento removido se le puede utilizar para agrandar el bordo que la rodea o en su defecto transportarlo y depositarlo en cualquier otro lado de la subcuenca.

El riesgo que implica esta práctica es que mientras se lleva a cabo, muchas de las aves residentes abandonarán su hábitat al asustarse con las maniobras de las máquinas, infinidad de nidos, hueveras de peces y ranas y algunas plantas acuáticas materialmente se destruirán al removerse con los sedimentos de la laguna. Una vez que la laguna sea desazolvada se espera que con las lluvias aumente rápidamente su nivel de agua y poco a poco vuelva a ser poblada con el regreso de las aves y con la reproducción de los anfibios y peces.

Dado que esta tarea puede resultar costosa, es importante que se compense el gasto con una mayor durabilidad de la laguna, pues no tiene caso que se realice el desazolve si la erosión de las partes medias y altas va a continuar y en unos cuantos años el fondo de la laguna será nuevamente cubierto con los sedimentos. Aunado al desazolve, se deben combinar las prácticas mecánicas y vegetativas que se consideren necesarias para preservar la laguna.

6.3. CONCLUSIONES

Como consideraciones finales se puede destacar que:

- La hipótesis planteada fue correcta, el actual modelado de la subcuenca se debe a causas antrópicas.
- La actividad del hombre que acelera la erosión es la agricultura que no considera la pendiente del terreno, el pastoreo en zona boscosa, la deforestación e incendio del bosque, el cambio del uso del suelo, la eliminación de la vegetación natural por construcción de caminos, casas, etc. Cualquier actividad que deja al suelo descubierto, lo hace vulnerable a la lluvia y el viento; las primeras lluvias arrasan con grandes cantidades de suelo al no haber cobertura vegetal alguna que lo

proteja del impacto de las gotas y del posterior escurrimiento, por otra parte, el viento origina tolvaneras que atacan principalmente en la época seca del año.

- La cubierta vegetal original de las sierras montañosas, constituida por bosques, ha sido casi en su totalidad alterada, substituida en su mayor parte por cultivos agrícolas de temporal, principalmente de cebada y maíz; la vegetación secundaria está constituida por matorral (figura 12). Las zonas de lomeríos y laderas montañosas se encuentran afectadas casi en su totalidad por la erosión, como consecuencia de las actividades impropias para la pendiente de estas geoformas. Por ejemplo, hay zonas, como al noreste de Tres cabezas, al este y sur de Alcantarillas, la mayor parte del Cerro Blanco, al norte de Francisco Sarabia, al sur de Vista Hermosa, por citar algunas, en donde la recuperación natural de suelo a corto y mediano plazo resulta casi imposible, debido a su grado de afectación y sólo puede ser posible si se conjuntan varias de las sugerencias planteadas; por otro lado, en la parte de la subcuenca, donde el grado de erosión es moderado, con alguna de las sugerencias se puede atenuar la erosión. La deforestación del bosque y el abandono-saqueo de los magueyes de la zona de montaña y piedemonte, sin duda son pieza fundamental en el modelado actual de la subcuenca, las zonas más afectadas por la erosión (figura 19) en su momento estuvieron cubiertas por este tipo de vegetación. En la medida que se siga eliminando el bosque (el maguey ya casi), los problemas de erosión aumentarán en extensión, mientras que donde ya existen se acentuarán más.
- Una de las causas que explica el avanzado problema de erosión, es que el material superficial de la subcuenca consiste en depósitos de toba, ceniza de caída no consolidada o ligeramente consolidada, cuyo espesor varía de unos cuantos centímetros hasta algunos metros. Al desproteger a la superficie tobácea de su cobertura vegetal es fácilmente denudada.
- Los resultados de los dos modelos aquí aplicados, son confiables: el modelo de Julien-Frenette a pesar de ser teórico, en términos generales estima la pérdida posible de suelo, tomando como base principal la pendiente del terreno; por su parte, el resultado del modelo directo es real. Hoy en día, esta incipiente laguna tiene una profundidad promedio, de alrededor de 60 cm, si se toma el valor general de sedimentación de 5.7 cm es fácil suponer que en un máximo de 18 años se puede azolvar por completo, siempre y cuando la erosión se mantenga al ritmo actual, algo imposible, ya que diariamente se acelera aún más.
- En el área de la planicie que ocupa el vaso lacustre, existe una red de diferentes canales (para retención de agua, agilizar el escurrimiento en las zonas de cultivo, prevención contra

inundaciones y riego) que facilitan su colmatación al dirigir y encausar directamente el agua con todo el sedimento que transporta por arrastre y en suspensión, el cual se deposita en la superficie de la laguna, reduciendo su gradiente de agua año con año. El azolvamiento de la laguna se produce de manera gradual, en su interior los sedimentos avanzan a manera de deltas, la mayor parte de ellos se depositan en las márgenes que están en contacto con los principales canales que lo circundan (figura 7), el resto de ellos avanzan más al interior con ayuda del movimiento del agua que fluye desde los canales (durante y después de la época de lluvias) o con el movimiento de turbiedad del agua. El drenado artificial de cualquier lago o laguna implica pérdida de la reserva de agua, cambios en el medio y en el uso del suelo de la región.

- En la zona de estudio en los últimos 3 años la precipitación ha sido escasa, considerando sumamente seco al año 1997 y la mitad del siguiente año; inclusive, antes de la lluvias de verano de 1998 la superficie de la laguna se llegó a secar casi por completo, quedando sólo las depresiones mayores a manera de pequeños charcos. Con las abundantes lluvias del mes de julio de 1998 el nivel de agua de la laguna en tan sólo unos días alcanzó su máxima altura, sobrepasando la altura de los bordos que le sirven de límite y cubriendo con el excedente de agua los campos de cultivo cercanos.
- Si se mantiene la laguna de Tecocomulco en el estado mínimo en que se encuentra, será un magnífico hábitat natural para las especies endémicas que en ella viven, puesto que todavía puede acumular bastante agua y su fondo lodoso permite el desarrollo de plantas acuáticas emergentes, que en forma de islotes ofrecen el mejor sitio de resguardo para las aves, la vegetación acuática es magnífica como alimento de las aves y peces; presenta condiciones favorables para la supervivencia de las aves residentes, además, sirve de descanso y para la reproducción de las migratorias. Es necesario prohibir o en su defecto hacer respetar los periodos en que se permite la caza de aves, aunque hay épocas de veda, estas no se respetan y diariamente las aves son fácil presa de los cazadores. Asimismo, se debe impedir a los campesinos que cultiven en el interior de la laguna cuando el agua baja de nivel, porque ellos son los que bombean el agua y rompen el bordo para agilizar su pérdida. A la laguna se le debe dar la importancia que merece desde el punto de vista científico, por ser un relicto ecológico se debe preservar para que los endemismos que en ella viven no se extingan; si se le considera área natural protegida, quizá se inviertan los medios necesarios para su cuidado. Aunque esta laguna no formó parte del lago de Anáhuac fue

contemporánea y en la actualidad es la única que existe en condiciones aún naturales dentro de la Cuenca de México.

- Para controlar azolves y rehabilitar suelos erosionados se deben de efectuar prácticas mecánicas y vegetativas, la combinación de ambas puede ser muy útil para frenar la erosión y favorecer la formación de suelo. De aplicarse las sugerencias planteadas se espera proteger al suelo y aumentar la cubierta vegetal, disminuyendo con ello la cantidad de escurrimientos superficiales y aumentando en contraparte la infiltración del agua, importante para la recarga del manto freático, lo que a la larga aumenta la disponibilidad de agua para consumo y riego.
- Al frenar la pérdida del suelo en la parte media y alta de la subcuenca se evitan posteriores azolvamientos en presas, canales, zanjas de drenaje, así como en caminos, áreas agrícolas y sobre todo en la laguna de Tecocomulco.
- Sobre todo se debe concientizar a la gente para que cuide el medio en que viven, por ejemplo, se le debe proponer que si van a cortar leña, que la obtengan de ramas secas o árboles enfermos o en proceso de secado, evitando cortar aquellos que se encuentren en plenitud de desarrollo y explicarles que no siempre lleve a pastar al mismo sitio a su ganado (principalmente en las áreas boscosas), para permitir el nacimiento y crecimiento de nuevos retoños, para en el futuro poder usarlos como madera o combustible.
- Con este trabajo se espera contribuir en la detención de la erosión o en su defecto disminuirla, siempre y cuando se apliquen las recomendaciones y sugerencias planteadas; al frenar la erosión no se beneficia ni la laguna, ni el suelo y mucho menos la vegetación de la subcuenca, los principales beneficiados son sus pobladores.

ANEXOS

1.- Clasificación de Wentworth y Williams (1932) modificada por Compton *in* Compton, 1970.

- a) Clastos mayores de 64 mm.
 - Agregado - fragmentos angulares, bloques, bombas.
 - Agregado litificado - brecha volcánica.
- b) Clastos entre 64 y 4 mm.
 - Agregado - lapilli.
 - Agregado litificado - toba de lapilli.
- c) Clastos entre 4 y 0.25 mm.
 - Agregado - ceniza.
 - Agregado litificado - toba de grano grueso.
- d) Clastos menores de 0.25 mm.
 - Agregado - ceniza fina o polvo volcánico.
 - Agregado litificado - toba de grano fino.

2.- Fórmula para el cálculo de la circularidad de la cuenca, según Miller (De Souza *et al.*, 1996).

$$Cc = (A / PA)$$

En donde:

- Cc es la circularidad de la cuenca.
- A es el área de la cuenca.
- PA es el perímetro de un círculo de igual área.

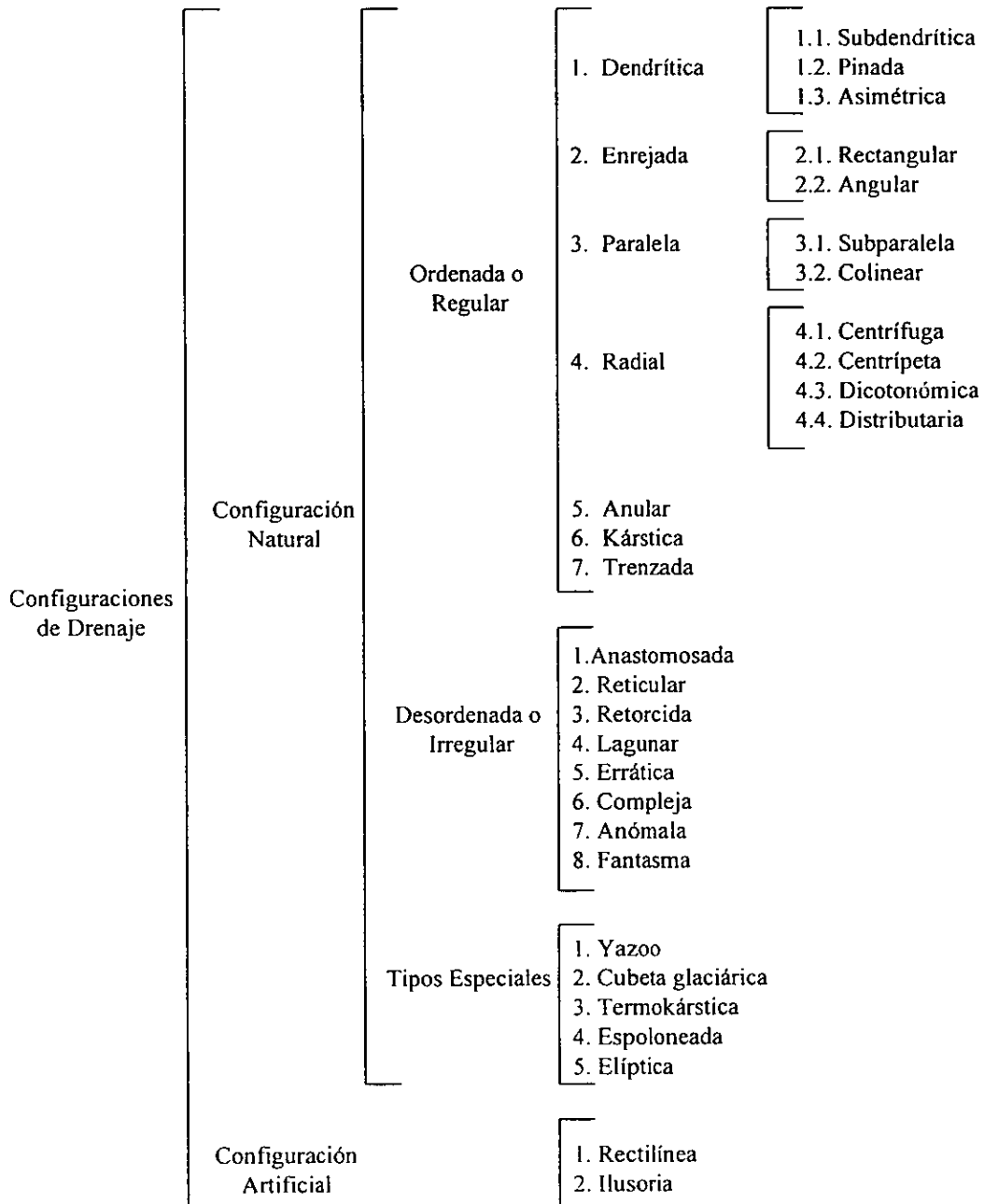
3.- Fórmula para el cálculo del factor forma de la cuenca, según Horton (De Souza *et al.*, 1996).

$$Ff = (A / P)$$

En donde:

- Ff es el factor forma de la cuenca.
- A es el área de la cuenca.
- P es el perímetro de la cuenca.

4.- Clasificación compilada de Configuraciones de Drenaje, según Guerra (1980).



5.- Fórmula para el cálculo de la evaporación, según Martonne (Remenieras, 1974).

$$E = 30 (10 + t)$$

En donde:

- E es la evaporación anual en mm.
t es la temperatura media anual en °C.

6.- Fórmula para el cálculo de la evaporación, según Langbein (Remenieras, 1974).

$$E = 35 (7 + t)$$

En donde:

E es la evaporación anual en mm.
t es la temperatura media anual en °C.

7.- Fórmula para el cálculo de la evaporación, según Turc (Remenieras, 1974).

$$E = 320 + 25 t + 0.05 t^3$$

En donde:

E es la evaporación anual en mm.
t es la temperatura media anual en °C.

8.- Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial, según Penman (Custodio y Llamas, 1983).

$$ETp = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \left[R_n - \left(\frac{R_N}{c_1} \right) \right] + [E_s = 0.35(0.5 + 0.54 v_2)(e_a - e_d)]}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

En donde:

ETp es la evapotranspiración potencial anual en mm.
 Δ pendiente de la curva de tensión saturante a la temperatura t.
 γ constante psicrométrica.
 R_n evapotranspiración en mm/día.
 R_N radiación neta en cal/cm².
 c_1 calor de evaporación necesario para evaporar 1 mm de agua por cada cm² de superficie.
 v_2 velocidad del viento a 2 m de altura, sobre la superficie evaporante en m/seg.
 e_a tensión de vapor saturante a la temperatura del aire en mm de Hg.
 e_d tensión de vapor en el aire en mm de Hg.

9.- Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial, según Thornthwaite (Custodio y Llamas, 1983).

$$ETp = \{ 1.6 (10 t / I) 0.000000675 (I)^3 - 0.0000771 (I)^2 + 0.01792 (I) + 0.49239 \} F$$

En donde:

ETp es la evapotranspiración potencial anual en mm.
t es la temperatura media anual en °C.
I es el índice de calor anual.

F es una constante.

10.- Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración real, según Turc (Custodio y Llamas, 1983).

$$ETr = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

En donde:

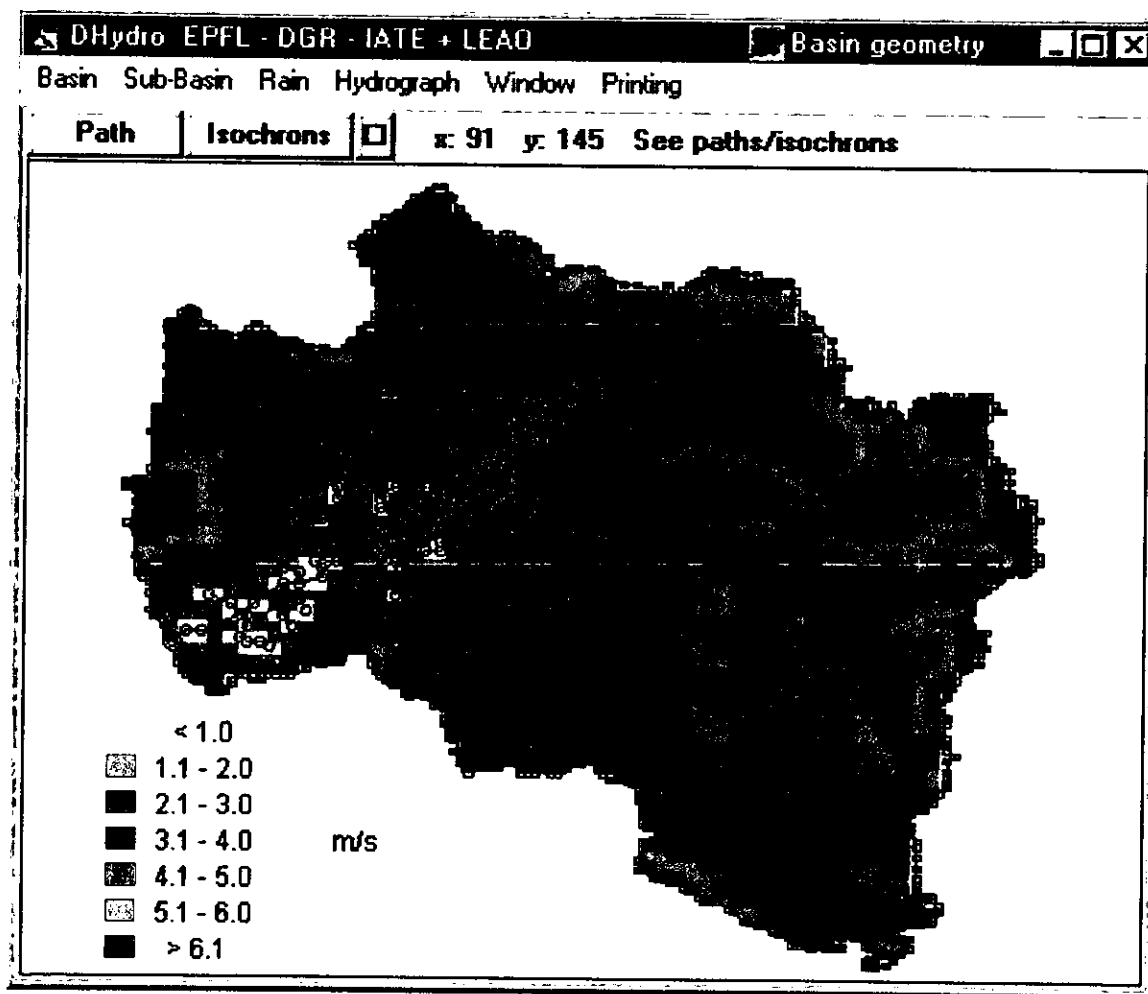
ETr es la evapotranspiración real anual en mm.

P es la precipitación anual en mm.

L es igual a $300 + 25 t + 0.05 t^3$

t es la temperatura media anual en °C.

11.- Modelo del programa Dhydro (De Souza, 1996) con pendiente en porcentaje igual a 5%, terreno agrícola y con una cobertura vegetal natural tipo arbustiva.



GLOSARIO

ACTIVIDAD BIOLÓGICA. Se produce cuando las raíces de las plantas se van expandiendo y metiendo entre las fracturas de las rocas, al crecer inician con ello un ligero esfuerzo que dobla a la roca y la fractura aún más. Por otro lado, los animales al cavar sus madrigueras desintegran a las rocas, sobre todo las más suaves.

ANFIBOLES Y PIROXENOS. Son silicatos en cuya composición predomina Ca, Mg y Fe. Constituyen el 16% de la corteza terrestre, se intemperizan más fácilmente que los feldspatos, se aprecian en los suelos como granos de color oscuro.

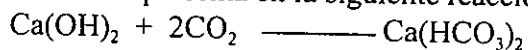
APATITA. Se le representa como $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$. Es la principal fuente de casi todo el fósforo (P) en el suelo, se observa como diminutos granos en las rocas.

ARCILLA. La palabra arcilla proviene del vocablo latino *argilla* y del vocablo griego *αργος*, significa blanco, por el color del material usado en la cerámica. Se le considera y define de varias maneras, en edafología y sedimentología se define como un producto natural, originado a partir de la meteorización o intemperismo de las rocas, cuyas partículas son de tamaño inferior a 2μ (micras), constituida principalmente por aluminosilicatos de origen secundario. Los principales grupos de la arcilla son la kaolinita, la montmorillonita y la illita.

BALANCE HIDROLÓGICO. Es el planteamiento aritmético del ciclo hidrológico.

CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO. El cambio de temperatura ocasiona la expansión y contracción de los minerales de las rocas, hasta que finalmente los rompen estructuralmente o solo en la capa superficial en forma de costras (exfoliación).

CARBONATACION. La descomposición de la materia orgánica (MO) en el suelo y la transpiración de las plantas libera grandes cantidades de CO_2 dentro del suelo. Este gas se combina fácilmente con las bases, produciendo carbonatos y bicarbonatos. Este proceso es de los más efectivos en recombinar los minerales del suelo, debido a que los bicarbonatos son sumamente solubles. El proceso se representa en la siguiente reacción:



CARBONATOS. Se le representa como CO_3 . Comúnmente se encuentran en la caliza y en el mármol. La calcita (CaCO_3) es un mineral relativamente soluble, efervece fácilmente con los ácidos fríos.

CERRO. Estructura con elevación en el terreno menor que una montaña, comúnmente peñascosa; se encuentra aislada en llanura o entre accidentes montañosos.

COBERTURA VEGETAL. Es el área en que cubren al suelo las plantas en proyección vertical.

COLOIDES. Son las partículas más finas de las que están formados los suelos, a partir del material formador pueden ser coloides minerales (arcillas) o coloides orgánicos (humus).

CONGELAMIENTO. Se produce cuando el agua se congela entre las fracturas de las rocas, cuando esto ocurre, la fuerza que alcanza su cambio de volumen es tal que puede romper cualquier tipo de roca.

CUARZO. Es el más abundante de los minerales que forman al suelo, se le representa con SiO_2 . Es muy duro, se fractura y tiene una baja solubilidad. Ocupa alrededor del 13% del total de la corteza terrestre y entre el 30 y 40% en el suelo.

CUENCA. Es una unidad del relieve al ser un sistema que tiene límites fijos y precisos. Área de captación del agua de lluvia, si el agua se infiltra en el interior se le llama arréica, si el agua se

estanca y forma un lago o laguna se llama endorréica y si el agua escurre hasta el mar se le llama exorréica.

DENSIDAD APARENTE. Es la masa (peso por unidad de volumen en suelo seco)

DOMO. Estructura formada por erupciones de magma que no ha podido extenderse a consecuencia de su propia fluidez. Son relativamente grandes, de paredes empinadas y con forma de bulbo, pueden formarse dentro de los cráteres o en los flancos de los volcanes compuestos.

DRENAJE. Modelado que presenta la superficie como consecuencia de la forma y dirección en que corre el agua en la erosión hídrica lineal.

ECOSISTEMA. Es un arreglo de componentes bióticos y abióticos o un conjunto de elementos relacionados de manera que actúan y constituyen una unidad. En cualquier sistema dinámico una relación significa transporte de materia, energía e información.

ELUVIACION. Es la remoción del material suelto (arcilla) en suspensión o solución de un horizonte a otro. Paso de agua a través de los perfiles del suelo, arrastra a su paso partículas del suelo y toda clase de sustancias solubles.

ENCOMIENDA. Reparto excesivo de tierras que hacía la Corona Española a sus soldados más destacados.

ERODABILIDAD. Es la vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión, depende de las características físicas del suelo y del uso que se le este dando.

EROSIVIDAD. Capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión, depende de las características físicas de la lluvia.

ESCURRIMIENTO. Es la parte de la precipitación que se desliza sobre la superficie, formando corrientes intermitentes o permanentes. También incluye el agua de manantiales y la que proviene de la nieve y el hielo.

ESCURIMIENTO SUPERFICIAL. Es la parte de la lluvia que se desliza por el suelo y después se incorpora a corrientes o canales hasta depositarse en el mar y en lagos y lagunas.

ESCURIMIENTO SUBTERRANEO O SUBSUPERFICIAL. Es aquella fracción de lluvia que se infiltra a suelo y que se desliza por sus horizontes interiores.

ESPACIO POROSO. Es la porción del suelo no ocupada por partículas sólidas, los espacios porosos son ocupados por aire o agua.

ESTRATOVOLCAN. Es una gran edificación volcánica, conocido como volcán poligenético y compuesto. Son formados por repetidas erupciones de magma.

ESTRUCTURA DEL SUELO. Es el arreglo que guardan las partículas del suelo.

EVAPORACION. Fase del proceso físico, por el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso, retornando a la atmósfera en forma de vapor.

EVAPORIMETROS Y EVAPOROMETROS. Instrumentos para medir la evaporación; consisten en tanques de diferente tamaño en donde se deposita agua hasta un nivel base, la evaporación se mide en diferentes intervalos de tiempo en que se registra la altura del nivel del agua.

EVAPOTRANSPIRACION. Es el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor. Se considera la cantidad máxima posible de agua que se perdería en el suelo por evaporación y transpiración, si este estuviera saturado de humedad.

EVAPOTRANSPIRACION REAL O HIDROLOGICA. Es la que realmente ocurre, no se puede medir.

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL O METEOROLOGICA. Es la que se puede medir a través de diferentes métodos empíricos.

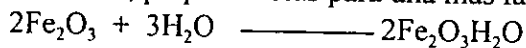
FAO-UNESCO. La Organización Mundial de la Alimentación y la Agricultura (FAO-UNESCO), organismo dependiente de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1961 intenta homogeneizar los términos edáficos de las diferentes clasificaciones en una propia. La clasificación de la FAO designa nombres que provienen de raíces griegas, latinas, rusas y japonesas. En ella existen 26 Unidades principales (se representan con una letra mayúscula y el nombre subrayado), divididas en subunidades (representadas por medio de una letra minúscula) a partir de características menores. En el caso de México sólo se encuentran 25 unidades, las cuales se dividen en 98 subunidades.

FELDESPATOS. Están formados por aluminosilicatos con base de K, Na y Ca. En promedio ocupan el 60% de la corteza terrestre, por intemperismo químico forma arcillas.

GEOMORFOLOGIA. Etimológicamente proviene de los vocablos griegos:

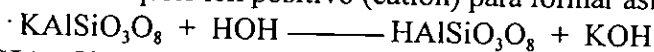
γηος - tierra, μορφο - forma y λογος - estudio, es el estudio de la forma de la tierra. Es la ciencia que se encarga de estudiar al relieve desde el punto de vista de su forma, origen y cómo evoluciona a través del tiempo; para su estudio se apoya de la morfografía (comparación de las formas del relieve con figuras geométricas), morfometría (medición de las diferentes dimensiones del relieve) y de la morfodinámica (evolución de la forma del relieve).

HIDRATACION. Es el proceso más común que se encarga de descomponer a las rocas, ataca químicamente a la rocas, preparándolas para una más fácil descomposición. Por ejemplo:



Se le considera la entrada o puente a la hidrólisis.

HIDROLISIS. En este proceso el hidrógeno del agua (H_2O) reacciona muy fácilmente y tiende a intercambiarse con cualquier ion positivo (catión) para formar así un nuevo compuesto. Por ejemplo:



HIDROLOGIA. Ciencia que estudia el ciclo del agua en la naturaleza, su circulación en la superficie y el subsuelo, considerando sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

HUMEDECIMIENTO Y SECADO. Este proceso ocurre cuando el agua que precipita moja la superficie de las rocas, aunque es minúsculo, origina pequeñas dilataciones que con el tiempo contribuyen al agrietamiento de la roca, se le considera una pseudohidratación.

HUMUS. Son restos de materia orgánica, que persisten después que la mayor parte de los restos de plantas y animales han sido descompuestos.

INFILTRACION. Es el paso del agua de la superficie al interior del suelo. Alimenta a los mantos de agua subterráneos y a las plantas.

ILUVIACION. Es la depositación de material del suelo de un horizonte superior a uno inferior.

JAGUEYES. Se le llama jagüey a pequeñas depresiones cavadas por el hombre, cuya finalidad es almacenar agua.

LIXIVIACION. Este término es igual a la eluviación.

LOMA. Estructura con una pequeña y prolongada altura en el terreno, cuyas elevaciones se encuentran entre los 100 y 150 metros de altura.

MESA o MESETA. Elevación aislada tubular de superficie plana y pendientes escarpadas. Es conocida como meseta de lava y consiste en numerosas coladas de lava, las cuales fueron eyectadas en diversas épocas, alternan con lechos de ceniza volcánica y lava intemperizada. Se produce por repetidas erupciones en fisura.

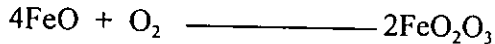
MICAS. Son aluminosilicatos esencialmente de K, Mg y Fe. Se intemperizan aún más fácil, formando minerales de arcilla; en los suelos se conocen por su brillo.

MORFOMETRIA. Etimológicamente proviene de los vocablos griegos:

μορφο - forma y μετρηα - medida, es la medición del relieve terrestre.

NIVEL BASE. Es la parte más baja hasta donde el agua en escorrentía puede llegar, el nivel base principal lo ocupa la parte superficial del mar (nivel del mar); también se considera nivel base la parte más baja de valles y planicies en donde el agua se puede acumular y formar lagos y lagunas. Parte más baja en donde la erosión deposita los materiales acarreados.

OXIDACION. El oxígeno (O^2) es un elemento sumamente activo que fácilmente se combina con otros elementos en condiciones de saturación de O^2 y buena aireación. Este es el proceso más común de la intemperización. Una de las reacciones que más fácilmente ocurre es la oxidación del Fe al estado férrico.



OXIDOS DE FE. La mayoría de los óxidos de Fe se forman a través del intemperismo químico, dando coloración rojiza o amarilla a los minerales. Algunos ejemplos de óxidos son la hematita (Fe_2O_3), la limonita ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ o $FeO \cdot nH_2O$), la magnetita (Fe_3O_4) y la gohetita $FeO(OH)$.

PEDESTAL. Se forma cuando el suelo es protegido por material resistente (rocas, raíces, troncos, etc.) del impacto de las gotas de la lluvia. Se desarrollan lentamente a lo largo de varios años, por ellos se puede deducir el espesor del suelo erosionado.

PERCOLACION. Es el paso del agua a través del suelo hacia niveles inferiores.

PERMEABILIDAD. Es la cualidad del suelo o de sus horizontes, que se relaciona con la transmisión del agua.

PINACULOS. Son formas posteriores a las cárcavas, cuando estas escarban o retroceden, dejando rastros de lo que fue una pared de cárcava.

PLOTTS. Son áreas de 2 metros de ancho por 10 y 25 metros de largo con diferentes grados de inclinación. Los bordes son limitados por medio de una pequeña pared de lámina o madera, en la parte baja, es decir hacia donde escurre el agua, se adapta una pequeña tubería que drena a un depósito en donde se capta el agua y el sedimento.

PLUVIOMETRO. Aparato usado para medir la precipitación.

PODER EVAPORANTE. Capacidad que tiene la atmósfera para absorber agua.

PRECIPITACION. Es la caída de agua a la superficie terrestre en cualquiera de sus formas: líquida (lluvia y llovizna), sólida (granizo y nieve) e intermedia (rocío, escarcha y niebla). Se mide en milímetros.

REDUCCION. Este proceso es lo opuesto a la oxidación y se produce siempre que el oxígeno (O^2) es escaso o se encuentra en cantidades limitadas, el ambiente por lo general esta saturado de agua, lo que hace que la aireación sea deficiente.



REGOLITA. Es todo el material no consolidado que se encuentra sobre la roca madre.

ROCAS IGNEAS. Este grupo de rocas es el más abundante de la corteza terrestre. Las rocas ígneas se forman del enfriamiento y solidificación del magma volcánico. Si el enfriamiento se produce dentro de la corteza, a las rocas se les da la categoría de intrusivas; pero, si el magma sale a la superficie se le asigna el nombre de lava y todas las rocas que se formen de esta se les denomina rocas extrusivas. La principal diferencia entre rocas intrusivas y extrusivas son el tamaño de los cristales que las forman, las primeras forman cristales grandes (macrocristales) que se pueden ver a simple vista, debido a su enfriamiento relativamente lento; mientras que las segundas forman cristales diminutos (microcristales) que solo se aprecian con la ayuda del microscopio, la razón es que su enfriamiento fué más rápido, por lo que no se pudieron formar cristales grandes. Las rocas ígneas ácidas contienen más del 65% de SiO_2 en forma de silicatos o sílice (cuarzo), usualmente son

de colores claros. Las rocas ígneas básicas contienen menos del 50% de SiO_2 , estas son generalmente de color obscuro.

ROCAS METAMORFICAS. En estas rocas la composición, estructura y textura esta en función de los procesos de metamorfismo. Rocas preexistentes (ígneas o sedimentarias) por el contacto o cercanía del magma sufren una recristalización o cambio (metamorfosis del griego *μετα*-cambio y *μορφο*-forma, etimológicamente significa cambio de forma) producto de altas temperaturas y presión, dando origen a nuevos minerales.

ROCAS SEDIMENTARIAS. Se forman de la acumulación de materiales en medio acuático o aéreo, pueden estar consolidadas o no. Se clasifican en clásticas y precipitadas. Las rocas clásticas (fragmentadas) han sido formadas a través de medios físicos o mecánicos. Los sedimentos o fragmentos de las rocas ígneas intemperizadas son consolidados por el efecto de la presión y por la infiltración de material cementante. Los principales sedimentos de las rocas clásticas varían en tamaño, los principales agentes cementantes son la arcilla, óxido de Fe, sílice y CaCO_3 . Las rocas sedimentarias precipitadas han sido producidas por la precipitación química o bioquímica de iones en solución. Los precipitados bioquímicos fueron formados de restos de animales marinos.

SOLUCION. El agua es un solvente débil, pero cuando se combina con otros minerales produce ácidos capaces de desintegrar a la roca, cuando esto ocurre los minerales viajan junto con el líquido, hasta que se separan, y forman un nuevo cuerpo sólido.

TRANSPIRACION. Es la pérdida de agua a través de las plantas.

TEXTURA DEL SUELO. Se refiere al tamaño que tienen las partículas del suelo. Los tamaños más usuales son arena, limo y arcilla. A los suelos se les designa el nombre dependiendo la proporción de la parte dominante.

TIEMPO DE CONCENTRACION. Es el tiempo requerido por el agua que circula en la superficie de la cuenca para llegar desde cualquier lugar hasta el punto más bajo o salida de la cuenca.

USO ACTUAL DEL SUELO Se refiere a la utilización que se le este dando al terreno (agrícola, ganadero, silvícola, etc.) en un momento dado.

UTM. Siglas (en ingles) de la Cuadrícula Universal Transversa de Mercator, esta cuadrícula es ortogonal, es decir, sus 4 esquinas tiene 90° . Su origen parte del ecuador hacia los polos, por la esfericidad de la Tierra solo es recomendable hasta cierta latitud (45°) al deformarse con los paralelos.

VOLCAN. Estructura terrestre que se origina a partir de una abertura o grupos de aberturas próximos entre sí, a través de donde pasan gases calientes y materiales rocosos fundidos de la profundidad a la superficie. La erupción es determinada por desprendimiento de gases en el foco del volcán, causado por la pérdida de presión y temperatura. La lava emitida se solidifica dando origen a rocas volcánicas.

YESO. Se le representa como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Se forma a partir de la evaporación de agua saturada con sulfatos de calcio. Es un mineral que puede ser considerado primario o secundario.

BIBLIOGRAFIA

- AGUAYO CAMARGO, J. E., MARIN CORDOVA, S. y SANCHEZ DIAZ, F. 1989. "Evolución geológica de la Cuenca de México". *Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México*. pp. 25-41. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- ARELLANO, Marcos y ROJAS, M., Paulino. 1956. *Aves acuáticas migratorias en México*. México: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.
- ARRIGNON, Jacques. 1984. *Ecología y psicultura de aguas dulces*. Madrid: Mundi-Prensa.
- BAUER, Jaroslav. 1981. *Guía básica de minerales*. Barcelona: Omega.
- BECTOR BELTRAN, A. 1944. *Proyecto de Tecocomulco. Hidalgo*. Tesis Profesional, México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- BENNETT, Hugh Hammond. 1965. *Elementos de conservación del suelo*. México: Fondo de la Cultura Económica.
- BESOAIN, Eduardo. 1985. *Mineralogía de arcillas de suelos*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- BIRKLE, Peter; TORRES RODRIGUEZ, Vicente and GONZALEZ PARTIDA, Eduardo. 1995. "Effects of evapotranspiration on the water balance of the Valley of Mexico". *Geofísica Internacional*. Vol. 35. Núm. 1. pp. 63-73. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- BLANCO MACIAS, Gonzalo y RAMIREZ CERVANTES, Guillermo. 1966. *La conservación del suelo y agua en México*. México: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.
- BLOOM, A. L. 1974. *La superficie de la Tierra*. Barcelona: Omega.
- BOARDMAN, J. 1990. *Soil erosion on agricultural land*. London: Wiley & Sons.
- BROWN VILLALBA, Cecilia. 1982. *El Territorio Mexicano*. México: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- BUOL, S. W., HOLE, F. D. y McCRACKEN, R. J. 1981. *Génesis y clasificación de suelos*. México: Trillas.
- CABALLERO, Margarita; LOZANO, Socorro; ORTEGA, Beatriz; URRUTIA, Jaime and MACIAS, José Luis. 1999. "Environmental characteristics of Lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last 50,000 years". *Journal of Paleolimnology*. 22. pp. 399-411. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- CALIXTO CRUZ, Neftali. 1990. *El arroz y su cultivo en México*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- COMISION DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL. 1977. *Modificaciones al Sistema de Clasificación FAO-UNESCO. Una opción ante el problema de clasificación de suelos para México*. México: CETENAL - Secretaría de Programación y Presupuesto.
- COQUE, Roger. 1984. *Geomorfología*. Madrid: Alianza Editorial.
- CSERNA, Zoltan de. et al. 1987. *Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México*. México: Instituto de Geología, UNAM.
- CRUZ ZARATE, Mario. 1974. *Geografía de los aspectos económicos en el Estado de Hidalgo*. Tesis Profesional. México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- CHAVEZ LOMELI, M. 1981. *Implantación de estanques de policultivo en un medio rural, Tecocomulco, Hidalgo*. Tesis Profesional. México: Facultad de Ciencias, UNAM.
- CHAVEZ, Mónica. 1994. *El agua en el México antiguo*. México: Salvat Ciencia y Cultura.

- CHISCI, G. 1981. "Upland erosion: evaluation and measurement". *Erosion and sediment transport measurement*. Núm. 133. pp. 331-349. Wallingford, Oxfordshire: International Association of Hydrological Sciences.
- COMPTON, ROBERT R. 1983. *Geología de campo*. México: Pax-Mex.
- COQUE, Roger. 1984. *Geomorfología*. Madrid: Alianza Editorial.
- CUSTODIO G., Emilio y LLAMAS M., Manuel R. 1983. *Hidrología subterránea*. Barcelona: Omega.
- DAVIES, Bryan, EAGLE, David y FINNEY, Brian. 1987. *Manejo del suelo*. Buenos Aires: El Ateneo.
- DANIELS, Raymond B. 1992. *Soil geomorphology*. New York: John Wiley & Sons.
- DEAVING, J. A. and FOSTER, I. D. L. 1993. "Lake sediments and geomorphological processes: some thoughts". *Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs*. pp. 5-14. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- DE SOUZA, P., MUSY, A. and FORTE, E. 1996. *Dhydro: Graphic Environment for the study of Hydrological Basins*. Swedden: Swiss Federal Institute of Tecnology Laussane. Computer Assisted Teaching Laboratoty.
- DEL POZO IBÁÑEZ, Manuel. 1977. *La alfalfa, su cultivo y aprovechamiento*. Madrid: Mundi-Prensa.
- DELGADO GRANADOS, Hugo. 1993. "Late Cenozoic tectonics offshore western México and its relation to the structure and volcanic activity in the western Trans-Mexican Volcanic Belt". *Geofísica Internacional*. Vol. 32. Núm. 4. pp. 543-559. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- DEMANT, A. 1978. "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación". *Revista del Instituto de Geología*. Vol. 2. Núm. 2. pp: 172-187. México: Instituto de Geología, UNAM.
- DENOVO, A. y CHICARO, F. 1957. *Diccionario de geología y ciencias afines*. Madrid: Labor.
- DERREAU, M. 1981. *Geomorfología*. Barcelona: Ariel.
- ENCISO DE LA VEGA, Salvador. 1992. "Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la Cuenca de México". *Revista del Instituto de Geología*. Vol. 10. Núm. 1. pp: 26-36. México: Instituto de Geología. UNAM.
- FAULLKNER, Edward H. 1981. *La insensatez del agricultor. Erosión: un planteo ecológico*. Buenos Aires: El Ateneo.
- FITZPATRICK, E. A. 1996. *Introducción a la ciencia del suelo*. México: Trillas.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATION. 1985. *Soil map of the world. 1:5000 000. Revised legend World Soil Resources Report*. Roma: FAO-UNESCO.
- FOSTER, G. R. 1988. "Modeling soil erosion and sediment yield". *Soil erosion research methods*. pp. 97-117. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- FRIES, C. Jr. 1960. *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, Región central meridional de México*. México: Instituto de Geología, UNAM.
- GARCIA, Enriqueta. 1980. *Apuntes de climatología*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- GARCIA, Enriqueta. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- GARCIA, Enriqueta. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- GARCIA DE PEDRAZA, Lorenzo. 1989. *La sequía y el clima*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General de Estructuras Agrarias.

- GARCIA QUINTANA, Josefina y ROMERO GALVAN, José R. 1978. *México Tenochtitlan y su problemática lacustre*. México: Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM.
- GARCIA RUIZ, J. M. 1987. *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja*. Jaca: Instituto Pirenaico de Ecología.
- GUERRA PEÑA, Felipe. 1980. *Fotogeología*. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- GAVANDE, Sampat A. 1972. *Física de Suelos: Principios y Aplicaciones*. México: Limusa.
- GUZMAN ROJAS, T. 1979. *Aspectos etnozoogeográficos de la Cuenca de México*. México: UNAM.
- ESTEBANEZ ALVAREZ, José. 1974. *Cuenca: Estudio geográfico*. Madrid: Instituto de Geografía Aplicada.
- GRUPO DE CONSERVACION DEL SUELO Y EL AGUA. 1993. *Manejo y conservación del suelo y agua*. México: José Feliciano Ruiz Figueroa.
- HASENAKA, T and CARMICHAEL, I. S. E. 1985. "A compilation of location, size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field, central Mexico". *Geofísica Internacional*. Vol. 24. Núm. 4. pp. 577-607. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- HUDSON, Norman. 1982. *Conservación del suelo*. Barcelona: Reverté.
- HUIZAR ALVAREZ, Rafael *et al.* 1997. "Geophysical and hydrogeological characterization of the sub-basins of Apan and Tohac (Mexico basin)". *Geofísica Internacional*. Vol. 36. Núm. 4. pp. 217-233. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1987. *Síntesis geográfica de Estado de Hidalgo*. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1987. *Síntesis geográfica de Estado de Puebla*. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1989. *Guías para la interpretación de cartografía: Edafología*. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1991. *XI Censo general de población y vivienda 1990. Resultados definitivos. Hidalgo*. Tomos: I, II y III. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1991. *XI Censo general de población y vivienda 1990. Resultados definitivos. Tlaxcala*. Tomos: I a VII. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1991. *XI Censo general de población y vivienda 1990. Resultados definitivos. Tlaxcala*. Tomos: I y II. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1994. *Resultados del censo agrícola y ganadero*. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1996. *Conteo de población y vivienda 1995. Resultados definitivos. Tabulados básicos. Hidalgo*. Tomos: I y II. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1996. *Conteo de población y vivienda 1995. Resultados definitivos. Tabulados básicos. Puebla*. Tomos: I, II y III. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1996. *Conteo de población y vivienda 1995. Resultados definitivos. Tabulados básicos. Tlaxcala*. México: INEGI.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1997. *Anuario estadístico del Estado de Hidalgo*. México: INEGI - Gobierno de Estado.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1997. *Anuario estadístico del Estado de Puebla*. México: INEGI - Gobierno de Estado.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1997. *Anuario estadístico del Estado de Tlaxcala*. México: INEGI - Gobierno de Estado.
- JAUREGUI, Ernesto, W. Lauer y D. Klaus. 1977. "Estimación de la evaporación y la evapotranspiración potencial en la región central de México. *Revista de Recursos Hidráulicos*. Vol. 6. Núm. 1. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- JIMENEZ FERNANDEZ, E. 1996. *Guía ilustrada para determinar taxonómicamente las principales especies de aves acuáticas y terrestres de la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo*. Cuaderno 28. México: Taller de Fauna Silvestre y Acuática del Neoártico y Neotrópico, Laboratorio de Vertebrados Terrestres, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. - Sociedad Mexicana de Ornitología - Delegación en el Estado de Hidalgo, Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
- JIMENEZ FERNANDEZ, E. y JUAREZ LOPEZ, J. C. 1996. *La estación y el observatorio para el estudio de las aves residentes y migratorias del Neoártico en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo. y la lección para aprender las técnicas de captura y marcaje de las aves*. Cuaderno 24. México: Taller de Fauna Silvestre y Acuática del Neoártico y Neotrópico, Laboratorio de Vertebrados Terrestres, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. - Sociedad Mexicana de Ornitología - Delegación en el Estado de Hidalgo, Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
- JIMENEZ FERNANDEZ, E. y JUAREZ LOPEZ, J. C. 1996. *Instructivo para aprender las principales interacciones ecológicas en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo*. Cuaderno 25. México: Taller de Fauna Silvestre y Acuática del Neoártico y Neotrópico, Laboratorio de Vertebrados Terrestres, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. - Sociedad Mexicana de Ornitología - Delegación en el Estado de Hidalgo, Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
- JIMENEZ FERNANDEZ, E., JUAREZ LOPEZ, J. C. y CEDILLO ALVAREZ, Cuauhtemoc. 1997. *Guía para las expediciones del Taller de Fauna Silvestre y Acuática del Neoártico y Neotrópico a la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo. Relicto ecológico de la Cuenca de México*. Cuaderno 26. México: Taller de Fauna Silvestre y Acuática del Neoártico y Neotrópico, Laboratorio de Vertebrados Terrestres, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. - Sociedad Mexicana de Ornitología - Delegación en el Estado de Hidalgo, Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
- JOLY, Fernand. 1979. *La cartografía*. Barcelona: Ariel.
- JOLY, Fernand. 1988. *La cartografía*. Barcelona: Oikos-tau.
- JULIEN, Pierre Y. and FRENETTE, Marcel. 1986. "Scale effects in predicting soil erosion". *Drainage basin sedimentary delivery*. Núm. 159. pp. 253-259. Wallingford, Oxfordshire: International Association of Hydrological Sciences.
- JUSCA FRESA, Baudilio. 1979. *Patata: su cultivo*. Barcelona: Aedos.
- KENT MITCHELL, J. and BUBENZER, Gary D. 1980. "Soil loss estimation". *Soil erosion*. pp. 17-62. Chichester: KIRKBY, M. J., MORGAN, R. P. C. - John Wiley & Sons. Ltd.
- KIRKBY, M. J. y MORGAN, R. P. C. 1984. *Erosión del suelo*. México: Limusa.
- KLAGHOFER, E., SUMMER, W. and VILLENEUVE, J. P. 1992. "Some remarks on the determination of the sediment delivery ratio". *Erosion, debris flow and environment in*

- mountain regions*. Núm. 209. pp. 113-118. Wallingford, Oxfordshire: International Association of Hydrological Sciences.
- KOEPPEN, W. 1948. *Climatología*. México: Fondo de la Cultura Económica.
- LAFLEN, John M. 1988. "Water erosion control". *Handbook of Engineering in Agriculture*. Vol. II. Florida: R. H. Brown, P. E.; CRC Series in agriculture, A. A. Hanson.
- LAGARDE SOTO, R. 1992. *Estudio hidrogeológico de la Cuenca de Tecocomulco, Hidalgo*. Tesis profesional. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- LAL, R. 1988. "Soil erosion by wind and water: Problems and prospects". *Soil erosion research methods*. pp. 1-6. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- LENZ, Hans. 1991. *México Tenochtitlan, ciudad lacustre según relatos de sus cronistas*. México: Miguel Angel Porrúa.
- LOPEZ RAMOS, E. 1972. *Geología General*. Tomo 1. México: Ediciones Geología General - Secretaría de Educación Pública.
- LUGO HUBP, José I. 1981. "La disección del relieve en la porción centro oriental del Sistema Volcánico Transversal". *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 11. pp. 7-19. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- LUGO HUBP, José I. 1982. "La Geomorfología moderna y su importancia en los estudios del relieve mexicano". *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 12. pp. 7-20. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- LUGO HUBP, José I. 1984. *Geomorfología del sur de la Cuenca de México*. Serie Varia. Tomo 1. Núm. 8. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- LUGO HUBP, José I. 1988. *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- LUGO HUBP, José I. 1989. *La superficie de la Tierra. Un vistazo a un mundo cambiante*. México: La Ciencia desde México.
- LUGO HUBP, José I. 1989. "La geomorfología en México". *Ciencia y desarrollo*. Vol. XV. Núm. 87. pp. 69-80. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- LUGO HUBP, José I. 1990. "El relieve de la República Mexicana". *Revista del Instituto de Geología*. Vol. 9. Núm. 1. pp. 82-111. México: Instituto de Geología, UNAM.
- LUGO HUBP, José I., MOOSER, Federico, PEREZ VEGA, Azucena y ZAMORANO OROZCO, Juan J. 1994. "Geomorfología de la sierra de Santa Catarina, D. F., México". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 11. Núm. 1. pp. 43-52. México: Instituto de Geología, UNAM.
- LUGO HUBP, José I. y SALINAS MONTES, Araceli. 1996. "Geomorfología de la sierra de Guadalupe (al norte de la ciudad de México) y su relación con peligros naturales". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 13. Núm. 2. pp. 240-251. México: Instituto de Geología, UNAM.
- LUHR, J. F. y LAZAAR, P. 1985. "The southern Guadalajara volcanic chain, Jalisco, México". *Geofísica Internacional*. Vol. 24. Núm. 4. pp. 691-700. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- LYLES, Leon. 1988. "Wind erosion control". *Handbook of Engineering in Agriculture*. Vol. II. pp. 57-76. Florida: R. H. Brown, P. E.; CRC Series in agriculture, A. A. Hanson.
- MALPICA MARTINEZ, Jorge E. 1997. *Las artes de pesca que se practican en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo*. Cuaderno 29. México: Taller de Fauna Silvestre y Acuática del Neártico y Neotrópico, Laboratorio de Vertebrados Terrestres, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.

- MALTHUS, Thomas Robert. 1986. *Ensayo sobre el principio de la población*. México: Fondo de la Cultura Económica.
- MARGALEF, Ramón. 1977. *Ecología*. Barcelona: Omega.
- MARGALEF, Ramón. 1981. *Ecología*. Barcelona: Planeta.
- MARGALEF, Ramón. 1983. *Limnología*. Barcelona: Omega.
- MARTIN DEL POZO, A. L. *Monogenetic volcanis in Sierra Chichinautzin*. México: Boletín de Vulcanología.
- MARTINEZ LUNA, Víctor Manuel. 1999. "Los lagos y las lagunas, un enfoque hidrogeográfico general". *Notas*. Núm. 7. pp. 46-58. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- MARSAL, Raúl y MAZARI, Marcos. 1959. *El subsuelo de la Ciudad de México*. Vol. 1. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- MEZA SANCHEZ, Magdalena y CERVANTES BORJA, Jorge F. 1981a. "Variaciones del impacto pluvial como base para inferir cambios climáticos en el norte de la Cuenca de México". *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 11. pp. 105-118. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- MEZA SANCHEZ, Magdalena y CERVANTES BORJA, Jorge F. 1981b. "Variaciones del impacto pluvial como base para inferir cambios climáticos en el sur de la Cuenca de México". *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 11. pp. 93-104. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- MESSIAEN, C. M. 1979. *Las hortalizas*. México: Blume.
- MESSMACHER, M. 1979. *La Ciudad de México: Pasado, Presente y Futuro*. México: Departamento de Distrito Federal.
- MILLER AUSTIN, A. 1982. *Climatología*. Barcelona: Omega.
- MILLER, Raymond W. and GARDINER, Duane T. 1998. *Soil in our Environmet*. New Jersey: Prentice Hall.
- MOLINA CANO, José Luis. 1989. *La cebada*. Madrid: Mundi-Prensa.
- MOOSER, Federico. 1975. *Historia Geológica de la Cuenca de México: in Memoria de las Obras del Sistema de drenaje profundo del Distrito Federal*. México: Departamento del Distrito Federal.
- MOOSER, Federico y MONTIEL Arturo. 1989. "El relleno post-Chichinautzin del Valle de México y su relación con la intensidad sísmica". *Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México*. pp. 55-60. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- MOOSER, Federico. 1990. "Estratigrafía y estructura del Valle de México". *El subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo*. pp. 29-36. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- MOOSER, Federico, MONTIEL, Arturo y ZUÑIGA, Angel. 1996. *Nuevo mapa geológico de la cuenca de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, Tectónica Regional y Aspectos geotérmicos*. México: Comisión Federal de Electricidad 1937-1996.
- MOTTANA, Annibale, CRESPI, Rodolfo y LIBORIO, Giuseppe. 1980. *Guía de minerales y rocas*. Barcelona: Grijalbo.
- NAVA C., Roberto, ARMIJO T., Roberto y GASTO C., Juan. 1996. *Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre*. México: Trillas.
- NEGENDANK, J. F. W. et al. 1985. "Geological and geochemical investigations on the eastern trans mexican volcanic belt". *Geofísica Internacional*. Vol. 24. Núm. 4. pp. 477-575. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- ONDARZA, Raúl N. 1990. *El impacto del hombre sobre la tierra*. México: Trillas.

- ORGANIZACIÓN PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 1967. *La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma: FAO-ONU.
- ORTIZ VILLANUEVA, B. y ORTIZ SOLORIO, C. A. 1984. *Edafología*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- OWEN, Oliver. S., CHIRAS, Daniel D. and REGANOLD, John P. 1998. *Natural Resource Conservation*. New Jersey: Prentice Hall.
- PARK, R. G. 1988. *Geological structures and moving plates*. Glasgow: Blackie & Son, Ltd.
- PEARSON HUGHES, G. et al. 1990. *Explotación de pastos*. Zaragoza: Acribia.
- POLAK, B. G. et al. 1985. "First estimations of terrestrial heat flow in the TMVB and adyacent areas based on isotopic composition of natural helium". *Geofísica Internacional*. Vol. 24. Núm. 4. pp. 465-476. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- READING, H. G. 1991. *Sedimentary environments and facies*. Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- REMENIERAS, G. 1974. *Tratado de hidrología aplicada*. Madrid: Editores Técnicos Asociados.
- RODRIGUEZ BLANCO, M. 1989. *Ciclo reproductivo y alimenticio de la rana montezumae bair 1854, lago de Tecocomulco, Hidalgo, México*. Tesis Profesional. México: Facultad de Ciencias, UNAM.
- RODRIGUEZ C., R. y OCHOA A., C. 1989. "Estudio geoelectrico del sistema acuifero de la Cuenca de México". *Geofísica Internacional*. Vol. 28. Núm. 2. pp. 191-205. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- ROSE, C. W. 1988. "Research progress on soil erosion processes and a basis for soil conservation practices". *Soil erosion research methods*. pp. 119-139. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- RZEDOWSKI, Jerzy. 1974. *Vegetación de México*. México: Limusa-Noriega.
- SALITCHEV, Konstantin A. 1981. *La cartografía*. La Habana: Pueblo y educación.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA. 1995. *Anuario estadístico de la producción agrícola en los Estados Unidos Mexicanos*. México: SAGAR.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1980. *La problemática de la erosión de suelos en el Estado de México*. Mexico: SARH-SAIMEX-Gobierno del Estado.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO y COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 1991. *Manual de Conservación de Suelo y Agua*. Mexico: SARH-SPP-Colegio de Postgraduados.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO y COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 1991. *Manual de Conservación de Suelo y Agua. Instructivo*. México: SARH-SPP-Colegio de Postgraduados.
- SCHWAB, Glenn O.; RICHARD, K. Frevert; TALCOTT, W. Edminster; KENNETH, K. Barnes. 1990. *Ingeniería de conservación de suelos y aguas*. México: Limusa.
- SCHWAB, Glenn O.; DELMAR, D. Fangmeier; WILLIAM, J. Elliot; RICHARD, K. Frevert. 1993. *Soil and water conservation engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- SCHWAB, Glenn O.; DELMAR, D. Fangmeier; WILLIAM, J. Elliot. 1996. *Soil and water management systems*. New York: John Wiley & Sons.
- SEGERSTROM, Kenneth. 1961. *Geología del SW del Estado de Hidalgo y del NE del Estado de México*. México: Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.

- SEMPERE TORRES, D., SALLES, C., CREUTIN, J. D. y DELRIEU, G. 1992. "Quantification of soil detachment by raindrop impact: performance of clasissical formulae of kinetic energy in Mediterranean storms". *Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins*. Núm. 210. pp: 115-124. Wallinford, Oxfodshire: International Association of Hydrological Sciences.
- SERRA PUCHE, Mari Carmen. 1990. "El pasado. ¿Una forma de acercarnos al futuro? 25 mil años de asentamientos en la Cuenca de México". *Problemas de la Cuenca de México*. pp: 3-28. México: El Colegio Nacional.
- SHELLEY, Richard C. 1976. *An introduction to sedimentology*. London: Academic Press.
- SKIDMORE, E. L. 1988. "Wind erosion". *Soil erosion research methods*. pp. 203-233. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- SOTO ROMERO, J. A. 1978. *Manejo de cuencas: Una solución al problema del desarrollo integrado*. Tesis Profesional. México: UNAM.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1981. "*Síntesis geográfica de Estado de Tlaxcala*". México: SPP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1982. *Geología de la República Mexicana*. México: SPP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1983. *X Censo general de población y vivienda 1980. Hidalgo*. Tomo 13. Vol. I. México: SPP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1983. *X Censo general de población y vivienda 1980. Puebla*. Tomo 21. Vol. I y II. México: SPP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1983. *X Censo general de población y vivienda 1980. Tlaxcala*. Tomo 29. Vol. I. México: SPP.
- SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1953. *Informe de labores realizadas del 1° de septiembre de 1952 al 31 de agosto de 1953*. México: SRH - Ingeniería Hidráulica.
- SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1964. *Hidrología de la Cuenca del Valle de México. Capítulo: Estudio Hidrológico de los lagos*. Tomo VI. México: SRH - Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1972. *Boletín Hidrológico número 24. Datos diarios del Valle de México correspondientes al año 1971*. México: SRH - Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- SPRINGALL, Rolando. 1969. *Drenaje de cuencas pequeñas*. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- SPRINGALL, Rolando. 1967. *Escurrimiento en cuencas grandes*. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- STALLINGS, J. H. 1979. *El suelo, su uso y mejoramiento*. México: Prentice Hall.
- STOCKING, M. A. 1988. "Assessing vegetative cover and management effects". *Soil erosion research methods*. pp. 163-185. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- STRAHLER, A. N. 1979. *Geografía física*. Barcelona: Omega.
- STRANDBERG, Carl H. 1975. *Manual de fotografía aérea*. Barcelona: Omega.
- SUAREZ FERNANDEZ, S. 1947. *Cortina de la Presa Tecocomulco*. Tesis profesional. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- SUBSECRETARIA FORESTAL Y DE LA FAUNA. 1970. *Manual para el uso de fotografías aéreas en Dasonomía*. México: Dirección General del Inventario Nacional Forestal.
- TAMAYO, Jorge L. 1946. *Datos para la hidrología de la República Mexicana*. México: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

- THORNBURY, William D. 1962. *Principles of geomorphology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- TRICART, Jean. 1969. *La epidermis de la Tierra*. Barcelona: Labor S. A.
- TRICART, Jean. 1985. *Los lagos del Eje Neovolcánico de México*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- TROECH, Frederick. R. 1991. *Soil and water conservation*. New Jersey: Prentice-Hall.
- TYLER MILLER, G. 1985. *Ecología y Medio Ambiente*. México: Iberoamérica.
- URRUTIA, J. y CASTILLO, L., del. 1977. *Un modelo del Eje Volcánico Mexicano*. Vol. 38. México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.
- VAZQUEZ SANCHEZ, E. y JAIMES PALOMERA, L.R. 1989. "Geología de la Cuenca de México". *Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México*. pp.1-24. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- VENEGAS SALGADO, S., HERRERA FRANCO, J. J. y MACIEL FLORES, R. 1985. "Algunas características de la faja volcánica mexicana y sus recursos geotérmicos". *Geofísica Internacional*. Vol. 24. Núm. 4. pp. 465-476. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- VERMA, S. P. y ARMIENTA, M. A. 1985. "⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, alkali and alkaline earth element geochemistry of Chichinautzin Sierra, México". *Geofísica Internacional*. Vol. 24. Núm. 4. pp. 665-678. México: Instituto de Geofísica, UNAM.
- WAGNER, Helmuth O. y LENZ, Hans. 1989. *El bosque y la conservación del suelo. Su importancia social y económica*. México: Miguel Angel Porrúa.
- WALLING, D. E. 1988. "Measuring sediment yield from river basins". *Soil erosion research methods*. pp. 39-73. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- WILLIAMS, Howel, TURNER, Francis J. y GILBERT, Charles M. 1968. *Petrología*. México: Compañía Editorial Continental.
- WILSON, S. J. and COOKE, R. U. 1980. "Wind erosion". *Soil erosion*. pp. 217-251. Chichester: KIRKBY, M. J., MORGAN, R. P. C. - John Wiley & Sons, Ltd.
- ZACHAR, Dusan. 1982. *Soil erosion*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.

CARTOGRAFIA

- COMISION DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL. 1975. *Carta Geológica*. 1:50 000. *Ciudad Sahagún*, E14-B12. México: CETENAL.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1990. *Carta Geológica*. 1:50 000. *Tlaxco*, E14-B23. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1992. *Carta Topográfica*. 1:250 000. *Ciudad de México*, E14-2. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1995. *Espaciomapa*. 1:250 000. *Ciudad de México*, E14-2. México: INEGI - National Aeronautics and Space Administration, EOSAT, Inc.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1996. *Carta Topográfica*. 1:50 000. *Chignahuapan*, E14-B13. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1996. *Carta Topográfica*. 1:50 000. *Ciudad Sahagún*. E14-B12. México: INEGI.
- LEDEZMA GUERRERO, Odilón. 1987. *Hoja Calpulalpan*. Serie de 1: 1 000 000. 14Q-h(3). Con resumen de la Geología de la Hoja Calpulalpan, Estados de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo. México: Instituto de Geología, UNAM.
- LUGO HUPB, José I. *et al.* 1990. "Carta Morfometría, Mapa B: Disección del relieve, porción central del Cinturón Volcánico Mexicano". 1: 1 000 000. IV.3.2. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Naturaleza IV. México: Instituto de Geografía UNAM.
- LUGO HUPB, José I. y CORDOVA FERNANDEZ DE ARTEAGA, Carlos. 1990. "Carta Geomorfología 2, Provincias y Regiones Geomorfológicas". 1: 12 000 000. IV.3.4. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Naturaleza IV. México: Instituto de Geografía UNAM.
- MADEREY RASCON, Laura E. 1990. "Carta Evapotranspiración Real". 1: 4 000 000. IV.6.6. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Naturaleza IV. México: Instituto de Geografía UNAM.
- RAISZ, Erwin. 1959. *Landforms of Mexico*. 1: 3 000 000. Con texto. Cambridge, Mass.: Geography Branch of the Office on Naval Research.
- SCHLAEPFER, J. Carmen. 1968. *Hoja México*. Serie de 1:100 000. 14Q-h(5). Con resumen de la Geología de la Hoja México, Distrito Federal y Estados de México y Morelos. México: Instituto de Geología, UNAM.
- SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL. 1962. *Carta Topográfica*. 1:100 000. *Ciudad Sahagún*, 14Q-h(3). México: SEDENA.
- SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA. 1970. *Carta de Climas*. 1:500 000. *Veracruz*, 14Q-VI. México: SP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1983. *Carta Uso de Suelo y Vegetación*. 1:50 000. *Ciudad Sahagún*, E14-B12. México SPP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1983. *Carta Edafológica*. 1:50 000. *Tlaxco*, E14-B23. México: SPP.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1984. *Carta Edafológica*. 1:50 000. *Chignahuapan*, E14-B13. México: SPP.



FOTOS AEREAS

Vuelo 19 A, R 1, 1:50 000, 1971.

Líneas: 2 fotos 10-19.

3 fotos 16-26.

4 fotos 8-17.

5 fotos 16-26.

6 fotos 7-11.