

15



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

ANALISIS HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA DE TEPEJI DEL RIO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

DACIA OBISPO GONZALEZ

296053

DIRECTOR: ING. HECTOR L. MACIAS GONZALEZ

MEXICO, D.F.,

2001





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



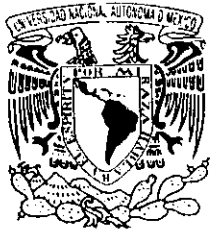
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-800

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

SRITA. DACIA OBISPO GONZALEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luis Macías González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

ANALISIS HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO TEPEJI

- I INTRODUCCION**
- II GENERALIDADES**
- III CLIMATOLOGIA**
- IV GEOLOGIA**
- V HIDROGEOLOGIA**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 14 de junio de 2001

EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

A mis padres

A Edna:

Espero que este trabajo te sirva de estímulo para que logres tus objetivos

A mis familiares

Agradecimientos

Se agradece a la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua, por el apoyo recibido para la elaboración de esta tesis.

También un gran agradecimiento al Ing. Héctor Luis Macías González por sus valiosos comentarios.

Gracias a los sinodales que asesoraron este trabajo.

Al Ing. Benjamín Márquez Castañeda por su constancia e interés, que siempre demuestra para con sus alumnos.

A las siguientes personas por su valiosa ayuda técnica al Sr. Alberto Herrera Palomo en la descripción de muestras de rocas y a Luis Alberto Gallardo Carreto por su ayuda en el manejo del programa Autocad.

Por su amistad a Zaira Serrato, Félix Díaz, Antonio Cervantes, Alberto Palomo, Edgar Angeles, Cuauhtémoc Durán y demás amigos.

A la Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE

ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA
DE TEPEJI DEL RÍO

1.-INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Actividades realizadas	1
1.4 Trabajos previos	2
2.-GENERALIDADES	3
2.1 Localización	3
2.1.1 Extensión, largo y ancho máximos	3
2.1.2 Forma	3
2.2 Vías de comunicación	4
2.3 Población y actividad económica	5
3.-CLIMATOLOGÍA	7
3.1 Región hidrológica	7
3.2 Cuenca	11
3.3 Precipitación media	11
3.4 Temperatura media anual	13
3.5 Evaporación	16
3.6 Transpiración	17
3.7 Evapotranspiración	18
3.7.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Blaney y Criddle	20
3.7.2 Cálculo de la evapotranspiración real media anual con la fórmula de L. Turc	23
3.8 Escurrimiento	24
3.8.1 Coeficiente de escurrimiento	25
3.9 Balance hidrológico	27
3.9.1 Cuenca alta	27
3.9.2 Cuenca baja	27
4.-GEOLOGÍA	28
4.1 Geología regional	28
4.2 Fisiografía	28
4.3 Geomorfología	31
4.4 Estratigrafía	32
4.5 Geología histórica	40
5.-HIDROGEOLOGÍA	43
5.1 Provincia hidrogeológica	43
5.2 Unidades hidrogeológicas	45

5.2.1 Infiltración	46
5.3 Aprovechamientos de agua subterránea	48
5.4 Posición de los niveles del agua subterránea	48
5.5 Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico	48
5.6 Calidad del agua superficial	49
5.6.1 Índice de calidad del agua	49
5.6.2 Clasificación de los cuerpos de agua	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	57

ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.-Localización del área	entre 3 y 4
2.-Vías de comunicación	entre 4 y 5
3.-Región hidrológica	entre 7 y 8
4.-Pluviógrafo	12
5.-Evaporímetro	17
6.-Provincias Fisiográficas	30

FOTOGRAFÍAS

1.-Vista parcial presa Taxhimay	9
2.-Panorámica del embalse de la presa Requena	11
3.-Estación climatológica	13
4.-Panorámica que muestra el afloramiento de la andesita aguas abajo de la presa Taxhimay	33
5.-Intercalaciones de tobas vítreas híbridas, tobas vítreas, pumicita y fragmentos de roca	35
6.-Vista del afloramiento de la Formación Tarango	36
7.-Vista del basalto cuaternario	37
8.-En la imagen se puede apreciar los prismas a mayor detalle de este basalto	38
9.-Vista del aluvión	40

CARTAS

1.-Topografía	entre 4 y 5
2.-División de las subcuencas	entre 7 y 8
3.-Estaciones climatológicas	entre 11 y 12
4.-Estaciones hidrométricas	entre 25 y 26
5.-Geología	entre 42 y 43
6.-Aprovechamientos	entre 48 y 49

TABLAS

1.-Censo de población	6
2.-Estaciones climatológicas y resumen de datos	15
3.-Valores de P	21
4.-Valores de K	21
5.-Evapotranspiración potencial	22
6.-Resumen evapotranspiración real media anual de la cuenca	24
7.-Características de la cuenca para determinar el Ce	26
8.-Columna estratigráfica	entre 42 y 43
9.-Unidades hidrogeológicas	47
10-A y 10-B -Resumen de aprovechamientos de agua subterránea	48
11.-Coeficientes de ponderación del ICA	51
12.-Clasificación de calidad de agua en las estaciones de monitoreo	53
13.-Contaminantes principales	53
14.-Clasificación de cuerpos de agua	54

1.-INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La cuenca hidrográfica del río Tepeji se localiza en la porción centro-norte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, que atraviesa la República Mexicana de este a oeste por el centro del país, y se encuentra limitado al norte por la altiplanicie mexicana, al sur por la cuenca del Balsas-Mexcala, al oriente por la Sierra Madre Oriental y al occidente por la Sierra Madre Occidental.

Según criterio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1968.Tomo 2), la cuenca del río Tepeji la divide en dos subcuencas, la cuenca alta que corresponde a la captación de los escurrimientos que reconocen como nivel de base local a la presa Taxhimay en el cual el principal dren es el río San Jerónimo y la cuenca baja que está representada por la superficie que capta los escurrimientos controlados por la presa Requena en donde varios ríos se unen para formar el río Tepeji, el cual llega a dicha presa. Ambas presas se construyeron con el objetivo de riego.

Con el objeto de estudiar a la cuenca del río Tepeji se dibujó el parteaguas hidrográfico correspondiente a la zona geográfica ubicada en las cartas de Detenal : E14-A18, E14-A19, E14-A28 y E14-A29, posteriormente se dibujó utilizando el programa Autocad 14 para facilitar el manejo de la cartografía base.

1.2 Objetivos

El estudio tiene como objetivo principal conocer las características hidrogeológicas de la cuenca del río Tepeji y estimar con la información disponible un balance hidrometeorológico.

Otro objetivo muy importante es aplicar los conocimientos geológicos en la solución de problemas reales.

1.3 Actividades realizadas

-Recopilación de información de aprovechamientos existentes en la zona para definir las condiciones actuales de explotación del agua subterránea.

-Se identificaron las diferentes unidades litológicas y se determinaron sus características geohidrológicas.

1.4 Trabajos previos

Los trabajos realizados con anterioridad en la zona son los siguientes:

Interpretación de los elementos climáticos en la evolución morfológica de la cuenca baja del Río Tepeji, Meza Sánchez, Magdalena (1976).Tesis Lic. UNAM

Análisis de los procesos geomorfológicos en la cuenca alta del río Tepeji; Hgo., Oropeza Orozco, Oralia (1976). Tesis Lic. UNAM

La geomorfología de la zona de Tepeji del Río, Hgo., Huizar Álvarez Rafael (1981). Tesis Maestría. UNAM

Estudio de fotointerpretación geohidrológica en la zona de Villa del Carbón-San Bartolo Morelos, Edo. México., Contrato No. AHG24-83-4-FG (1984). SARH

Estudio fotogeológico de la zona Chapa de Mota-Jilotzingo Edo. de México. Dirección General de programas de Infraestructura Hidráulica. Diciembre de 1981. SARH

Estudio hidrogeográfico de la cuenca alta del Río Tepeji, Edo. Méx. Las subcuencas vertientes a la presa Taxhimay, Hormiga Sánchez, Martha Yaneth (1999). Tesis Lic. UNAM

2.-GENERALIDADES

2.1 Localización

La zona de estudio se encuentra ubicada entre dos estados, el estado de México y el estado de Hidalgo siendo sus coordenadas 19°58' y 19°35' de latitud norte y 99°16' y 99°34' de longitud oeste a una altitud de 2175 metros sobre el nivel del mar. El 85% de la zona pertenece a la parte noreste del estado de México y un 15% al sureste del estado de Hidalgo (Figura1).

El área de estudio limita al este con la Cuenca de México, lo que hace suponer que entre ellas existe una correlación genética, de las características estructurales y litológicas comunes, pues pertenecen a un vasto complejo volcánico del Terciario Medio (Neógeno), de composición petrográfica muy variada, formada por la base de la sierra de las Cruces y Tepetzotlán (Ramos,1984).

2.1.1 Extensión, largo y ancho máximos

Las sierras que sirven de límite a la cuenca del río Tepeji son: por el sur y oeste, las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, por el centro oeste la sierra Las Masas, al noroeste la sierra de Jilotepec y hacia el este la sierra La Muerta.

La superficie del área es de 759 Km² y su perímetro de 134.6 Km.

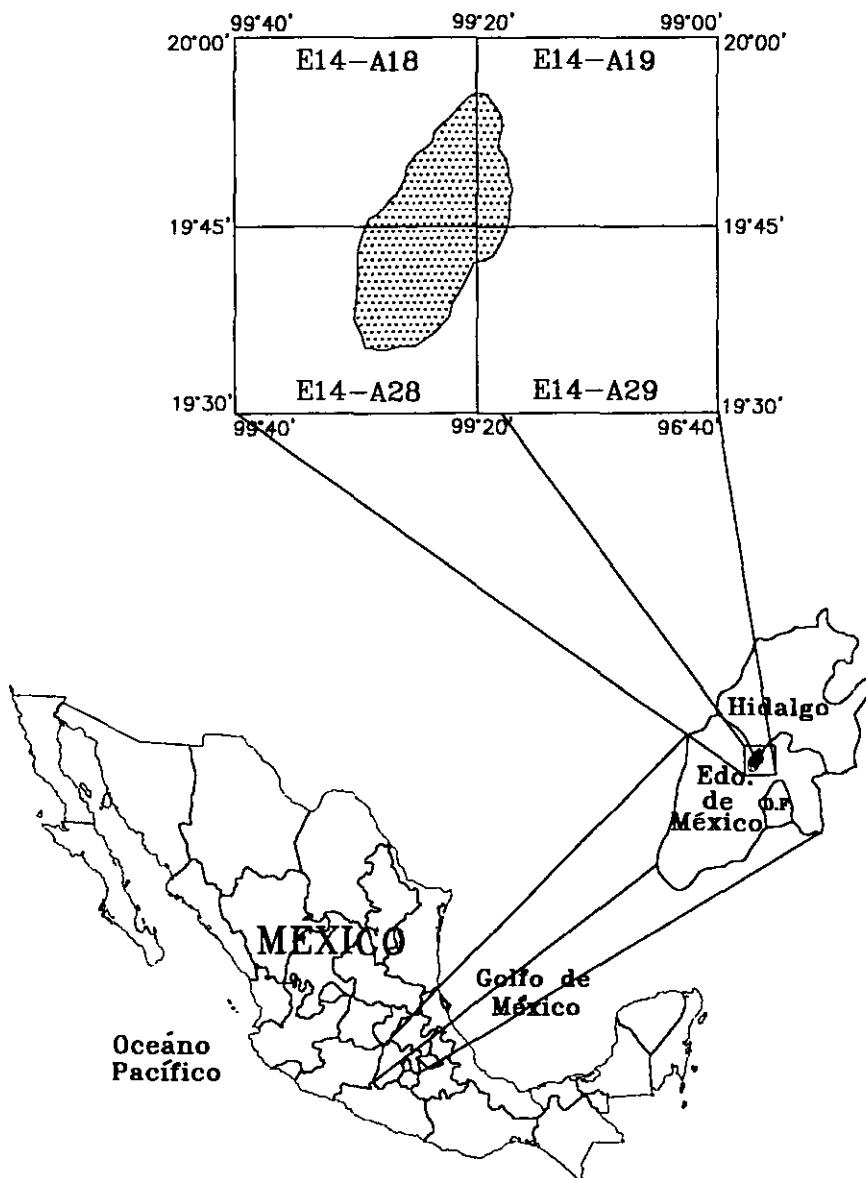
Para conocer el largo de la región de estudio se trazó una línea recta desde el cerro los Potrerillos, el lugar más alejado y alto ubicado en el extremo sur hasta el lugar más bajo ubicado en el extremo norte de la presa Requena dando como resultado 48.2 Km.

Para conocer el ancho de la región se trazó una línea recta desde el punto más alejado hacia el noroeste hasta el punto mas alejado hacia el sureste. Dando como resultado 28.3 Km.

En resumen se puede decir que la cuenca del río Tepeji, posee de largo 48.2 Km. y de ancho 28.3 Km lo que explica su forma alargada (Carta 1).

2.1.2 Forma

La forma de una cuenca es la configuración geométrica tal como está proyectada sobre un plano horizontal. Afecta directamente su tiempo de respuesta, es decir el tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje y por consiguiente el coeficiente de compacidad nos indica su forma.



**Facultad de Ingeniería
UNAM**

**Análisis Hidrogeológico de la
Cuenca del Río Tepeji**

Localización del área

Tesis Profesional

Dacia Obispo González

Figura 1

La fórmula de Gravelius es un índice numérico que relaciona el perímetro de la cuenca, con el de la circunferencia de un círculo de igual área que la de aquella. Compara el valor mínimo que se obtiene, que es la unidad, con el índice de la cuenca, si esta resulta mayor que la unidad, será menos parecida a un círculo (Strahler, 1974).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

donde:

K_c = es el coeficiente de compacidad

P = perímetro de la cuenca

A = área de la cuenca

Sustituyendo los valores antes mencionados se tiene:

$$K_c = 0.28 \frac{(134.6)}{\sqrt{759}} = 1.37$$

Como puede verse el resultado indica que la cuenca presenta una forma alargada. Lo anterior implica que pueden ocurrir retardos en los volúmenes de escurimientos o bien tienden a ser más uniformes.

2.2 Vías de comunicación

Tepeji del Río cuenta con 92.4 Km de carretera federal 15 Km. de carretera estatal, 6 Km. de camino rural revestido, 2 Km de camino de terracería y 10 Km de vía férrea la cual está en desuso.

El área está comunicada por una carretera de primer orden y una extensa red de caminos vecinales. Los principales accesos a la zona, son a través de las autopistas México-Toluca-Ixtlahuaca (No.55) y México-Querétaro (No.57), de la cual se desprende un ramal a la altura de la Ciudad de Tlalnepantla que va hasta Villa del Carbón de ahí se desprende la carretera No.13, que va a Chapa de Mota, población ubicada al noroeste de la cuenca.

Existen caminos vecinales que van al Chorro, Loma Alta, San Martín, Cachihuapan, San Luis Anáhuac, Monte de Peña, Los Arana, La Esperanza, Llano de Zacapexco, La Cañada y San Luis Taxhimay (Figura 2).

Cabe mencionar que PEMEX tiene un gasoducto que atraviesa la zona y es paralelo a la carretera No. 57.

99°25'

99°20'


99°15'


SIMBOLOGÍA

Pobladós 

Camino 

Curvas de nivel 
(Equidistancia entre curvas 100m.)

Cuerpos de agua 

Límite estatal 

Manantial 



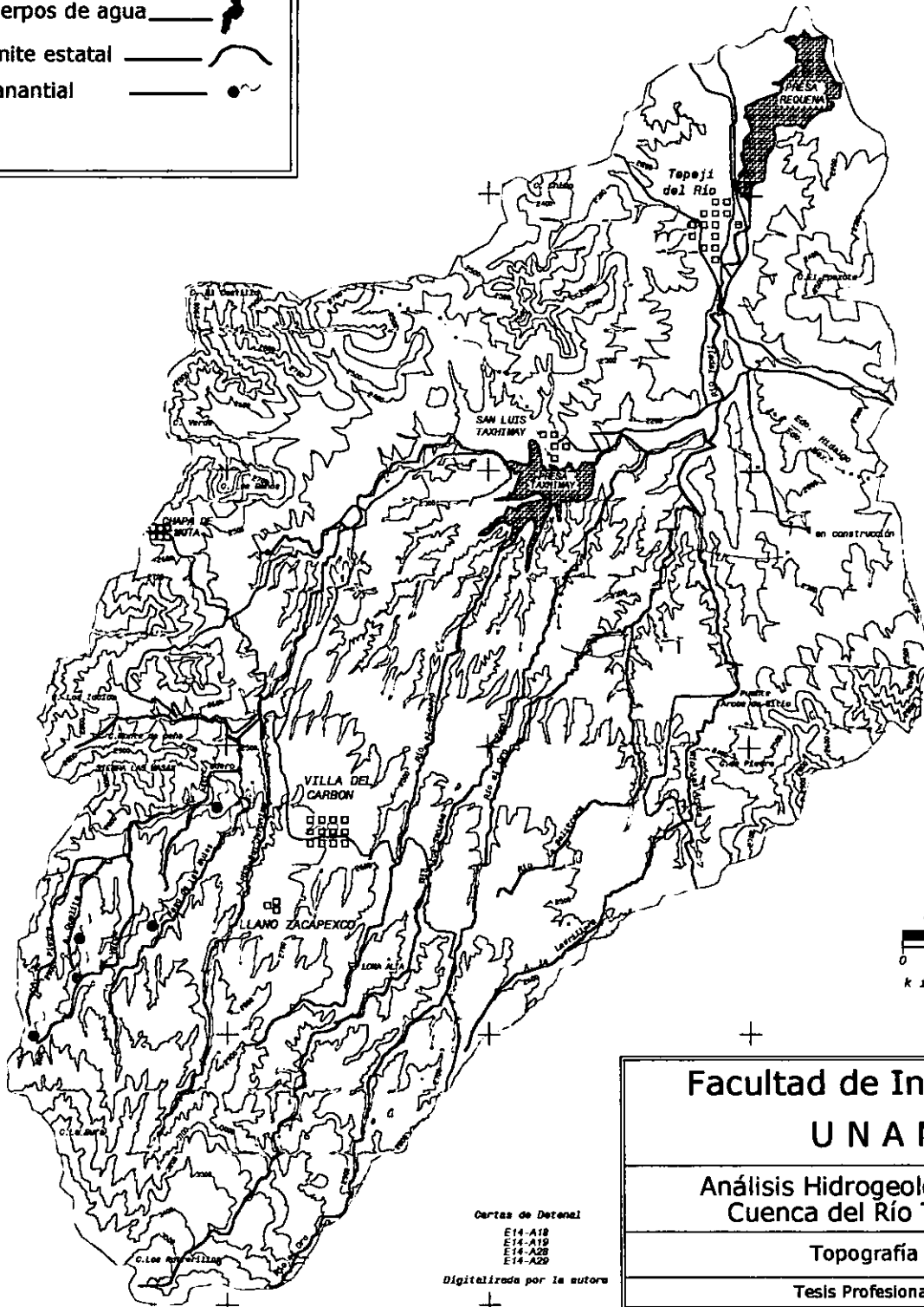
19°00'

19°05'

19°10'

19°15'

19°20'



Facultad de Ingeniería
UNAM

Análisis Hidrogeológico de la
Cuenca del Río Tepeji

Topografía

Tesis Profesional

Decia Obispo González

Carta 1

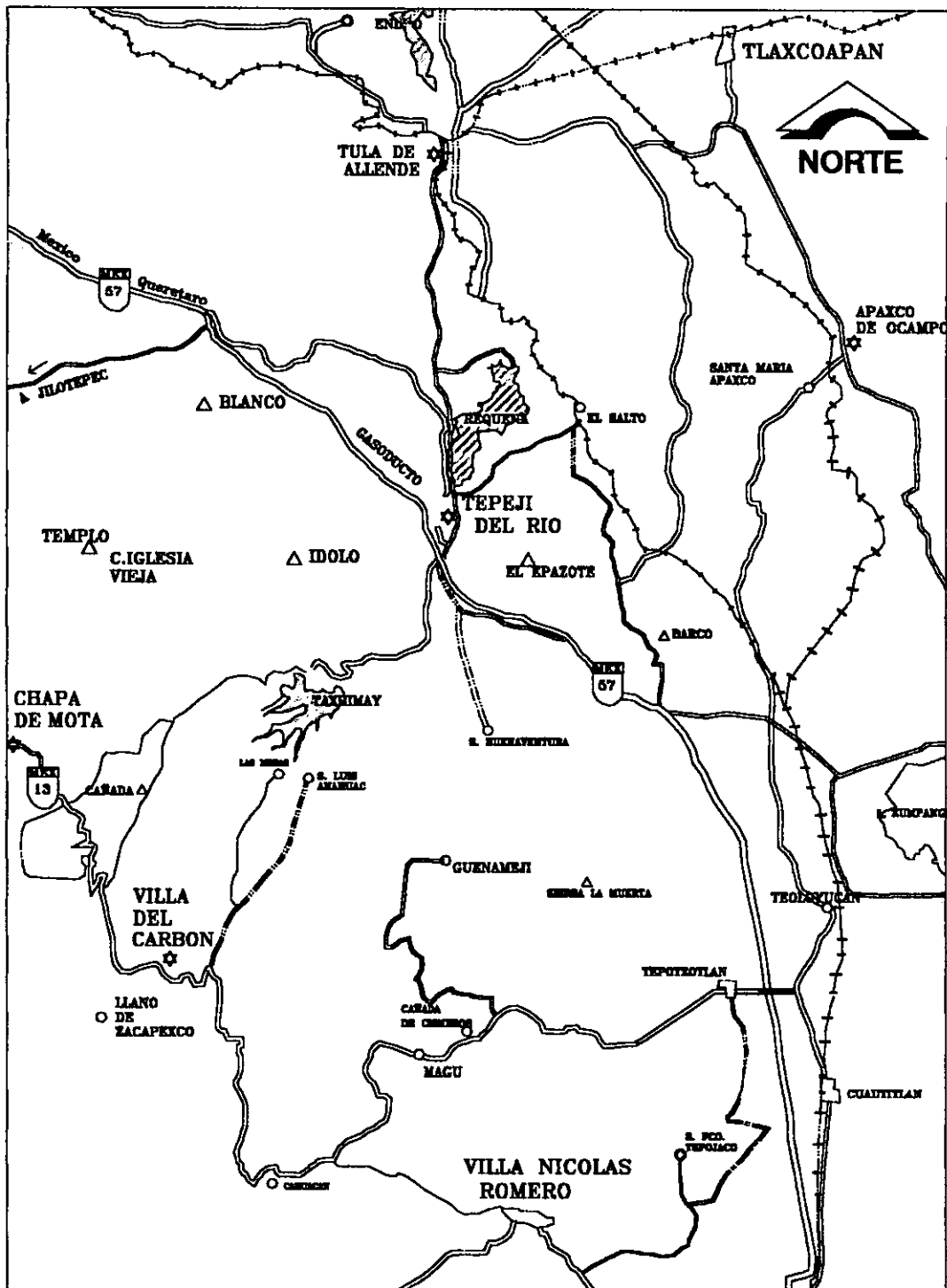
Cartas de Detonal
E14-A18
E14-A19
E14-A20
E14-A21

Digitizada por la autora

99°35'

99°30'

99°25'



Simbología	
☆	Municipio
⬢	Carretera federal
△	Elevaciones
—+—+—+—	Vía del tren
⬭	Cuerpos de agua
—	Terracería



Facultad de Ingeniería U N A M	
Análisis Hidrogeológico de la Cuenca del Río Tepeji	
Vías de comunicación	
Tesis Profesional	
Dacia Obispo González	Figura 2

2.3 Población y Actividad Económica

Dentro del área de estudio se encuentran 3 municipios los cuales son los siguientes:

Estado	Municipio	Cabecera Municipal
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	Tepeji de Ocampo
México	Villa del Carbón	Villa del Carbón
México	Chapa de Mota	Chapa de Mota

Municipio de Tepeji del Río de Ocampo

Pertenece a la región Tula-Tepeji integrada por 10 poblados. Los centros de poblados del municipio son la cabecera municipal, tres cabeceras de subsistemas y 17 localidades menores. Las principales comunidades son Santa María Quelites, San Ignacio Nopala, Santa Ana Atzacapozalco y Santa María Magdalena.

La población total del municipio, en el año 2000, según el Consejo Nacional de Población fue de 67,573 habitantes, la tasa de crecimiento es de 1.3 por ciento, la densidad de la población es de 40.99 habitantes por kilómetro cuadrado.

Su actividad económica es la siguiente:

Sus principales cultivos son maíz y frijol; la fruticultura se desarrolla con el durazno, capulín, manzana y nopal; se cría ganado porcino, bovino de carne y leche, caprino y ovino, también se crían aves de engorda y pastura, como pavos; tiene industria de la transformación, construcción, maquiladoras y agroindustriales.

El suelo es de tipo semidesértico, rico en materia orgánica y nutrientes, su uso principal es de agostadero, con el 48.45 por ciento de la superficie total; el 19.17 por ciento es agrícola; el 0.17 por ciento forestal; y el 32.21 por ciento restantes otros usos. Su flora está compuesta por matorral y chaparral subinerme.

Municipio de Villa del Carbón

Pertenece a la región VIII-Jilotepec. La población global del municipio es de 37,914 habitantes, de los cuales 13.4 por ciento de la población es urbana y un 86.6 por ciento la compone la población rural, la densidad de la población es de 74 habitantes por kilómetro cuadrado.

Su actividad económica es la siguiente:

Sus principales cultivos son maíz, frijol, haba, papa, cebada, avena, árboles frutales; se cría ganado bovino, ovino, porcino y pollos, tiene industria de elaboración de caja y empaque de madera, así como otros productos del mismo material y procesadora de resinas.

El suelo es propio para la agricultura de riego de temporal, los recursos forestales abarcan una porción considerable de su territorio, cuenta con una superficie total de 32,050.97 hectáreas, de las cuales 9,693.62 se destinan a la actividad agrícola, 5,733.71 a la pecuaria, al uso forestal 14,681.88, la zona urbana cubre 542.06 hectáreas. Su flora está compuesta por una gran variedad de pináceas entre las cuales están: encino, madroño, oyamel, ocote y pino.

Municipio de Chapa de Mota

Pertenece a la región VIII-Jilotepec. La población total del municipio es de 22,628 habitantes, la densidad de la población es de 54 habitantes por kilómetro cuadrado.

Su actividad económica es la siguiente:

Su cultivo mas importante es el maíz, le sigue en orden el cultivo de la avena forrajera, la cebada, el trigo, el frijol, el haba, el arvejón y árboles frutales; se cría el ganado bovino de carne, leche y trabajo; así como el porcino, ovino, caprino, equino y aves de engorda, guajolote y de postura; en la industria predomina la de la transformación como es el caso de Cannon Mills, Coverplast y la industria del vestido, cuyas instalaciones se encuentran en la cabecera; se tiene pequeña minería de bancos de tepetate y tezontle.

Su suelo es propicio para la agricultura de temporal y de riego, cuenta con una superficie total de 28,948.68, de las cuales 7,650.58 se destinan a la actividad agrícola, 6,416.05 a la pecuaria y la región forestal cubre 14,154.93 hectáreas; predominan los bosques de pino, oyamel, encino, roble, madroño, ocote, escoba, biznaga y plantas medicinales.

En la Tabla No. 1 se muestra el resumen del censo de población.

En los tres municipios se cuenta con servicios públicos, agua potable, drenaje y alcantarillado, pavimento, alumbrado público y electrificación.

Tabla No. 1
Censo de población

Municipio*	Población Total	Población Masculina	Población Femenina	Superficie (Km ²)
Tepeji del Río	67,573	33,135	34,438	362
Villa del Carbón	37,914	18,938	18,976	310
Chapa de Mota	22,628	11,179	11,449	292

*Información obtenida de INEGI para el año 2000

3.-CLIMATOLOGÍA

3.1 Región hidrológica

La cuenca del río Tepeji se divide en dos cuencas menores o subcuencas. La cuenca alta del río Tepeji capta los escurrimientos que reconocen como nivel base local a la presa Taxhimay en la cual el principal dren es el río San Jerónimo. La cuenca baja está representada por la superficie que capta los escurrimientos controlados por la presa Requena (Carta 2). Ambas subcuencas forman la cuenca del río Tepeji, según criterio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (Boletín Hidrológico No.32).

La cuenca del río Pánuco es una de las regiones hidrológicas más importantes, tanto por su volumen de escurrimiento en sus corrientes superficiales que la sitúan dentro de las más grandes del país con una extensión del orden de los 85,000 Km². Dentro de ella se encuentran ciudades importantes como: la Ciudad de México, Tula, Jasso (Ciudad Cooperativa Cruz Azul) y la Ciudad de Tampico.

Siendo tan extensa la cuenca del río Pánuco y teniendo presente la importancia de las subcuencas de los ríos tributarios, se estimó mas necesario dividirla en cinco zonas:

- A) Cuenca de México.
- B) Cuenca del río Tula
- C) Cuenca del río San Juan
- D) Cuenca de la Laguna de Mexitlán
- E) Bajo río Pánuco (zona del río Pánuco comprendida entre la unión de los ríos San Juan y Tula que dan origen al río Moctezuma y la cuenca baja hasta el Golfo de México y cuenca total del río Guayalejo).

La zona de estudio desde el punto de vista hidrológico, se ubica dentro de la región hidrológica cuenca del río Tula No.26. Limita al norte con la cuenca del bajo Pánuco, al noreste con la cuenca del río Amajac- alto Pánuco, al sureste con la Cuenca de México, al suroeste con la cuenca del río Lerma y al noroeste con la cuenca del río San Juan del Río-alto Pánuco. El río Tula constituye los orígenes del colector general de esta región; inicialmente se conoce como río San Jerónimo o río Tepeji. Y tiene su nacimiento a una altitud de 3500 msnm entre el cerro de los Potrerillos y el cerro de la Bufa.

El río Tula después de recibir las aportaciones del río San Juan se conoce como río Moctezuma y en la llanura costera, como río Pánuco; este último descarga en el Golfo de México, 2-3 Km aguas abajo de la ciudad de Tampico, Tamaulipas (Figura 3).

En la cuenca del río Tula se forma un sistema de valles interconectados cuyo conjunto es conocido como Valle del Mezquital. Este Valle permaneció cerrado durante el Plioceno por efecto del tectonismo regional y acciones volcánicas que dieron origen a gruesas series de materiales clásticos que colmaron los Valles de Taxquillo, Temiquilpan y Actopan a profundidades de 300 a 400 m. Al reanudarse la salida del drenaje, el río Tula labró su cauce sobre una cubierta de sedimentos clásticos cortándose y excavándose gradualmente el material de relleno durante el Pleistoceno y surgiendo las elevaciones y depresiones existentes.

99°25'


99°20'


99°15'


SIMBOLOGÍA

Poblados 


Camino 

Curvas de nivel 
(Equidistancia entre curvas 100m.)

Cuerpos de agua 

Límite estatal 

Manantial 

Límite de subcuenca 



NORTE

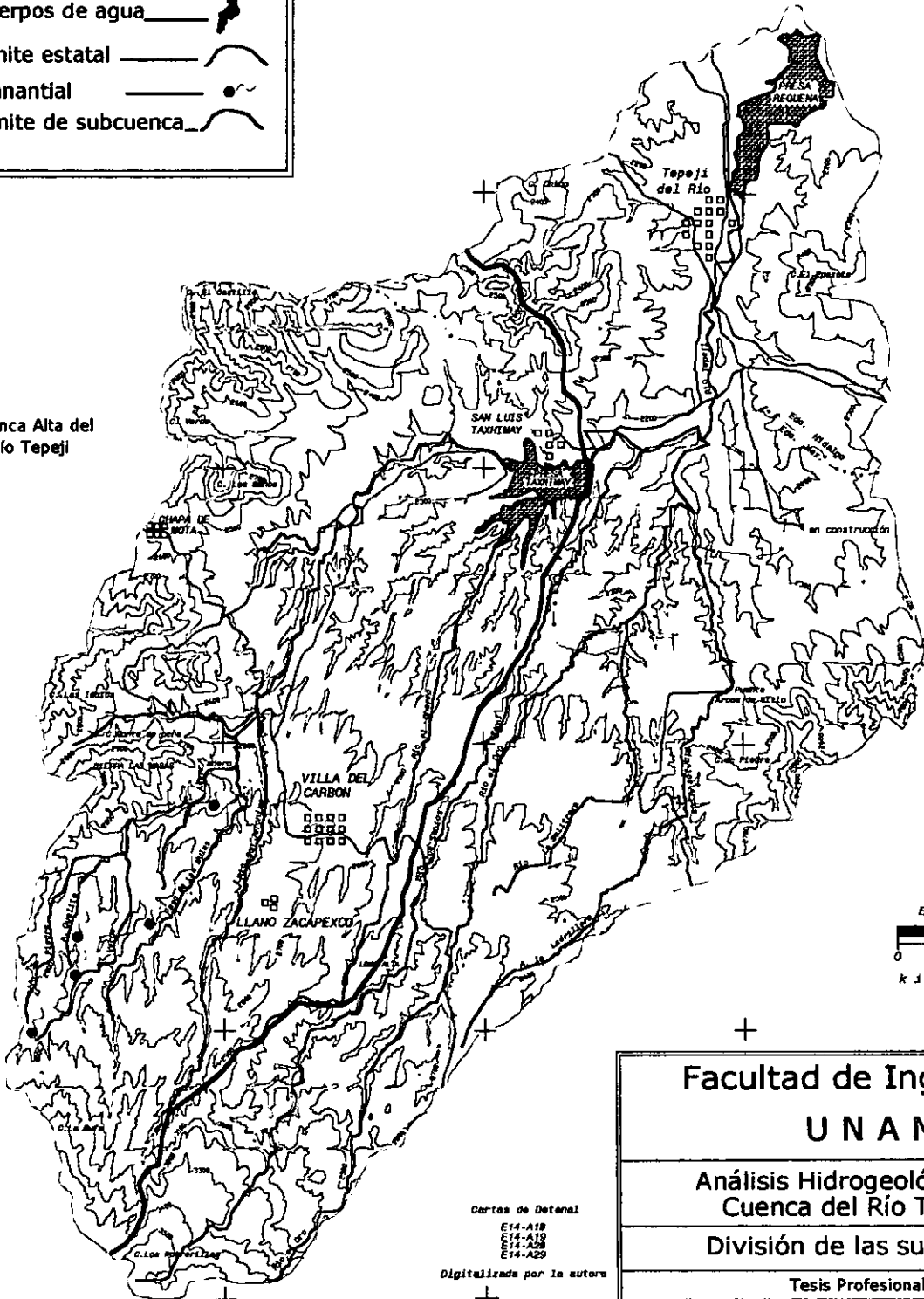
19°00'
19°05'
19°10'
19°15'
19°20'

19°55'
19°50'
19°45'
19°40'
19°35'

+
+
+
+
+
+
+
+
+
+

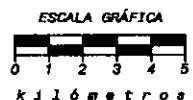
+
+
+
+
+
+
+
+
+
+

+
+
+
+
+
+
+
+
+
+



Cuenca Baja del Río Tepeji

Cuenca Alta del Río Tepeji



ESCALA GRÁFICA

kilómetros

Facultad de Ingeniería	
U N A M	
Análisis Hidrogeológico de la Cuenca del Río Tepeji	
División de las subcuencas	
Tesis Profesional	
Decia Obispo González	Carta 2

Cortes de Detonal
E14-A18
E14-A19
E14-A20
E14-A20

Digitizada por la autora



REGIÓN HIDROLÓGICA No. 26

CUENCA DEL RÍO TULA

Facultad de Ingeniería
UNAM

Análisis Hidrogeológico de la
Cuenca del Río Tepeji

Región hidrológica No. 26 Río Pánuco

Tesis Profesional

Dacia Obispo González

Figura 3

Fuente: Boletín Hidrogeológico No. 45



La cuenca está formada por valles, los cuales se encuentran delimitados por cadenas montañosas; sobre estas se encuentran numerosos cerros que tienen una altura superior de 2500 m. Los principales cerros son localizados al sur de la cuenca, y los de menos altura, al norte de la misma, donde el río Tula confluye con el río San Juan del Río.

Los ríos que cruzan en la región son: El Tula, El Oro, Tepeji, El Carrizal-Palo Grande, Los Sabios, Los arcos, Los Parajes, La Idolatría, El Tejocote, Peña Alta, Las Moras, Los Gavilanes, El Ocote, Las Tinajas-Damayonte, La Arboleda-Coscomate, El Jilguero, Rancho Grande, Garabato, El Sauz, La Rinconada, Los Fresnos, Grande - La Organera, La presa Requena.

En las laderas del cerro de la Bufo, existen cinco manantiales, muchos de los cuales constituyen pequeños hilos de agua que al engrosar van a formar afluentes del río Paso de Mulas (Hormiga, S 1999). Las principales corrientes de agua están constituidas por cuatro ríos siendo de sur a norte: San Jerónimo y Las Animas; al noroeste: Los Sabios y hacia el norte: El Oro, que desemboca en la presa Taxhimay. El río Seco es de caudal irregular y depende de la temporada de lluvias.

La zona de estudio colinda con otras regiones hidrológicas al noreste con la región No. 25 San Fernando Soto la Marina, al noroeste con la No. 37 El Salado, al oeste con la No. 12 Lerma Chapala Santiago, al este con la No. 27 Tuxpan-Tecolutla y al suroeste con la No.18 Balsas.

El río San Jerónimo es la corriente principal de aporte de la presa Taxhimay usada para riego en combinación con la presa Requena de las cuales se dará una breve descripción.

La presa Taxhimay

La presa Taxhimay se sitúa 12 Km aguas arriba de la población de Tepeji, en el poblado San Luis Taxhimay en el municipio de Villa del Carbón. El acceso se logra por la autopista México-Querétaro, hasta la desviación en el Km 70 a Tepeji del Río de donde se sigue al poniente, por un camino revestido de 14 Km de longitud, que conduce a la margen izquierda de la presa. También se puede llegar por una terracería que se desprende de la carretera No.13. Fue construida en 1912 y sobreelevada en el período 1933-1934 (Fotografía 1).

Sus coordenadas son 99°23'06" longitud oeste y 19°50'09" latitud norte.*

El área de la cuenca es de 325 Km².

Avenida máxima registrada de 229 m³/s (1936)*

Área de embalse de 380 ha.

Superficie del proyecto de riego 6500 ha.

Superficie actualmente regada 2100 ha.

Capacidad de 50 millones de m³.

Geología regional: andesita fracturada superficialmente.

Geología del vaso: andesita y arcilla*

Geología de la boquilla: andesita y arcilla*

*Comisión Nacional del Agua (CNA), Consultivo Técnico, Seguridad de Presas.



Fotografía 1.- Vista parcial de la presa Taxhimay; al fondo se puede apreciar la Formación Tarango.

La presa Requena

La presa Requena se ubica sobre el cauce del río Tepeji, a 60 Km aproximadamente al NW de la Ciudad de México, a 6 Km aguas abajo de la población Tepeji del Río en el municipio del mismo nombre. El acceso a la zona es por la autopista México – Querétaro hasta el Km 70, donde se toma la desviación a Tula, recorriéndose 8 Km aproximadamente hasta encontrar la desviación a la derecha y por camino revestido de 5 Km de longitud. Fue construida de 1919 a 1922 y sobreelevada en 1926. En 1966 fue rehabilitada, para mejorar las condiciones de estabilidad de la cortina y la descarga del vertedor.

Sus coordenadas son 99°48'01" longitud oeste y 19°57'13" latitud norte. *

El área de la cuenca es de 756 Km².

Avenida máxima registrada de 403 m³/s, el día 10 septiembre de 1966.

Área de embalse de 380 ha.

Superficie actualmente regada 6500 ha.

Capacidad de 81 millones de m³.

Geología regional: basalto, arenisca y lutita.*

Geología del vaso: tobas y arcillas.*

Geología de la boquilla: depósitos arcillosos lacustres de gran espesor y corriente basáltica.

*Comisión Nacional del Agua (CNA), Consultivo Técnico, Seguridad de Presas.



Fotografía 2.- Panorámica del embalse de la presa Requena ubicada en el estado de Hidalgo.

3.2 Cuenca

El área de estudio queda comprendida en la cuenca del río Moctezuma, dentro de esta cuenca, quedan comprendidas las subcuencas de los ríos Tepetzotlán y Cuautitlán.

Se localizan las presas Taxhimay y Requena que captan el escurrimiento local, con el fin de utilizar el agua captada para fines de riego ó de producción de energía eléctrica. Actualmente ya no es generadora de energía eléctrica. La mayor parte de estos cuerpos de agua se ubican en la porción centro y norte de la zona de estudio.

3.3 Precipitación media


Como es normal, la precipitación y la temperatura están influidas por la orografía, tanto local como regional, ya que mientras las precipitaciones decrecen en forma general a partir de la Sierra Madre Oriental, hacia el oeste, las temperaturas aumentan, pero al llegar al Eje Neovolcánico las masas de aire procedentes del Golfo de México a las partes elevadas de esta provincia, se dan cambios notables, pues la precipitación tiende a crecer de nuevo y la temperatura desciende, originándose cambios en la vegetación (Hormiga, S 1999).

99° 26'


99° 20'


99° 15'


SIMBOLOGÍA

Poblados 

Camino 

Curvas de nivel 
(Equidistancia entre curvas 100m.)

Cuerpos de agua 

Límite estatal 

Manantial 

Estación climatológica 



NORTE

19° 00'

19° 05'

19° 10'

19° 15'

19° 20'

19° 25'

19° 30'

19° 35'

19° 40'

19° 45'

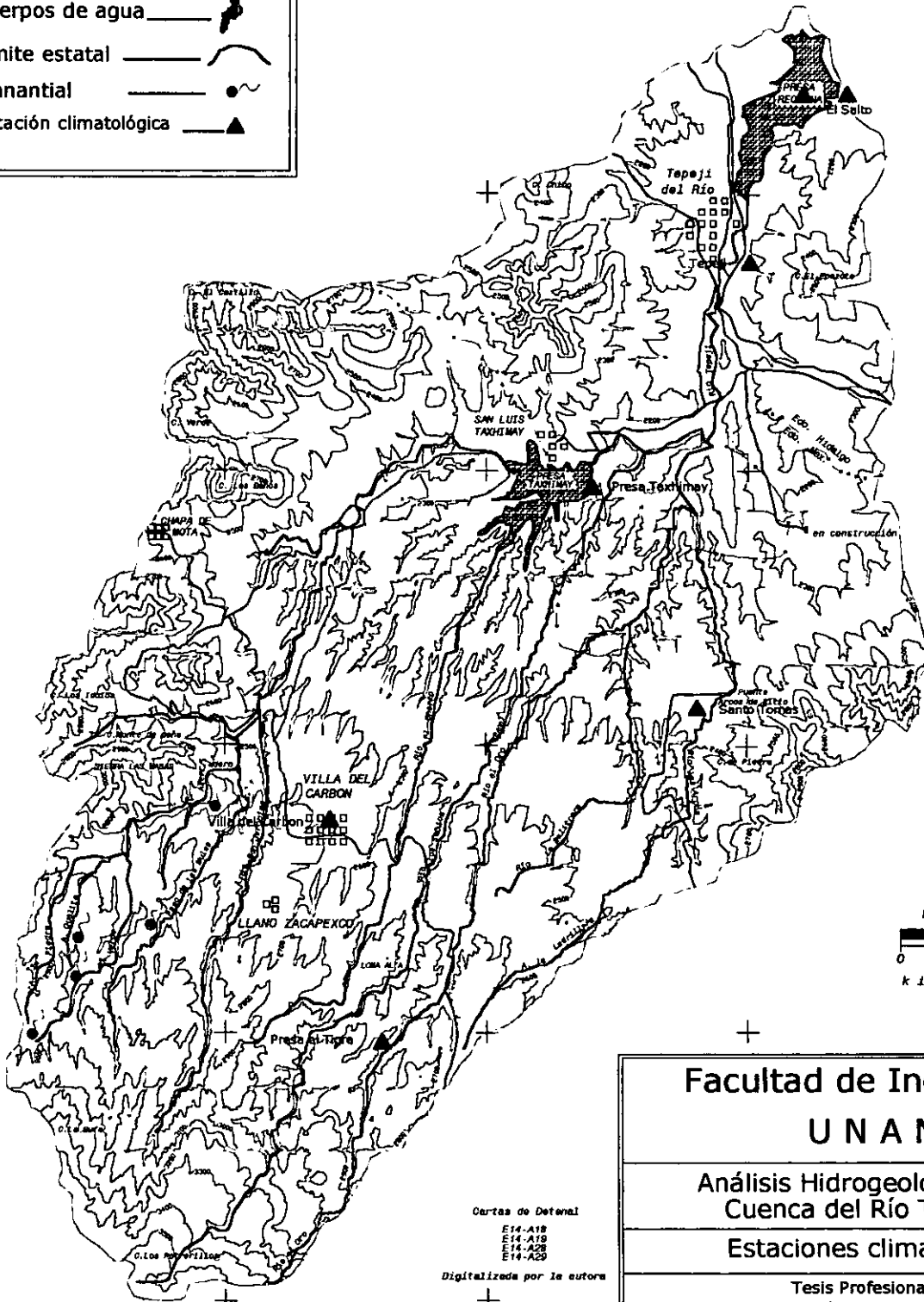
19° 50'

19° 55'

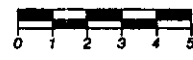
19° 00'

19° 05'

19° 10'



ESCALA GRÁFICA



kilómetros

Cartas de Detalle
E14-A18
E14-A19
E14-A28
E14-A29

Digitizada por la autora

Facultad de Ingeniería UNAM

Análisis Hidrogeológico de la
Cuenca del Río Tepeji

Estaciones climatológicas

Tesis Profesional

Decia Obispo González

Carta 3

99° 35'

99° 30'

99° 25'

De acuerdo con las cartas de climas del INEGI, escala 1: 50 000 y la de Oropeza Orozco, escala 1:50 000, la región más lluviosa con isoyetas entre los 1000 y los 1100 mm, se localiza en las montañas del sur de la cuenca a altitudes mayores a los 3000 msnm. Mientras que las zonas más secas, de 700 mm se ubican en el norte a 2300 msnm y al sur y suroeste de la presa Taxhimay, de 800 mm, a una altitud de 2500 msnm. El promedio general de precipitación, en la cuenca es de 1052.6 mm anuales (Tabla No. 2).

Con base en lo anteriormente expuesto, la precipitación media del área es de 800 mm pero su distribución no es uniforme pues decrece de oeste a este, de 1000 mm a 700 mm.

En el área se localizan 7 estaciones climatológicas cuya información se muestra en la Tabla No.2 y en la Carta 3 se muestra su ubicación. La precipitación se mide con el pluviógrafo (Figura 4). Determinándose una precipitación media anual en toda la cuenca de 733 mm.

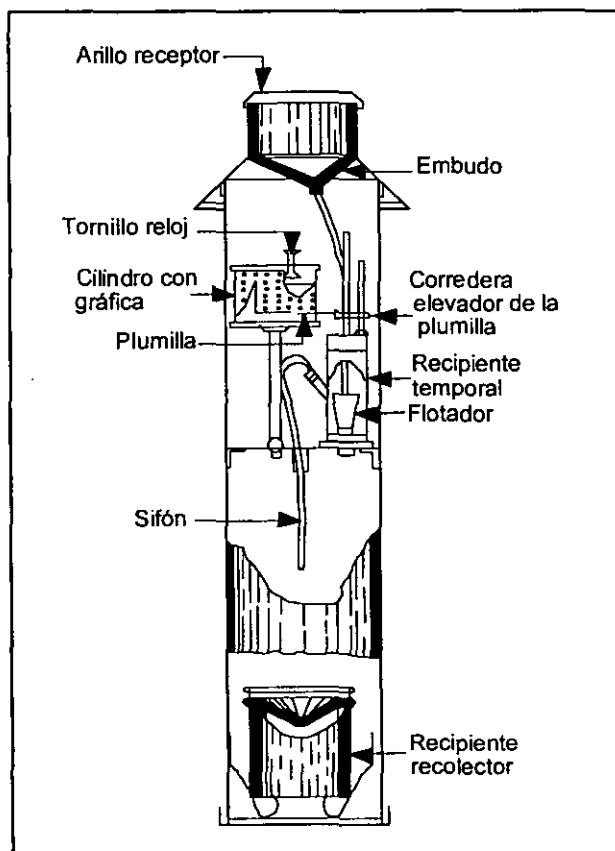
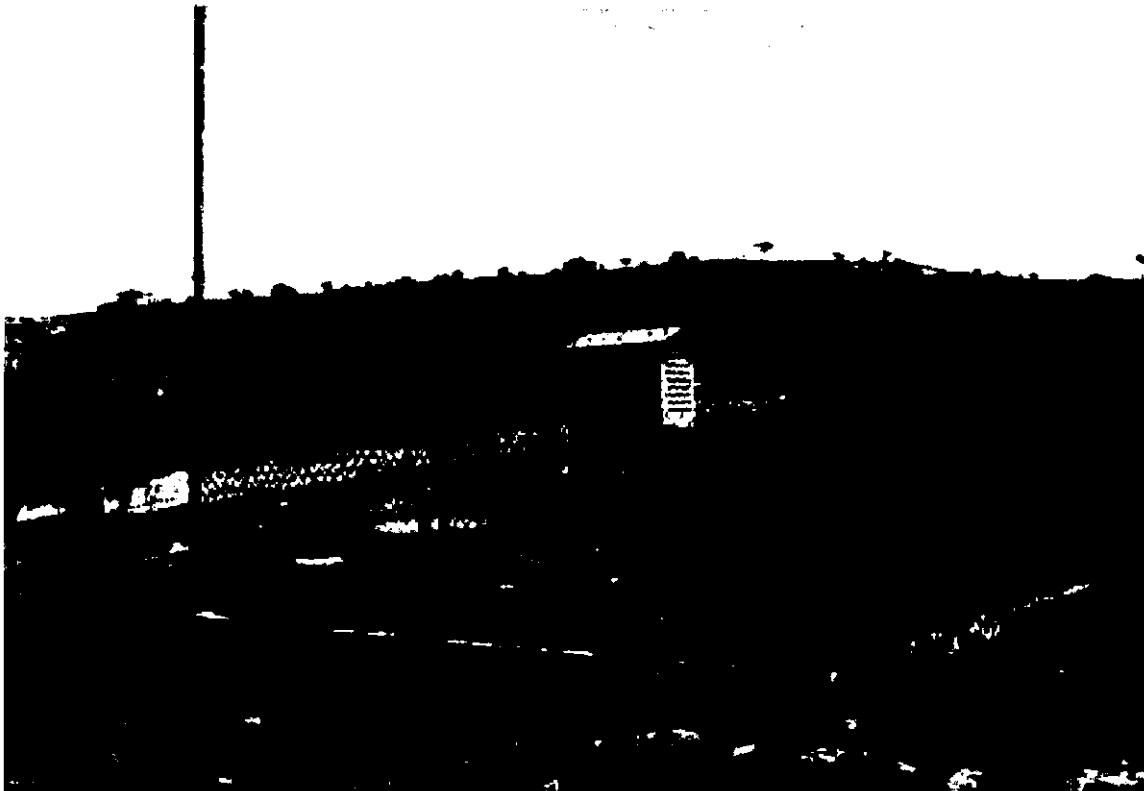


Figura 4.- Pluviógrafo



Fotografía 3.- Estación climatológica ubicada en la presa Taxhimay, con sus instrumentos esenciales para la toma de datos los cuales son: tanque de evaporación, pluviógrafo, garita meteorológica (en su interior están el psicrómetro, termómetro de máxima y mínima, evaporímetro de Piché).

3.4 Temperatura media anual

El clima en la zona de estudio, según la clasificación de E.Koppen y modificada por Enriqueta García carta 1:500 000 es de tipo:

En la parte norte, hacia la presa Requena es templado subhúmedo con verano fresco, temperatura media anual entre 12° y 18° C; la del mes más frío entre -3° y 18° C y la del más caliente $>18^{\circ}$ C. Con lluvias en verano con humedad baja.

En la parte centro, hacia la presa Taxhimay es del tipo templado subhúmedo con verano cálido, temperatura media anual entre 12° y 18° C; la del mes más frío entre -3° y 18° C y la del más caliente de 18° C con humedad media y lluvias en verano.

En la parte sur, hacia Villa del Carbón es del tipo templado con invierno frío, temperatura media anual entre 12° y 18° C; la del mes más frío entre -3° y 18° C las heladas fuertes son en febrero, marzo, agosto y septiembre.

El régimen de lluvias abarca el período comprendido entre los primeros días de junio y finales de septiembre. Las nevadas son frecuentes en la zona sur de la zona de estudio.

Con base en las cartas de climas del territorio nacional escala 1:50 000 y la de Oropeza Orozco escala 1:50 000, se puede decir que en la cuenca se observa una ligera variación de temperatura (4° C), de acuerdo al gradiente altitudinal.

Las isotermas se distribuyen de la siguiente manera:

La isoterma de 17° C, se localiza sobre el talud de transición hacia el noroeste de la cuenca entre los 2600 y los 2700 msnm, rodeando las estribaciones de los cerros El Escorpión, El Blanco, El Ocote, El Campamento, Los Baños de norte a noroeste; dichos relieves forman parte de las laderas sur y sureste de la sierra de Jilotepec. Al sur de la isoterma anterior se distribuye la isoterma de 16° C, la cual pasa al sureste de la presa Taxhimay a una altitud de 2300 msnm y continúa en dirección suroeste hasta rodear las estribaciones del cerro Las Animas a 2800 msnm. La isoterma de 15° C la cual se extiende de este a suroeste, de los 2600 msnm al sur de Villa del Carbón hasta los 2800 msnm, bordeando la serranía de las Masas y la base de la sierra de Monte Bajo: por último se tienen las isotermas de 14° C y 13° C, la primera se localiza entre los 2700 y 3000 msnm y la segunda entre los 2800 y los 3100 msnm. Ambas se encuentran en las partes más altas de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, al sur de la zona.

Se calculó la temperatura media anual con los datos de la Tabla No. 1 y se encontró que es de 15° C.

Tabla No. 2
Estaciones climatológicas y resumen de datos

ESTACIÓN	LAT.	LONG.	ELEVACIÓN (m)	TEMPERATURA ANUAL (° C)	PERIODO CON DATOS	ENTIDAD	PRECIPITACIÓN (mm)		
							MEDIA ANUAL	MÁXIMA ANUAL- AÑO	MINIMA ANUAL- AÑO
EL SALTO, TEPEJI DEL RIO	19°57'	99°18'	2162	13.04	1973-1988	HGO	603.79	1015.5- 1958	353.4-1945
PRESA REQUENA, T. DEL R.	19°57'	99°19'	2109	16	1973-1984	HGO	415.39	570.3- 1941	147.5-1945
TEPEJI, T.DEL R.	19°54'	99°20'	2130	15.79	1973-1988	HGO	704.50	1225.5- 1958	421.0-1959
PRESA EL TIGRE	19°40'	99°27'	2706	12.05	1961-1988	MEX.	841.15	1419.2- 1958	583.6-1957
SANTO TOMAS, TELOYUCAN	19°46'	99°21'	2253	15.12	1961-1988	MEX.	641.31	925.0- 1958	466.6-1957
VILLA DEL CARBON	19°44'	99°28'	2755	15.49	1961-1985	MEX.	1135.74	2116.5- 1958	614.0-1945
PRESA TAXHIMAY	19°50'	99°23'	2235	16.21	1973-1988	MEX.	792.19	1170.5- 1958	499.9-1957

FUENTE: Boletín hidrológico No. 45, SRH.

3.5 Evaporación

Los fenómenos de evaporación y transpiración vegetal que en conjunto constituyen el proceso hídrico conocido como evapotranspiración, desempeñan un papel fundamental en el ciclo del agua ya que tienen un papel significativo dentro del balance hidrológico.

La evaporación es la cantidad de agua que puede evaporarse a partir de una superficie, dependiendo de la cantidad de calor proveniente del sol, la evaporación en el suelo es muy importante ya que afecta a grandes extensiones; no obstante, su acción se limita a una profundidad relativamente pequeña, aproximadamente 1 m en zonas templadas y 2 m en zonas áridas.

La evaporación disminuye la humedad superficial del suelo, lo cual produce un movimiento ascendente del agua por capilaridad.

Así, el valor de la evaporación depende de la cantidad de agua contenida en las capas superficiales, la cual obedece a la porosidad y al contenido de humedad del suelo en diferentes épocas.

La evaporación se calcula con las siguientes fórmulas:

a) Martone $Em = 30 (10 + t)$

b) Langbein (regiones húmedas de los U.S.A)

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

c) Turc $Em = 320 + 25t + 0.05t^2$

donde:

Em = evaporación anual máxima posible en mm

t = temperatura media anual en °C

Estas fórmulas reflejan condiciones medias y que los resultados expresan únicamente ordenes de magnitud. Se deben utilizar con prudencia y la mayor parte del tiempo a título comparativo.

Los factores que inciden en la evaporación y que influyen en su intensidad, son los siguientes:

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| a) Factores climáticos | b) Factores ambientales |
| • Temperatura del aire | • Temperatura del agua |
| • Humedad del aire | • Características de la cuenca |
| • Presión atmosférica | • Calidad del agua |
| • Vientos | |

Casi todos estos factores son controlados, directa o indirectamente por un factor superior, que es la radiación solar, su estudio es esencial para conocer el potencial hídrico de una región o de una cuenca. La medición directa de la evaporación es con el evaporímetro (Figura 5).

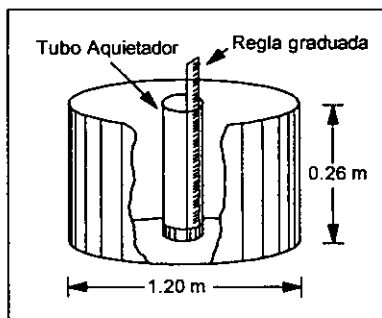


Figura 5.- Evaporímetro

3.6 Transpiración

La transpiración es el fenómeno físico por el cual las plantas absorben una cantidad de agua del suelo, la cual es restituida parcialmente a la atmósfera en forma de vapor por la superficie de las hojas

Este fenómeno es importante para la vegetación, tomando en cuenta el volumen de agua que circula por las plantas, que es necesaria para su crecimiento y por otro lado, la profundidad que alcanzan las raíces, así como el desarrollo del propio sistema de la planta.

Hay tres tipos de transpiración: estomática, cuticular y por gotas.

- Estomática: es el agua que se escapa de las plantas por los poros o estomas de las plantas.
- Cuticular: se produce cuando el agua pasa de la membrana de las plantas a la atmósfera a través de las cutículas.
- Gotas: las plantas exudan el agua en forma de gotas acumulándose éstas en la superficie de las hojas.

Los factores físicos que afectan a la transpiración son los mismos que afectan a la evaporación, como: el poder evaporante de la atmósfera, los agentes meteorológicos y la humedad del suelo.

Así como la evaporación influye sobre el suelo hasta uno o dos metros de profundidad, según la zona climática, las plantas, por sus raíces, llegan a mayores profundidades, absorbiendo el agua de esas zonas; en esta forma la transpiración hace que aumente la pérdida de agua de las capas más profundas del subsuelo.

En la transpiración también influyen: la especie vegetal de la misma, la edad, el desarrollo del follaje y la profundidad de las raíces. También las variaciones diurnas tienen relación con las fluctuaciones de la temperatura, de la humedad y de la intensidad de la luz; la transpiración es casi nula durante la noche, debido a que se cierran los estomas de las plantas. Las variaciones estacionales están determinadas por el ritmo vital de la planta y las fluctuaciones del poder evaporante de la atmósfera.

3.7 Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso que indica la cantidad combinada de agua evaporada desde la superficie del suelo y transpirada desde el almacenamiento a través de la vegetación.

Existen dos tipos de evapotranspiración: la real y la potencial. La real es la cual corresponde a un momento determinado y no es fácil su medición. La potencial es la que se produciría si el suelo tuviera la cantidad de agua necesaria para tener una producción vegetal óptima expresada en milímetros o en pulgadas (Aparicio, M).

Los métodos para calcular la evapotranspiración pueden dividirse en 3 categorías:

- a) Directos: están basados en medidas tomadas in situ.
- b) Analíticos: están basados en el balance energético o el balance hídrico.
- c) Empíricos: están basados en el análisis de las observaciones.

Los que interesan en este trabajo son los métodos analíticos.

Los principales factores que influyen en la evapotranspiración se agrupan básicamente en tres grupos que son los siguientes:

-Factores climáticos: son los que abarcan principalmente la radiación solar, el poder evaporante de la atmósfera, el viento y la temperatura. La fuente de energía primaria para la evaporación del agua es la radiación solar. La cantidad de evaporación depende de la velocidad del viento y del grado de turbulencia en el aire que pesa sobre la superficie de evaporación, así como la diferencia de presión de vapor entre la superficie del agua y el aire insaturado que esta encima.

-Factores edáficos: son los que influyen principalmente en el contenido de humedad del suelo, y en la facilidad por parte de este, para cederla, es decir, la accesibilidad del agua a la superficie evaporante (suelo y vegetación).

-Factores biológicos: los que comprenden la etapa de desarrollo de las plantas y los diversos tipos de especies.

De los factores antes mencionados el clima es el de mayor influencia, ya que el efecto de la planta y del suelo no son tan importantes, cuando la vegetación es rala, la transpiración es poca, pero el suelo, al no estar cubierto totalmente, presenta mayor

superficie para la evaporación, por el contrario, cuando la vegetación es exuberante y cubre la superficie del suelo, este tiene poca evaporación, pero la vegetación realiza gran transpiración (Meza, 1976).

A continuación se hará una breve descripción de los métodos para obtener la evapotranspiración potencial.

Método de Hamon

Está basado en la evapotranspiración potencial máxima posible entre la radiación y humedad del aire prevaleciendo la temperatura del aire se expresa como:

$$E_p = K_h p_s$$

E_p = evapotranspiración potencial expresada en milímetros
 K_h = coeficiente de transferencia de masa.
 p_s = masa volumétrica del vapor saturado a la temperatura media del aire en la superficie.

Método de Thornthwaite

Arroja resultados estimativos que pueden usarse únicamente en estudios preliminares o de gran visión se tiene que conocer la temperatura mensual del sitio y su latitud.

$$e_t = 1.6 (10T/l)^a$$

e_t = evapotranspiración potencial expresada como cm por 30 días iguales de 12 horas cada uno.
 T = temperatura mensual del aire ° C.
 l = índice del calor.
 a = función cúbica de l .
 $l = \sum i$
 $i = (t/5)^{1.514}$

Método de Blaney y Criddle

Está basado en la correlación existente entre el consumo de agua de las plantas y la temperatura media mensual del día (expresada en porcentaje de la suma anual de los valores), las precipitaciones y la estación de crecimiento aplicable a casos más específicos.

$$E_{tp} = \frac{(K)(p) 45.7 t + 813}{100}$$

Etp = evapotranspiración potencial mm/mes
 K = coeficiente empírico según tipo de vegetación, varía entre 0.65 y 1.3 según el tipo de vegetación y su crecimiento.
 t = temperatura media diaria del mes en ° C.
 p = porcentaje del número máximo de horas de insolación en el mes, respecto al total anual.

Método de Lowry – Jonson

Estos dos autores notaron una alta correlación entre el consumo (evapotranspiración) y calor efectivo (acumulación grado – día máximo diario).

$$Cu = 0.00185 HE + 10.4$$

Cu = consumo anual en pulgadas.
 HE = calor efectivo, en grados-días cerca de 32° F.

Método de Weather Bureau

$$EL = 0.70 ((Q_n \delta + E_a \gamma)) ((\delta + \gamma))$$

EL = porcentaje diario de evaporación en lagos, en pulgadas.
 Qn = energía radiante neta en pulgadas por día.
 δ = pendiente de la curva relación de vapor saturado, presión de temperatura y observación temperatura aire.
 Ea = evaporación dada por ecuación aerodinámica (Kohler, 1955) en la cual la temperatura del agua es asumida igual a la temperatura del aire.
 γ = factor definido por la ecuación de Bowen's (1926).

3.7.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Blaney y Criddle.

En el área se tiene calculada la evapotranspiración (Meza, 1976) con la fórmula de estos autores (1945) que establecieron y publicaron una fórmula para estimar el uso consuntivo de los cultivos:

$$Etp = \frac{(K)(p) 45.7 t + 813}{100}$$

donde el valor de p fue calculado para distintos meses del año, a distintas latitudes del hemisferio norte (Tabla No. 3), la clasificación la hacen de dos grados; debido a esto y a que la cuenca se encuentra en el paralelo 19° latitud norte, se obtuvo un promedio entre los valores del paralelo 18° y 20° latitud norte.

Tabla No. 3
Valores de P

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
18°	7.8	7.2	8.4	8.4	9.0	8.9	9.2	8.8	8.3	8.2	7.6	7.8
20°	7.7	7.2	8.2	8.5	9.1	9.0	9.2	8.9	8.3	8.2	7.6	7.9
Prom.	7.8	7.3	8.3	8.5	9.1	9.0	9.2	8.8	8.3	8.2	7.6	7.8

Los valores de K fueron calculados para diferentes cantidades de agua para su desarrollo. Estos valores van creciendo progresivamente en los diferentes meses de la temporada de lluvias, hasta un límite máximo en que empiezan a disminuir en los meses siguientes.

Los valores de K para este estudio fueron tomados de la tabla de valores mensuales de K para diversas zonas cultivadas, utilizándose los datos de pradera y frutales que son los que mejor se adaptan a las condiciones de vegetación del área (Tabla No.4).

Tabla No. 4
Valores de K

Cultivo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Praderas	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35
Frutales	0.23	0.23	0.23	0.45	0.70	0.85	0.88	0.85	0.47	0.20	0.20	0.20

Con los datos anteriores y los de temperatura de la Tabla No. 2 se aplicó la fórmula, obteniéndose los valores de la Tabla No. 5.

Tabla No. 5
Evapotranspiración potencial

ESTACION	PERIODO CONSIDERADO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL (mm)
PRESA EL TIGRE	10 años	21.72	21.21	25.99	55.16	93.71	112.89	117.14	108.28	55.90	22.23	19.56	19.54	673.33
PRESA REQUENA	10 años	22.66	40.90	71.12	92.59	131.72	135.06	138.60	130.65	108.85	91.29	60.91	39.99	1064.34
TEPEJI DEL RÍO	10 años	26.17	39.32	69.45	93.68	132.09	135.44	139.39	131.02	106.96	91.28	63.54	38.86	1067.20
PRESA TAXHIMAY	10 años	26.51	40.83	72.38	99.11	134.29	136.95	139.39	131.39	105.45	91.56	61.48	39.87	1079.21

Fuente: Método de Blaney y Criddle. Tesis profesional, Magdalena Meza, UNAM 1976.

3.7.2 Cálculo de la evapotranspiración real media anual con la fórmula de L. Turc.

La evapotranspiración real media anual se calcula con la fórmula de L. Turc, esta ecuación considera únicamente la precipitación y temperatura media anual. Este autor asienta que la evapotranspiración real media anual se puede calcular en función de la temperatura media anual del aire, en grados centígrados, con lo cual expresa el poder evaporante de la atmósfera y la altura de la precipitación anual en mm que indica la humedad disponible.

Este método es bastante aproximado; la fórmula empírica es:

$$ET = \frac{P}{\sqrt{\frac{0.9 + (P)^2}{L^2}}}$$

En donde:

E = lámina de evapotranspiración en milímetros.

P = precipitación media anual en milímetros.

$L^2 = 300 + 25 T + 0.05 T^3$ coeficiente térmico referido a la temperatura media anual.

T = temperatura media en grados centígrados.

Calculando las precipitaciones y temperaturas medias promedio de los datos obtenidos en las precipitaciones climatológicas correspondientes al área de la subcuenca que le corresponde (Tabla No. 2), aplicando la fórmula se tiene los datos en la Tabla No. 6.

Tabla No. 6
Resumen evapotranspiración real media anual de la cuenca

Subcuenca	Área Km ²	Temperatura media °C	Precipitación media mm	ET mm
Alta del Río Tepeji	369	14.6	923	632.19
Baja del Río Tepeji	390	14.3	730	556

3.8 Esgurrimiento

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la capa de suelo de la superficie y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada, sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en 3 clases: escurrimientos superficiales, escurrimientos subsuperficiales y escurrimientos subterráneos.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo.

El escurrimiento es un proceso que denomina en todas sus etapas dentro de la cuenca. En regiones montañosas como las serranías de Monte Alto y Monte Bajo situados al sur, las serranías de las Masas en el centro oeste y la serranía de Jilotepec en el noroeste de la zona se desarrolla en sus partes altas que coincide con el bosque conservado, el escurrimiento es difuso y moderado; en las laderas con una vegetación boscosa semiperturbada, se observa el escurrimiento fuerte, en las partes bajas con poca vegetación arbórea es más notable el escurrimiento concentrado.

En la planicie centro este como es el caso de Villa del Carbón impera el escurrimiento difuso moderado, en el noreste es fuerte y con escurrimientos fluviales, el escurrimiento concentrado es el proceso predominante.

Los volúmenes de escurrimientos en la cuenca alta del río Tepeji se estimaron observando los cauces que llegan a la presa Taxhimay. Se estimó un volumen de $91.3 \times 10^6 \text{m}^3$. No existe una estación hidrométrica aguas arriba de la presa. Existen 7 estaciones hidrométricas situadas aguas abajo de dicha presa con el propósito de medir los volúmenes de agua de riego (Carta 4).

3.8.1 Coeficiente de escurrimiento

En general las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la lluvia; el coeficiente de escurrimiento se calcula con la fórmula :

$$Ce = \frac{Ved}{VII}$$

donde :

Ce = coeficiente de escurrimiento

Ved = volumen de escurrimiento (m³)

VII = volumen de lluvia (m³)

El calculo del Ce en la cuenca alta del río Tepeji es el siguiente:

$$Ce = \frac{91.3 \times 10^6 \text{ m}^3}{369.0 \times 10^6 \text{ m}^3} = 0.24$$

Para la cuenca baja del río Tepeji se estimó con un valor de:

$$Ce = 0.20^*$$


*en base a la Tabla No. 7 , comparando sus características como el relieve, la infiltración en el suelo, cubierta vegetal y almacenaje superficial de la zona se tiene un valor de coeficiente de escurrimiento de 0.20.

99° 25'

99° 20'


99° 15'


SIMBOLOGÍA

Poblados 

Camino 

Curvas de nivel 
(Equidistancia entre curvas 100m.)

Cuerpos de agua 

Límite estatal 

Manantial 

Estación hidrométrica 



NORTE

20° 00'

19° 55'

19° 50'

19° 45'

19° 40'

19° 35'

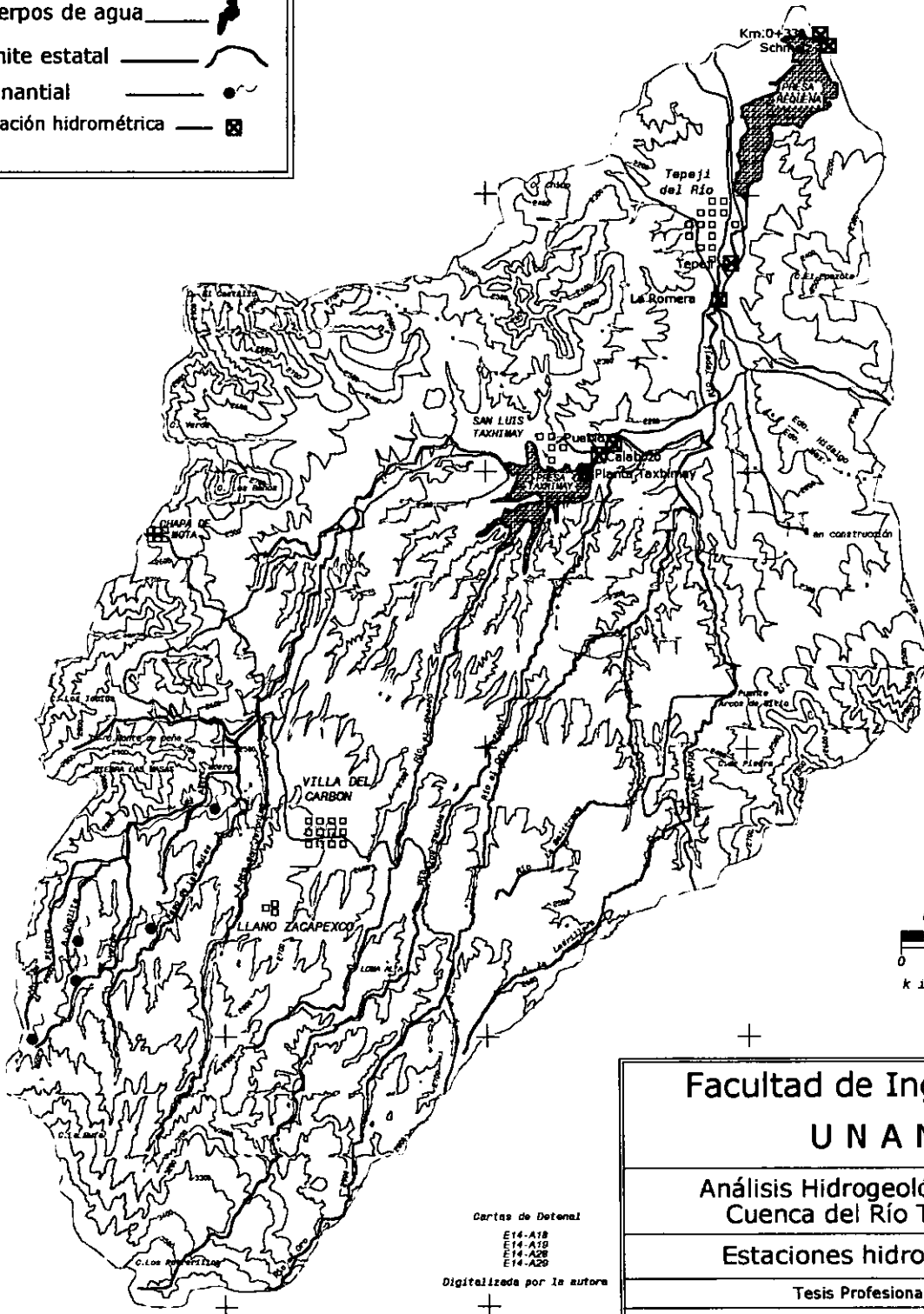
19° 55'

19° 50'

19° 45'

19° 40'

19° 35'



ESCALA GRÁFICA



kilómetros

Facultad de Ingeniería UNAM

Análisis Hidrogeológico de la
Cuenca del Río Tepeji

Estaciones hidrométricas

Tesis Profesional

Dacia Obispo González

Carta 4

Cartas de Detalle

E14-A18
E14-A19
E14-A20
E14-A21

Digitizada por la autora

99° 35'

99° 30'

99° 25'

Tabla No.7
Características de la cuenca para determinar el coeficiente de escurrimiento
en la formula racional

Designación de las características de la cuenca	Características que producen el escurrimiento			Este trabajo
	100 Extremo	75 Alto	50 Normal	25 Bajo
Relieve	Escarpado, terreno abrupto, con pendiente en promedio superior al 30 %. (40)	Montañoso, con pendiente promedio de 10 a 30 % . (30)	Lomerío, con pendientes promedio de 5 a 10 %. (20)	Superficie relativamente plano con pendiente promedio de 0 a 5%. (10)
Infiltración en el suelo	Cubierta no efectiva, roca o suelo fino con capacidad de infiltración despreciable. (20)	Lento para infiltrar el agua, arcilla u otro suelo con capacidad de infiltración baja. (15)	Normal, capacidad de infiltración semejantes a las de la pampa. Suelos limosos, profundos. (10)	Alta, arenas profundas en otro tipo de suelo que toma el agua rápidamente (5)
Cubierta vegetal	Cubierta de plantas con efecto de intercepción. Cubierta llana o esparcida. (20)	De pobre a regular, cultivos nuevos, en tiempos de cosecha, o cubiertas pobres, menores al 10% de áreas de drenaje con buena cubierta. (15)	De regular a buena: aproximadamente el 50 % del área del drenaje en pastizales, bosques o cubierta equivalente, no mayores al 50% en áreas de cosecha o cultivos nuevos. (10)	De bueno a excelente: aproximadamente del 90% de áreas de drenaje en pastizales, bosques o cubierta equivalente (5)
Almacenaje superficial	Despreciable; pocas depresiones superficiales y poco profundas, corrientes escarpadas y pequeñas, sin estanque y pantanos. (20)	Bajo, un sistema definido de pequeñas corrientes, sin estanques y pantanos. (15)	Normal, considerables depresiones superficiales de almacenaje; sistema de drenaje parecido a las áreas típicas de la pampa, lagos, estanques y pantanos menores al 2% del área de drenaje. (10)	Alto grandes depresiones superficiales de almacenaje, sistemas de drenaje no muy bien definidos, plano amplio de la avenida de almacenamiento o un gran número de lagos, pantanos o estanques. (5)

NOTA: Para obtener el coeficiente C_e en porcentaje, sumar de acuerdo con las características de la cuenca en estudio los cuatro valores entre paréntesis, correspondientes a cada columna y renglón.

Fuente: Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), recomendaciones para el diseño y revisión de estructuras para el control de avenidas consultores S.A de C.V.1974, modificado por la autora de este trabajo.

3.9 Balance hidrológico

La evaluación del balance hídrico que se calculó para esta cuenca es de carácter preliminar, debido a que la información disponible no lo permite para realizar un trabajo a mayor detalle, observando los siguientes puntos:

- a) El número reducido de estaciones climatológicas que registren datos de lluvia, temperatura y evaporación con registros de datos multianuales y recientes.
- b) Las estaciones hidrométricas se encuentran ubicadas aguas abajo de la presa Taxhimay, con el fin de cuantificar solo los volúmenes para riego.
- c) No se conocen los volúmenes anuales de extracción de los pozos.
- d) No se cuenta con historia piezométrica.

Como resultado de la integración de la información disponible se efectuó el siguiente balance hídrico, partiendo de la siguiente consideración volumétrica:

$$P = Ev + Es + I$$

Donde :

P = precipitación

Ev = evapotranspiración anual real

Es = escurrimiento

I = infiltración

3.9.1 Cuenca alta

$$340.59 \times 10^6 \text{m}^3 = 233 \times 10^6 \text{m}^3 + 91.31 \times 10^6 \text{m}^3 + I$$

$$I = 340.59 \times 10^6 \text{m}^3 - 324.3 \times 10^6 \text{m}^3$$

$$I = 16.29 \times 10^6 \text{m}^3$$

3.9.2 Cuenca Baja

$$284 \times 10^6 \text{m}^3 = 216 \times 10^6 \text{m}^3 + 56 \times 10^6 \text{m}^3 + I$$

$$I = 284 \times 10^6 \text{m}^3 - 272 \times 10^6 \text{m}^3$$

$$I = 12 \times 10^6 \text{m}^3$$

Por lo tanto el volumen de infiltración total en la cuenca es de $28.29 \times 10^6 \text{m}^3$.

4.- GEOLOGÍA

4.1 Geología regional

En el área de estudio la actividad volcánica comienza en el Terciario Superior, probablemente durante el Mioceno, con el emplazamiento de andesitas intercaladas con brechas volcánicas. Al final del Mioceno comienza una emisión de rocas andesíticas con tendencias básicas hacia el oriente del área, para cambiar probablemente a principios del Plioceno a productos piroclásticos; los cuales se depositaron en cuencas cerradas por los mismos derrames, en combinación con el tectonismo existente.

A fines del Plioceno y principios del Pleistoceno comenzó una nueva etapa volcánica, dominando ahora una composición básica; dicha actividad se desarrolla principalmente al norte del área de estudio con la emisión de basaltos y brechas volcánicas básicas y piroclásticos básicos en general. De igual manera que durante el Terciario Superior, estas emisiones provocan cambios en las condiciones hidrológicas formándose cuencas endorreicas, donde se depositaron productos volcánicos posteriores. Así mismo, en el Cuaternario existe una fuerte actividad de los agentes modeladores del relieve, principalmente la actividad fluvial.

4.2 Fisiografía

Se ubica dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico (ENV) (Raisz, 1964), caracterizada por una zona volcánica que cruza la parte central de México con una orientación aproximada NW-SE, en esta provincia se distinguen grandes estratovolcanes, con orientación general N-S y numerosos volcanes pequeños alineados en dirección NE-SW (Demant, 1978).

El Eje Neovolcánico o Cinturón Volcánico Mexicano (Verma, 1985), es una franja de rocas volcánicas cenozoicas de anchura variable entre 20 y 70 Km, con una orientación sensiblemente este-oeste.

Este cinturón se caracteriza por la presencia de estructuras volcánicas como las siguientes: estratovolcanes, conos cineríticos, domos, calderas, emisiones fisurales, xalapascos, etc., que han emitido diferentes tipos de rocas volcánicas, pero principalmente aquellas de naturaleza andesítica (Demant, 1978).

Según Mooser (1972), el Eje Neovolcánico tiene un arreglo zigzagueante regido por la presencia de un sistema de fracturas ortogonales con direcciones NE-SW, originadas por movimientos transcurrentes.

Demant (1978), considera que el Eje Neovolcánico, más que formar una banda continua de rocas volcánicas, está constituido por un grupo de cinco focos principales de actividad con orientación y características distintas. Dentro de estos focos ha reconocido que los grandes estratovolcanes se asocian a fracturas orientadas N-S, relacionadas a zonas de compresión, y que los volcanes pequeños, la mayor parte de ellos monogenéticos presentan alineaciones NE-SW, correspondientes a fracturas de tensión.

Para la zona de la Cuenca de México, Mooser (et.al,1975) ha reconocido siete fases del vulcanismo ocurridas a partir del Oligoceno, destaca como la más importante a la quinta, que originó a las sierras: Nevada, de las Cruces y de río Frio. La sexta corresponde al desarrollo de conos del Iztaccihualt y el cono activo del Popocatepetl. La última fase corresponde al Pleistoceno y Cuaternario, relacionada con fracturas de orientación este-oeste, como es el caso de la Sierra de Chichinautzin.

En la porción occidental el ENV está limitado por fosas tectónicas como la de Tepic Chapala y la de Colima y hacia la parte oriental el eje está limitado por las rocas volcánicas de la región de los Tuxtlas (Demant, 1978).

La mayoría de los autores coinciden en que la actividad del ENV, comenzó en el Oligoceno y ha continuado hasta el Reciente (Mooser et al., 1974, Negendank, 1972, Blonfield, 1975), pero Demant (1978), considera que el ENV, tiene una edad Plio-Cuaternaria, basado en que el vulcanismo del Oligoceno-Mioceno corresponde más bien a la prolongación de la Sierra Madre Occidental.

La teoría más aceptada sobre su origen es aquella que relaciona éste, al vulcanismo provocado por la subducción de la placa de Cocos debajo de la corteza continental de México, (Mooser et al .,1975, Urrutia y del Castillo, 1977, Demant, 1978).

Quiñones en 1987 clasifica 15 provincias fisiográficas, siendo semejante a la Raiz, con las siguientes diferencias principales: incluye las Grandes Planicies de Norteamérica como provincia independiente mientras que Chiapas la divide en dos provincias: Sierras de Chiapas, Guatemala y Cordillera Centroamericana (Figura 6).

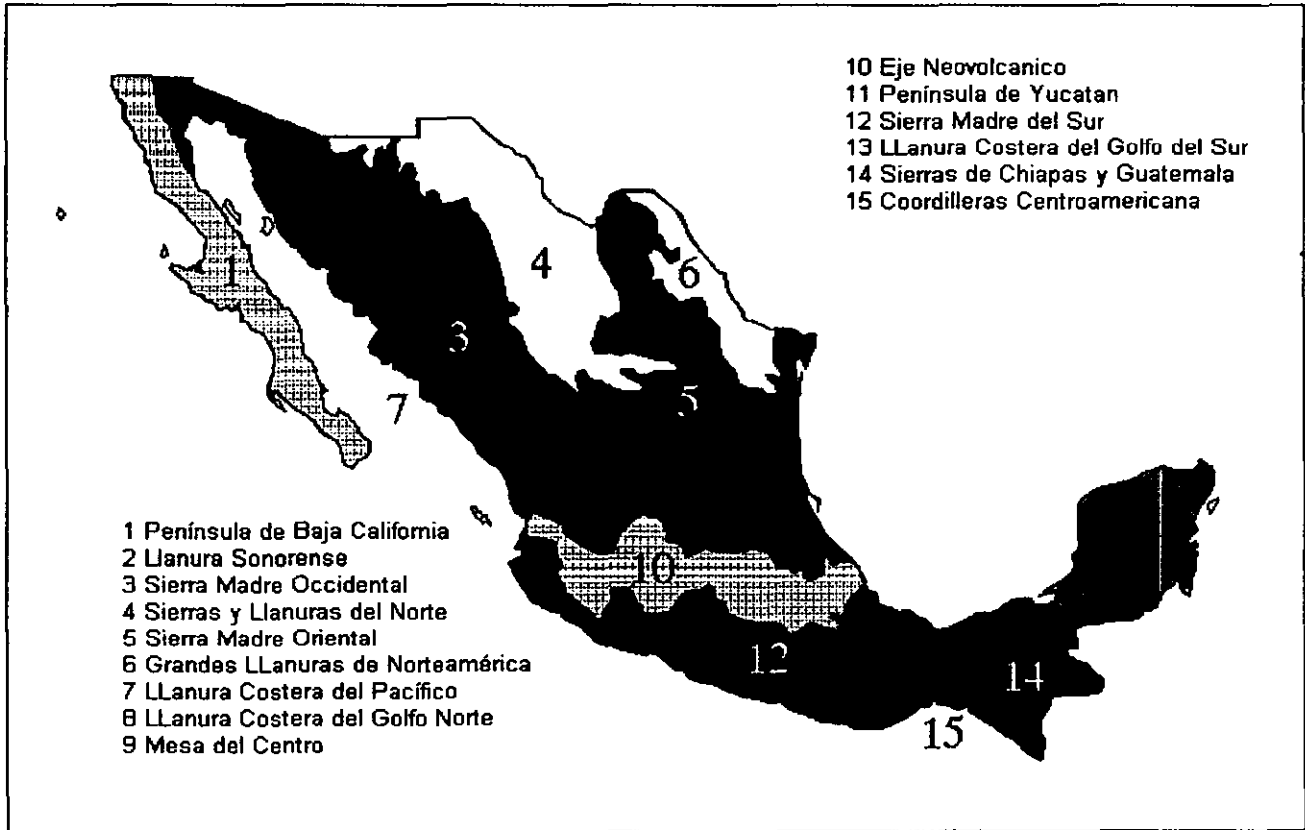


Figura 6.- Provincias Fisiográficas de México (INEGI,1981:H. Quiñónes , 1987).

4.3 Geomorfología

La geomorfología es el estudio de las formas del relieve desde el punto de vista de su génesis, evolución, edad y morfología. La cuenca en estudio pertenece a un vasto complejo volcánico del terciario medio (Neógeno), de composición petrográfica muy variada, formado por la base de las sierras que limitan la zona. Estos elementos del Terciario medio se hallan coronados por los últimos restos de volcanes Pliocénicos que derramaron sus lavas sobre un paisaje previamente nivelado y, por tanto, bastante plano. Subsecuente a un periodo de fracturamiento ocurrido probablemente en el Plioceno medio, que dio origen a bloques estructurales, se formaron extensos abanicos aluviales que descendieron por los flancos de las sierras hacia las partes más bajas, y el hecho de que conserven sus estructuras originales hace suponer que éstos son recientes.

Existen indicios de que a fines del Terciario tuvieron lugar importantes erupciones que produjeron taludes ardientes y lahares cuya sobreposición acumulada formó extensos lomeríos al pie de las sierras, en un complejo litológico conocido como Formación Tarango. Posterior a una etapa de erosión, durante el Cuaternario medio y superior se desarrolló nuevamente vulcanismo, ahora esencialmente andesítico y basáltico.

En el área de estudio se divide en tres zonas que son:

a) La zona montañosa

Que a su vez esta dividida en tres partes: una perteneciente a la sierra de Monte Alto y Monte Bajo, la cual tiene un rumbo general de sureste a noroeste, siendo las rocas de tipo andesítico con derrames abundantes con espesores de 30 -150 m, con numerosas alternancias de material piroclástico y brechas. Cerro los Potrerillos a un altitud de 3605 m. Esta sierra presenta 3 corrientes superpuestas, en forma escalonada de material volcánico emitido durante su formación. Los Potrerillos forman parte de un cono volcánico muy antiguo, ha sufrido un tectonismo muy activo desde fines del Plioceno, originando una red de fracturas y fallas que se cortan en diferentes secciones, constituidas principalmente por andesitas intercaladas con brechas y tobas.

La segunda parte perteneciente a la sierra de Jilotepec esta constituida por andesitas con brechas y tobas. El alineamiento que siguen sus principales edificios supone una serie de fracturas erosionadas en su flanco occidental; también se observan pequeños acantilados y abarrancamientos, con paredes abruptas. Los cerros más representativos son: sobre el parteaguas de sur a norte La Idolatría con una altitud de 2655 m y cerro Grande con una altitud de 2610 m.

La tercera perteneciente a la sierra de Tepotzotlán esta formada por los volcanes más antiguos, formados durante un ciclo de afallamientos producidos durante el Plioceno inferior, provocando la emisión de extensas masas de lavas ácidas (andesitas riolíticas, dacitas y riodacitas), fallas paralelas que se extinguieron también durante el Plioceno. El alineamiento general de la sierra es de suroeste a noreste extendiéndose sus derrames más hacia el norte y noreste que al sur.

Durante el Cuaternario por esfuerzos tensionales se fractura parte de la sierra produciéndose emisiones de material ígneo basáltico que cubrió sus partes media y baja dando origen a una serie de lomas, de menor altura, que forman una continuación orográfica de la sierra de Tepotzotlán hacia el norte de ésta, siendo la más importante la que forma el cerro El Epazote.

b) La zona de elevaciones medias o talud de transición

Forma un gran valle fluvial orientado de suroeste a noreste que va descendiendo en forma suave a partir de los 2650 m a los 2200 m de altitud, donde se considera la parte baja, corresponde a la unidad litológica que pertenece a los depósitos volcánicos heterogéneos formados por aglomerados, brechas, tobas, masas de lodos y escombros clásticos que se apilan de manera caótica formando una rampa transicional entre las montañas y las partes bajas, todo este material a sido arrastrado de las partes superiores y depositado a lo largo de grandes periodos de tiempo de manera que actualmente presenta un buen grado de compactación uniforme.

Los movimientos tectónicos tensionales, han originado fracturamientos y afallamientos que siguen cierto paralelismo y han conformado en el área una estructura de lomeríos y barrancas.

c) La zona baja

Esta orientada de sur a norte y corresponde a la unidad litológica de los aluviones y clásticos del Cuaternario depositados sobre las tobas pseudoestratificadas. Estos materiales son bastantes permeables y porosos, lo cual les da un alto coeficiente de infiltración; por esta zona corre el río Tepeji.

4.4 Estratigrafía

Las unidades que afloran en el área varían del Terciario superior al Reciente, siendo las más abundantes las andesitas, basaltos, brechas, tobas ácidas y tobas híbridas, las unidades restantes se encuentran en menor proporción.

La columna se presenta en la Tabla No.8 y se determinó por su posición estratigráfica en el campo, análisis de estudios anteriores y por correlación en áreas adyacentes. Las descripciones aparecen ordenadas de la unidad más antigua a la más reciente. En la Carta 5 se muestra la distribución litológica

ANDESITA

Definición

Constituye las grandes estructuras volcánicas intensamente fracturadas y falladas.

Distribución

Distribuida ampliamente dentro de la cuenca, en los poblados de Chapa de Mota, cerro Los Ídolos, cerro Los Potrerillos, cerro de Piedra, en las inmediaciones de la presa Taxhimay.

Litología

La roca es de color pardo-rosáceo, de textura porfídica, en el ejemplar de mano se observan fracturas rellenas por fragmentos líticos del mismo origen. Petrográficamente es de textura porfídica, contiene: andesina, labradorita, vidrio y ferromagnesianos oxidados.

Relaciones estratigráficas y edad

Se encuentra subyaciendo a la Formación Tarango, se estima una edad del Mioceno.



Fotografía 4.- Panorámica que muestra el afloramiento de la andesita aguas abajo de la presa Taxhimay.

FORMACIÓN TARANGO

Definición

Bryan (1948) propuso el nombre de Formación Tarango para designar a los sedimentos volcánicos expuestos al suroeste de la colonia Mixcoac de la Ciudad de México en la barranca homónima, donde consta de tobas, conglomerados, depósitos fluviales y capas delgadas de pómez.

Distribución

La unidad esta ampliamente distribuida en el área de estudio, principalmente en los extensos valles intermontanos.

Litología y espesor

La Formación Tarango está constituida por tobas, depósitos vulcanoclásticos, depósitos lacustres y conglomerados. Las tobas son de composición silícea, por lo general contienen fragmentos de pómez.

Los horizontes vulcanoclásticos consisten de ceniza re trabajada, en ocasiones presentan estratificación cruzada. Los depósitos lacustres consisten de arcillas, limos y arenas finas por lo general de colores claros en estratos delgados menores de 20 cm, los conglomerados se encuentran como relleno de paleocanales y como antiguos abanicos aluviales sobre todo en la porción septentrional del área. El espesor expuesto de la formación en la zona es de 60 m.

3

En el pozo Jasso 1 tiene un espesor de 24 m lo cual supone un acúñamiento de la formación de Sur a Norte.

Los cuatro miembros de la Formación tienen las siguientes características litológicas generales:

El más antiguo es el miembro arcilloso que consta de estratos arcillosos color verde y rojizo intercalados con algunos horizontes tobáceos. Los estratos tienen espesores variables entre 20 y 50 cm. En este miembro arcilloso Gasca y Reyes (1977), identificaron mediante análisis de rayos x, arcillas del tipo de la montmorillonita. El espesor estimado para este miembro es de 100 m.

Sobre el miembro arcilloso se encuentra un paquete tobáceo, el cual consiste de tobas silíceas poco consolidadas con abundante contenido de pómez. Este miembro presenta intercalaciones epiclásticas; sus capas tienen espesores hasta de un metro. La secuencia es de color amarillo pálido con tonos de color ocre y presenta un espesor aproximado de 120 m.

Los otros dos miembros que se diferenciaron no presentan una relación estratigráfica clara con los anteriores, por lo que se consideran como cambios laterales.

Uno es de travertino de color crema, algunos densos y otros poco compactos. El espesor estimado para este miembro de travertinos es de 20 cm en la zona no se observó esta unidad.

El cuarto miembro consiste de conglomerados poligmícticos de clásticos de rocas volcánicas, derivados del Grupo Pachuca y de algunas rocas volcánicas del Cretácico. Los líticos presentan una redondez que varía de subangulosos a subredondeados y tamaños entre 2 y 15 cm, predominando los de 4 cm. Este miembro tiene además algunas intercalaciones arenosas y limoarenosas. Su color es de café claro con tonos rojizos y morados. Es espesor de este miembro es de aproximadamente 200 m .

Relaciones estratigráficas

Sobreyace discordantemente a cualquiera de las unidades Mesozoicas o Terciarias del área. Subyace a la unidad de basaltos cuaternarios y a los depósitos aluviales y de talud.

Edad y correlación

Por su posición estratigráfica se le asignó una edad correspondiente al Plioceno-Pleistoceno.



Fotografía 5.- Intercalaciones de tobas vítreas híbridas, tobas vítreas, pumicita y fragmentos de roca. Localidad la Cañada hacia la parte alta de San Luis Taxhimay.



Fotografía 6.- Vista del afloramiento de la Formación Tarango, localidad la Cañada.

BASALTO CUATERNARIO

Definición

Se define a la secuencia volcánica más joven del área que consiste de derrames basálticos.

Distribución

Estos basaltos se encuentran expuestos en la margen derecha de la presa Requena.

Litología

Los basaltos son de labradorita-andesina, con textura microlítica-ofítica, presentan color gris oscuro, frecuentemente exhiben estructuras en bloques en la parte superior de derrame y estructuras columnares en la parte inferior del derrame.

Relaciones estratigráficas y edad

Se observa sobre las rocas de la Formación Tarango. Los basaltos andesíticos fluyeron en diferentes episodios a lo largo de valles fluviales labrados en dicha formación y porque presentan interdigitaciones con los sedimentos aluviales, se le asignó una edad correspondiente al Cuaternario.



Fotografía 7.- Vista del basalto cuaternario, se observan los basaltos prismáticos en la parte inferior del derrame. Localidad presa Requena, margen derecha.



Fotografía 8.- En la imagen se puede apreciar los prismas a mayor detalle de este basalto. Margen derecha de la presa Requena.

DEPÓSITOS RECIENTES

Esta unidad agrupa aquellas acumulaciones no consolidadas de origen continental. Aluvión: consiste de depósitos de acarreo fluvial que se acumularon en los lechos de ríos y arroyos en áreas topográficamente bajas y taludes constituidos por materiales acumulados al pie de la sierras.

Distribución

Los depósitos recientes están distribuidos a lo largo del río Tepeji, con un área de 2.8 km², de menor espesor, el pueblo de Tepeji se encuentra sobre estos depósitos.

Litología y espesor

Los depósitos aluviales consisten de gravas, arena y limos de tamaños variables hasta de 50 cm, con un grado de redondez desde anguloso hasta subredondeado. El espesor estimado para estos depósitos es de 20 cm (Fotografía 9).

Los depósitos de talud están compuestos por fragmentos líticos de diferente composición sin clasificar, con tamaños hasta de 1m, los fragmentos son angulosos y se encuentran en una matriz arcillo-arenosa.

Relaciones estratigráficas

Estas acumulaciones cubren discordantemente a todas las unidades litoestratigráficas que afloran en el área.

Edad y correlación

En base en su posición estratigráfica, se le asigna una edad correspondiente al Cuaternario.



Fotografía 9.- Se puede apreciar el espesor del aluvión aproximado de unos 20 cm, afloramiento sobre el río Tepeji.

4.5 Geología histórica

La historia geológica a nivel regional se encuentra representada por una secuencia volcano-sedimentaria del Jurásico superior-Cretácico inferior, la que fue plegada y metamorfizada en el Cretácico medio según Campa (1976) localizada en Tlalpujahuá de Rayón al noroeste fuera del área de estudio. Al finalizar el Cretácico superior, tanto al norte como al sur de la cuenca de México, existió una regresión de los mares y fue afectada, por la Orogenia Hidalguense (de Cserna, 1960) que consistió en una serie de plegamientos por esfuerzos de compresión que afectaron a los sedimentos que se depositaron durante el Mesozoico en el oriente de México.

Durante el principio y a mediados del Eoceno, el levantamiento posterior de toda la faja plegada originó esfuerzos tensionales y consecuentemente, fracturamiento en bloques (Fries, 1960). Datos del subsuelo en la porción central y más baja de la cuenca de México, indican que la parte basal del Terciario sufrió un hundimiento de por lo menos 1000 m con respecto a sus afloramientos en el área de Cuernavaca. En estas fosas tectónicas y en las cuencas producidas por la disolución de las calizas, se depositaron los

tectónicas y en las cuencas producidas por la disolución de las calizas, se depositaron los primeros sedimentos continentales del Terciario, representados por el Grupo Balsas constituidos predominantemente, en su base, por clásticos gruesos derivados de la erosión de las sierras cretácicas y de los productos de un vulcanismo contemporáneo, de composición intermedia a básica, desconociéndose la fuente de este material volcánico, pero se supone que las extrusiones se produjeron a lo largo de las mismas fracturas que dieron lugar a la formación de las fosas.

Al disminuir la intensidad de la erosión, predominaron en las cuencas los aluviones finos y los sedimentos lacustres que se encuentran asociados con depósitos de yeso. En la parte superior de esta secuencia continental aumentó la abundancia de los productos volcánicos hasta que estos predominaron en el Oligoceno medio.

Una intensa actividad volcánica andesítica prevaleció en el centro de la Cuenca de México durante el Oligoceno medio, más al norte, en las cercanías de Pachuca, el vulcanismo fue de tipo ácido, en Huehuetoca y en particular en las zonas cercanas a la zona de estudio es de intermedio y ácido.

En la Cuenca de México, este periodo de vulcanismo dio lugar a la formación de aparatos volcánicos constructivos como estratovolcanes, domos y a veces se desarrollaron calderas. De estos centros vino una gran producción de lavas, principalmente riodacíticas, en toda la Cuenca de México. Los abundantes clásticos derivados de su erosión quedaron acumulados en parte de las laderas de las sierras.

En el centro de la Cuenca de México esta fase de vulcanismo perduró durante todo el Mioceno y parece haber terminado al inicio del Plioceno, sin embargo continuó en los bordes de la misma, lo que hace suponer que los centros eruptivos eran independientes. Sobre la subestructura constituida por las rocas volcánicas del Terciario medio, se formaron, por asociación sucesiva de unidades extrusivas, los complejos de las grandes sierras que delimitan la Cuenca de México (sierras de las Cruces, Río Frío, Nevada, Chichinautzin y Zempoala). Este proceso se efectuó en gran parte en el Plioceno y continuó durante todo el Cuaternario. Un periodo importante de erosión, en el cual fueron recortadas profundamente las antiguas sierras dando lugar a grandes cantidades de detritos que se acumularon en sus bases; el material más fino fue arrastrado hacia el fondo de la cuenca.

Hacia el final del Plioceno empezó la actividad de la zona volcánica meridional, cuyos productos se acumularon embalsando el valle hacia el sur. Se cerró así la Cuenca de México en la cual se acumularon rápidamente potentes aluviones y sedimentos lacustres, interestratificados con horizontes piroclásticos que atestiguan de la continua actividad explosiva de los centros volcánicos durante su depósito. Se cree que el gran espesor de estos sedimentos no se hubiera logrado al cerrarse la cuenca solo en el Cuaternario, como la afirma Mooser (1963). El vulcanismo en la zona media continuó hasta épocas muy recientes, paralelamente con el vulcanismo de las partes altas de las sierras, aunque de un tipo más básico y aparentemente independiente.

En el área de estudio las rocas expuestas cubren a una antigua topografía, durante el lapso Eoceno-Oligoceno, que a partir de las estructuras plegadas originadas por la fase compresiva Finicretácica-Eocena que afectó a los sedimentos mesozoicos de la Cuenca de México.

Durante el Plioceno, continuó el vulcanismo, ahora intermitente y de carácter piroclástico y de composición ácida, cuyos productos se acumularon principalmente en las partes bajas, interestratificadas, localmente con gravas de composición andesítica.

Hacia fines del Mioceno tuvo lugar el origen del volcán de Jocotitlán y el fallamiento de Acambay, que se manifiesta en el área con el vulcanismo básico.

La zona de estudio presenta como característica estructural principal, alineaciones bien definidas de los aparatos volcánicos y de sus respectivos derrames; en efecto, tal es el caso de la sierra de las Cruces que presenta una alineación NW 35°SE; en forma paralela se ubican también las sierras de Guadalupe, La Muerta y la de Jilotepec-Tepeji del Río.

En forma paralela a los sistemas de fracturamiento mencionados se distribuyen los principales valles vulcanoclásticos, como es el caso del de Villa del Carbón-San Luis Taxhimay; en el caso de estos valles vulcanoclásticos se prevé la presencia de una gran cuenca antes de su depósito, originada por un conjunto de fosas tectónicas. Se considera que la orientación de los sistemas de esfuerzos definidos corresponden al Terciario superior y Pleistoceno.

Tabla No.8 Columna estratigráfica

ERA	SISTEMA	SERIE	(1) CHAPA DE MOTA - JILOZINGO	(2) VILLA DEL CARBON - SAN BARTOLO	(3) TEPEJI DEL RIO	(4) TEPEJI DEL RIO	(5) POZO JASSO - 1	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Aluvial Residual Coluvial	Cenizas	Aluvión y suelos residuales	Aluvión Basalto Jilotepec Pomez holocénica Volcánico basáltico (SIC)	Aluvión Basaltos	0.20 m Aluvión 24 m Fm. Tarango
		PLEISTOCENO	Fm. TARANGO Tobas, derrames y brechas basálticas Disgregables de variadas texturas con presencia de vidrio ácido, incluye pequeños estratos de arenisca y conglomerado.	Depósitos vulcanoclásticos Brecha volcánica Basalto afanítico	Depósitos vulcanoclásticos Brecha volcánica Basalto afanítico	Conglomerados Capas Lacustres	Fm. TARANGO Tobas vítreas Tobas arenó - limosas Toba pumiceítica Conglomerado poligmético	189 m Fm. Cuautla 285 m Fm. Agua Nueva Basal
	TERCIARIO	PLIOCENO	existen volcanes dómicos de composición basáltica.	Depósito volcánico mixto	Conglomerado oligomítico de andesita y arenisca interestratificada	Miembro arcilloso	Miembro tabáceo	Fm. El Abra 698 m
		MIOCENO	Tobas y derrames riolíticos y andesíticos.	Depósito volcánico mixto	Cenizas depositadas en medio lacustre interestratificadas con conglomerados, arenisca y caliza	Fm Jalpan	Andesitas basálticas muy fracturadas	Fm. Agua Nueva Basal 747 m Fm. Cuautla, (pliegue recumbente) 770 m
		OLIGOCENO			Basalto masivo Andesita masiva Andesita en bloques Andesita interestratificada con brechas volcánicas Lutitas (SIC)			Fm. Agua Nueva Basal 1084 m
		EOCENO						Fm. El Abra 1690 m
		PALEOCENO						Fm. Soyatal (falla) 2048 m
	MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR			Mexcala		Fm. El Abra 2286 m
			MEDIO					Fm. Soyatal (falla) 2522 m Fm. El Abra 2927 m Fm. El Abra (unidad de anhidritas y dolomías) 5000 m

(1) SARH, Panamericana de Consultoría, Investigación y Proyectos, 1981

(4) La autora de este trabajo de tesis, 2001

(2) SARH, EXYCO, SA, 1984

(5) PRMEX, 1982

(3) Rafael Huizar, Tesis maestría, 1982

99° 25'

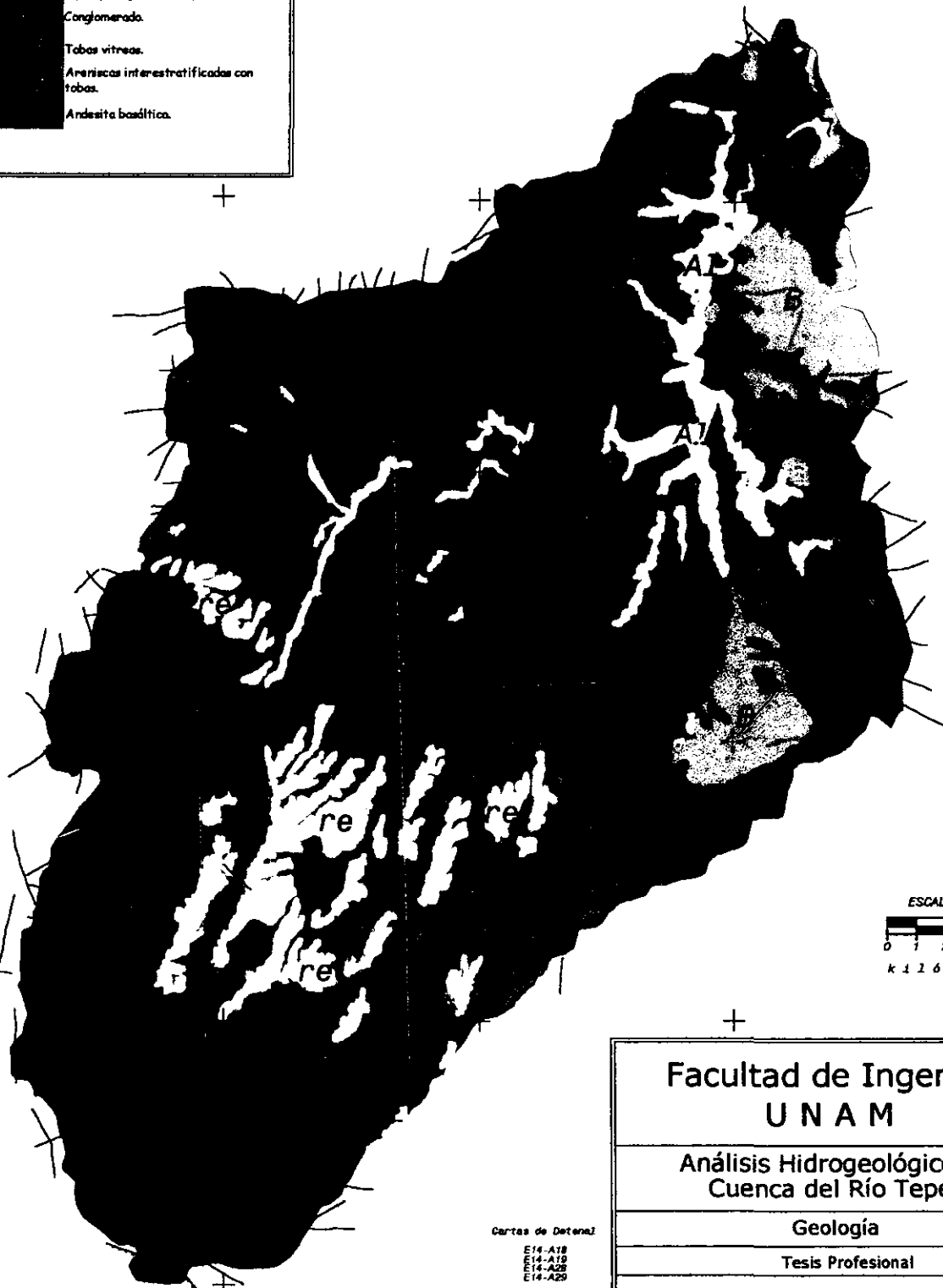
99° 20'

99° 16'



SIMBOLOGÍA

AI	Arenas, limos y arcillas sin consolidar.
re	Limos y arcillas, con espesores no mayores a 2 m.
B	Basalto de composición andesítica.
	Brecha volcánicas, constituidas por lapilli y fragmentos mayores.
	Conglomerado.
	Tobos vitreos.
	Areniscas interestratificadas con tobos.
	Andesita basáltica.



Facultad de Ingeniería UNAM	
Análisis Hidrogeológico de la Cuenca del Río Tepeji	
Geología	
Tesis Profesional	
Diego Obispo González	Carta 5

Cartas de Detalle

- E14-A18
- E14-A19
- E14-A20
- E14-A21

Digitizada por la autora

99° 35'

99° 30'

99° 25'

19° 00'

19° 55'

19° 50'

19° 45'

19° 40'

5.-HIDROGEOLOGÍA

5.1 Provincia hidrogeológica

La región hidrogeológica conocida como Eje Neovolcánico coincide aproximadamente con la provincia fisiográfica del mismo nombre; se localiza en el centro del país, cubre un área de casi 130,000 Km² y se extiende parcial o totalmente sobre algunos estados de la República Mexicana como es el caso de nuestra área de estudio. Esta región es alargada y de forma irregular, con una longitud de 950 km este-oeste y una anchura promedio de 110 km, (Velásquez y Ordaz, 1992).

Tiene una gran variedad de condiciones climáticas debida a su topografía montañosa y a su amplio rango de elevaciones. Los climas dominantes son:

- Tropical y húmedo templado en la porción oeste.
- Subhúmedo árido templado en la mesa central.
- Frío, húmedo a árido en las áreas montañosas de la porción noreste.

La precipitación oscila entre 300 y 4,000 mm/año y está determinada en principio por la orografía; (en el área de Villa del Carbón-Tepeji es de 826 mm/año), una gran parte de la región recibe más de 500 mm/año y sólo en pocas áreas de la porción norte recibe menos. La precipitación en las regiones montañosas es superior a los 1,200 mm/año y en las sierras más altas excede los 2,000 mm/año; la temporada de lluvia es en verano, a principios de otoño y disminuye en invierno; en general, hay un patrón de lluvias aisladas en la región y abundan las heladas en los picos más altos. La temperatura promedio anual varía, en relación con la altitud, entre 13° y 23° C; las temperaturas registradas son menores en las áreas montañosas y aumentan en las partes bajas de la cuenca. En el verano el promedio de la temperatura diaria tiene rangos de 15° a 26° C, (14°-16° C en el área de este trabajo), con altas de 36° C; durante el invierno el promedio de temperatura diaria es de 12° a 20° C, con bajas de -5° C en las montañas.

Las condiciones anteriores producen valores de evaporación potencial de 1,600 a 2,000 mm/año, (673-1079 mm en este trabajo, ver Tabla No.6), aunque su promedio sea mayor que la precipitación. Hay un exceso de ésta durante la estación de lluvias, las cuales generan flujo y recargas a los acuíferos.

Los derrames basálticos y la mayoría de las rocas que se extienden en todo el Eje Neovolcánico se caracteriza por una alta permeabilidad que varía en un amplio rango, controlado principalmente por su grado de fracturamiento y la intercalación de material escoráceo.

En el subsuelo de los valles, las rocas consolidadas y no fracturadas abajo del nivel regional de saturación forman barreras para el flujo de agua subterránea, como los derrames andesíticos que funcionan como basamento geohidrológico; en el caso de los valles tectónicos, este basamento se puede encontrar en cientos de metros de profundidad. Los derrames de rocas no fracturadas intercaladas con relleno aluvial en diferentes profundidades forman acuíferos independientes en rocas adyacentes. En contraste, la mayoría de las rocas de composición riolítica, presente en la parte norte de esta región y que se extiende dentro de las cuencas aluviales en el sur, forma acuíferos de gran densidad y de permeabilidad moderada debido a su fracturamiento.

En las partes más bajas de las cuencas, los acuíferos en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales de menor permeabilidad, por lo que son acuíferos confinados o semiconfinados y se caracterizan por un coeficiente de almacenamiento bajo, debido a su virtual incompresibilidad.

Los piroclastos que forman el acuífero en la zona estudiada, tienen una alta porosidad, aunque su permeabilidad sea baja; en la zona de saturación funcionan como acuitardos, los cuales en escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes. Estos materiales abundan en la base de los volcanes aunque con un espesor menor, son menos porosos y más permeables que los de arriba.

Ampliamente distribuidos en la superficie se encuentran los depósitos lacustres muy porosos y de poca permeabilidad del Plioceno tardío, que forman acuitardos de algunos metros de espesor y de grandes volúmenes de agua. En un nivel regional, estos depósitos contribuyen al gran volumen de agua de los acuíferos adyacentes, ya sea natural o de bombeo.

Los materiales aluviales no consolidados, gravas, arenas y sedimentos finos, están ampliamente expuestos en los valles y forman acuíferos someros. Su permeabilidad y transmisividad varía de acuerdo con el tamaño del grano y del espesor. El coeficiente de transmisividad varía según el tamaño y del espesor. El coeficiente de transmisividad de los acuíferos aluviales oscila entre 5×10^{-4} y 5×10^{-2} m²/s. El espesor y la alta permeabilidad de los clásticos son comunes en los arroyos, también forman canales activos y viejos que funcionan como acuíferos semiconfinados.

El agua circula preferencialmente a través de los estratos más permeables, los cuales presentan menos resistencia al flujo del agua subterránea y tienden a cruzar los estratos menos permeables por la ruta más corta. Cuando estos estratos se encuentran en la parte superior de la secuencia estratigráfica, la mayoría de las aguas infiltradas se incorpora al sistema local, caso muy frecuente en el Eje Neovolcánico. Los flujos de lava basáltica y los gruesos paquetes de piroclásticos que forman el mayor volumen de las rocas volcánicas jóvenes, producen excelentes áreas de recarga y rápidamente transmiten el agua a profundidad, alimentando al acuífero profundo, debajo de los valles adyacentes.

En el subsuelo de los valles y planicies lacustres, el agua se desplaza hacia las áreas de descarga. De acuerdo con las observaciones realizadas y con planteamientos teóricos parece que hay una continuidad hidráulica de la zona saturada, consistente en el relleno, que constituye un sistema de flujo sólo, además de que todos los estratos están hidráulicamente interconectados. No obstante, debido a la heterogeneidad y anisotropía del relleno, diferencias significantes en la carga hidráulica, temperatura y calidad del agua en el sentido vertical.

Eje Neovolcánico	Un área de montañas altas compuesta por una secuencia compleja de rocas volcánicas del cenozoico, con fosas profundas rellenas Eje Neovolcánico terciario y cuaternario	T	K	R	Q
		m ² /d	m/d	mm/año	l/s
		100-10,000	10-500	10-100	10-150

Fuente: Luis Velásquez- Anselmo Ordaz. Provincias hidrogeológicas de la República Mexicana. Boletín del instituto de Geografía No. 25 México.

5.2 Unidades hidrogeológicas

La unidad hidrogeológica es una clasificación que se utiliza para diferenciar unidades litológicas en base a su características físicas y su comportamiento para poder almacenar o infiltrar agua. Las unidades hidrogeológicas están formadas por una variedad de unidades litológicas con características hidrogeológicas similares.

El estudio litológico es importante para determinar el grado de porosidad y permeabilidad del material; la porosidad de una roca está determinada por la proporción de huecos o intersticios y difiere de una material a otro así: los depósitos de arcilla, limo, arena y grava sin consolidar pueden tener porosidades que varían entre el 20% y 50%, pero cuando estos depósitos se consolidan y forman rocas sedimentarias por cementación, la porosidad se reduce notablemente.

Otro factor que determina el grado de infiltración, es la conductividad hidráulica es la capacidad de las rocas para transmitir el agua, entre los materiales que pueden formar acuíferos y áreas de alimentación de las corrientes se encuentran, la arenisca fracturada, la grava poco consolidada, rocas ígneas fracturadas como el basalto y la andesita actúan como acuíferos.

La combinación de rocas como la andesita, la brecha volcánica y la asociación de areniscas y tobas tienen características que permiten una absorción adecuada de agua.

La presencia de rocas ígneas en la zona montañosa de este trabajo da lugar a la formación de recarga de acuíferos, debido a que estas rocas están fracturadas. Hacia el suroeste de la cuenca, se encuentran 5 manantiales cerca del cerro de La Bufa, en las inmediaciones del pueblo Santa María Quelites, La Manzana, El Águila y el Cuervo.

Se tiene la siguiente clasificación con respecto a su funcionamiento:

Aluvión y conglomerados (Al-Cgl)

- Porosidad media, reducido espesor.
- Buenas condiciones de infiltración del terreno superficial, por ser terrenos arables y removidos.
- Cede el agua a las tobas areno limosas.

Como la unidad fracturada tenemos al grupo formado por las andesitas, brechas volcánicas y basaltos (And-Bv-B)

- a) Adquiere permeabilidad secundaria por fracturamiento
- b) Infiltración moderada
- c) Recarga pobre por su extensión reducida
- d) Almacenamiento en función de su posición topográfica

Como a la unidad granular tenemos al grupo de las Tobas

Esta unidad está comprendida por una serie de pseudoestratos los cuales son :

Tobas vítreas.- porosas y con infiltración lenta

Toba areno limosas.- conductividad hidráulica media por la ocurrencia de arena

Toba pumicítica.- muy permeable, acuífera

Conglomerado poligmítico intercalado entre tobas arenosas y limoarcillosas, la infiltración se lleva a cabo en los horizontes arenosos y conglomerados

5.2.1 Infiltración

Es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra. Se consideraron tres subsistemas para calcular la infiltración total, lluvia, cuerpos de agua y corrientes superficiales.

Infiltración por lluvia

Constituye el volumen de agua que ingresa al acuífero en forma anual proveniente de una parte de las precipitaciones que se presentan en la zona donde se localiza el acuífero. Por lo general representa junto con los volúmenes por riego la recarga principal de los acuíferos.

Infiltración por corrientes superficiales

Corresponde al volumen infiltrado anualmente a través de cauces que alimentan a los acuíferos cuando las superficies de los niveles piezométricos se ubican debajo de los lechos de los ríos.

Infiltración por cuerpos de agua

Volumen de agua infiltrado anualmente a través de lagos, lagunas, vasos de almacenamiento y similares que recargan a los acuíferos. La infiltración es el proceso en el que el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo hacia el manto freático.

Tabla No. 9
Unidades hidrogeológicas

Unidad	Litología	Sup. Km ²	Pendiente del terreno	Tipo de drenaje	Densidad de drenaje	Densidad de fracturamiento	No. de aprov.	Vegetación	Tipo de Suelo	Funcionamiento hidrogeológico
1	Al-Cgl	22.8	<1.5°	rectangular	alta	cero	cero	matorral subinerme, nopalera, agricultura de temporal permanente anual	Limo-arcilloso	área de recarga
2	And-Bv-B	305	24°-45°	paralelo	media	denso	cero	pastizal inducido, vegetación secundaria, matorral espinoso, bosque natural	Limoso, arcilloso a pedregoso	área de recarga
3	Tb vítrea Tb areno- limosa Tb - pumicitica Cgl - poligmíctico	364	<1.5°	dendrítico	baja	cero	58	Bosque natural de encino, agricultura de temporal, pastizal inducido, erosión hídrica moderada	Arcilloso-limoso	acuífero

5.3 Aprovechamientos de agua subterránea

La mayoría de los aprovechamientos se encuentran en la cuenca baja de Tepeji del Río, concentrados a lo largo del río Tepeji y en el pueblo del mismo nombre (Carta 6). Los datos de la Tabla No.10-A fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), dichos datos son los actualizados para este año. En la Tabla No. 10-B se tiene mayor información de los aprovechamientos.

Tabla No. 10-A

Uso	Volumen de extracción 10 ⁶ m ³ /año	Aprovechamientos
Municipales	3.711	23
Industrial	2.005	18
Agrícola	1.011	17
Total	6.728*	58

*Volumen concesionado, CNA-GAS(Gerencia de Aguas Subterráneas), 2001

5.4 Posición de los niveles del agua subterránea

En la zona no existe una historia de niveles estáticos, la CNA no cuenta con esta información, lo cual dificulta la tarea para realizar un estudio de piezometría en la zona, así que no se conoce el descenso anual de los niveles.

En el Estudio de Fotointerpretación Geohidrológica, SARH, 1984; registró niveles estáticos que variaban entre 3.60 y 50.60 m con un promedio de 20 m los niveles profundos se encuentran hacia el sureste de la cuenca.









La autora de este trabajo tomó datos de niveles estáticos de pozos cercanos a San Luis Taxhimay y Tepeji del Río los cuales son:

Nombre del pozo	Fecha de visita	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)
Macavaca	18-04-2001	34.35	41.5
San Luis Taxhimay	"	-	63.10
La Cañada	"	23.83	-
Barraca de Bata	14-05-2001	-	38.73

5.5 Modelo conceptual de funcionamiento

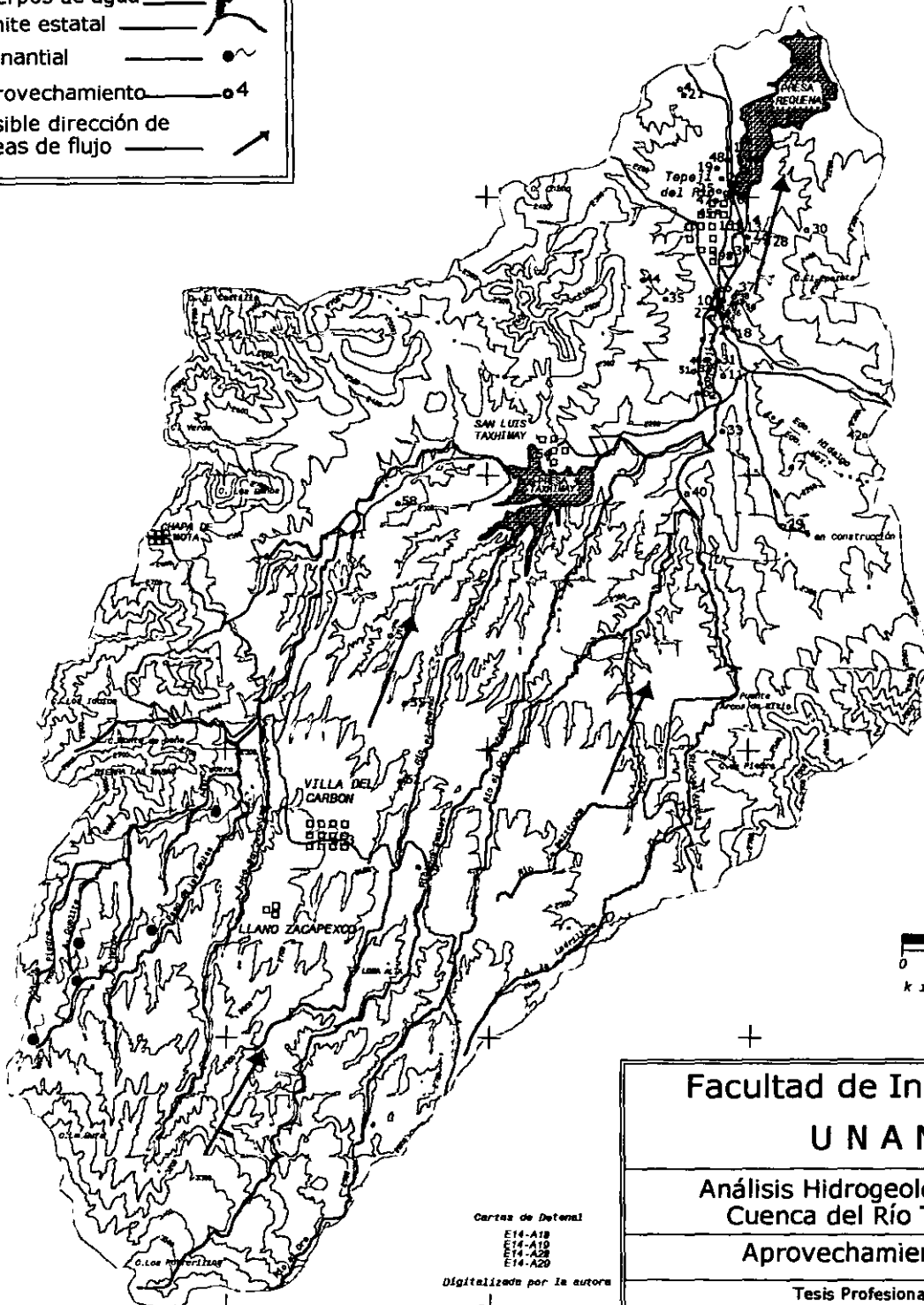
La precipitación más abundante es hacia el sur de Villa del Carbón y reducida hacia Tepeji del Río, siendo el sistema de precipitación de tipo orográfico. El agua de lluvia cae principalmente en materiales y rocas semipermeables de tipo granular y rocas

SIMBOLOGÍA

- Poblados 
- Camino 
- Curvas de nivel  (Equidistancia entre curvas 100m.)
- Cuerpos de agua 
- Límite estatal 
- Manantial 
- Aprovechamiento  4
- Posible dirección de líneas de flujo 



NORTE



ESCALA GRÁFICA



**Facultad de Ingeniería
UNAM**

**Análisis Hidrogeológico de la
Cuenca del Río Tepeji**

Aprovechamientos

Tesis Profesional

Dacia Obispo González

Carta 6

Cartas de Detalle

- E14-A18
- E14-A19
- E14-A20
- E14-A22

Digitalizada por la autora

fracturadas, iniciándose el proceso de recarga hacia los acuíferos desde zonas topográficamente altas, además el agua de infiltración, se generan escurrimientos superficiales que son controlados por las presas construidas, regulando de esta manera los escurrimientos aguas abajo de la cortina, para continuar interactuando con el terreno, y así recargar el subalvio y márgenes río Tepeji.

El desarrollo vegetal principal se tiene hacia la parte sur y suroccidental de la zona, siendo en esta zona donde un porcentaje del agua de precipitación se pierde en evapotranspiración.

La zona de almacenamiento del agua corresponde a la unidad de las tobas, el área de recarga a las unidades And-Bv-B-Cgl con un área de 328 Km², el aluvión sirve como área de infiltración.

El acuífero se denomina de libre a semiconfinado por las características de la Formación Tarango.

5.6 Calidad del agua superficial

El conocimiento de la disponibilidad del agua en cantidad y calidad en las diferentes regiones hidrológicas en que se divide el país, es por una parte una necesidad para quienes elaboran programas encaminados a un mejor uso y aprovechamiento del recurso, y por otra parte, una demanda por parte de los diferentes grupos que conforman la sociedad, de saber la situación que guarda el agua en el país.

A partir de 1969 la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos realizó diversos estudios de calidad del agua en corrientes superficiales, subterráneas y zonas costeras, con la finalidad de conocer la calidad del agua que guardaban estos cuerpos. En 1974 la SRH pone en funcionamiento la Red Nacional de Monitoreo, y actualmente se tienen en operación 803 estaciones en el país. Esta red cubre los estados de la República y 29 de las 37 Regiones Hidrológicas.

El río Tepeji cuenta con tres estaciones, la primera de ellas instalada en el puente Tepeji-El Salto, la segunda en la obra de toma de la presa Requena y la tercera en la descarga de la refinería de PEMEX en Tula. En estas estaciones se tiene información desde 1984 hasta 1994, analizándose en promedio un total de 15 parámetros.

5.6.1 Índice de calidad del agua (ICA)

El monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua del país, consiste en la determinación de entre 18 y 38 parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua.

El ICA indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como un valor relativo (expresado en porcentaje) del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento y para el agua en excelentes condiciones cercano a 100%.

Son 18 los parámetros que se utilizan en la determinación del ICA y estos se clasifican en cuatro categorías: cantidad de materia orgánica presente, medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y oxígeno disuelto (OD); cantidad de organismos

bacterianos, medida como coliformes fecales (CF) y totales (CT); materia iónica medida por la alcalinidad (A), dureza, cloruros (Cl), conductividad eléctrica (CE), concentración de iones hidrógeno (ph), grasas y aceites, sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD), nutrientes (nitrógenos en forma de nitratos (NO₃), amoníaco (NH₄) fosfato en forma de fosfatos (PO₄) y detergentes (D); y finalmente las características físicas medidas por medio del color y la turbiedad (T).

El oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, son los parámetros de mayor peso en el valor del ICA.

La metodología para determinar el ICA es la siguiente:

Primero: se determina el índice de calidad de cada uno de los parámetros, para lo cual se utilizan las siguientes ecuaciones establecidas en la Tabla No.11.

Segundo: una vez determinados todos los índices de calidad de los parámetros se calcula el ICA con la siguiente ecuación:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

ICA = índice de Calidad del Agua

I_i = índice de calidad para el parámetro i

W_i = coeficiente de ponderación del parámetro i

n = número de parámetros

Tercero: por último, el valor numérico del ICA se compara con los criterios generales de calidad del agua establecidos de acuerdo al uso que se le da al recurso, dichos criterios son los siguientes:

Abastecimiento público

ICA%

90-100	Excelente.- No se requiere de purificación para su consumo.
80-90	Aceptable.- Purificación menor requerida.
70-80	Levemente contaminada.- Dudoso su consumo sin purificación.
50-70	Contaminada.- Tratamiento de potabilización necesario.
40-50	Fuertemente contaminada.- Dudosa para consumo.
0-40	Excesivamente contaminada.- Inaceptable para consumo.

Tabla No. 11
Coefficientes de ponderación del ICA

PARAMETRO	FORMULA	UNIDAD
Potencial Hidrógeno, Ph	$I_{pH} = 10^{0.2335Ph+0.44}$ $I_{pH} = 100$ $I_{pH} = 10^{4.22-0.293pH}$	Si pH < 6.7 Si 6.7 > pH < 7.3 Si pH > 7.3
Color, C	$I_c = 123(C)^{-0.295}$	Unidades platino-cobalto (UtCo)
Turbiedad, T	$I_t = 108(C)^{-0.178}$	Unidades de turbiedad Jackson (UTJ)
Grasas y aceites, GA	$I_{ga} = 87.25(GA)^{-0.298}$	Miligramos por litro (mg/l)
Sólidos suspendidos, SS	$I_{ss} = 266.5(SS)^{-0.37}$	Miligramos por litro (mg/l)
Sólidos disueltos, SD	$I_{sd} = 109.1-0.0175(SD)$	Miligramos por litro (mg/l)
Conductividad eléctrica, CE	$I_{ce} = 540(CE)^{-0.379}$	Micro siemens/centimetro (ms/cm)
Alcalinidad, A	$I_a = 105(A)^{-0.186}$	Miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCo3/l)
Dureza total, D	$I_d = 10^{1.974-0.00174D}$	Miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCo3/l)
Nitrógeno de nitratos, NO3	$I_{NO3} = 162.2(NO3)^{-0.343}$	Miligramos por litro (mg/l)
Nitrógeno amoniacal, NH3	$I_{NH3} = 45.8(NH3)^{-0.343}$	Miligramos por litro (mg/l)
Fosfatos totales, PO4	$I_{po4} = 34.215(PO4)^{-0.46}$	Miligramos por litro (mg/l)
Cloruros, Cl	$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223}$	Miligramos por litro (mg/l)
Oxígeno disuelto, OD	$I_{od} = [(OD)/(\%ODsat)] * 100$	100 miligramos por litro (mg/l)
Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO	$I_{dbo} = 120(DBO)^{-0.673}$	Miligramos por litro (mg/l)
Coliformes totales, CT	$I_{ct} = 97.5(CT)^{-0.27}$	Número más probable en 100 mililitros (NMP/100ml)
Coliformes fecales, CF	$I_{cf} = 97.5[5/(CF)]^{-0.27}$	Número más probable en 100 mililitros (NMP/100ml)
Detergentes, DE. Sustancias Activas al Azul de Metileno, (SAAM)	$I_{sa} = 100-16.678(DE)+0.1587(DE)^2$	Miligramos por litro (mg/l)

Agrícola

90-100	Excelente.- No se requiere de purificación para riego.
70-90	Aceptable.- Purificación menor para cultivos que requieren de alta calidad de agua para riego.
50-70	Levemente contaminada.- No se requiere tratamiento para la mayoría de los cultivos.
30-50	Contaminada.- Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
20-30	Altamente contaminada.- Uso sólo para cultivos muy resistentes, por ejemplo forrajes.
0-20	Excesivamente contaminada.- Inaceptable para riego.

Pesca y vida acuática

70-100	Excelente.- No existen problemas para pesca y vida acuática.
60-70	Aceptable.- Límite para peces muy sensibles.
50-60	Levemente contaminada.- Dudosa la pesca sin riesgos.
40-50	Contaminada.- Vida acuática limitada a especies resistentes.
30-40	Altamente contaminada.- No apta.
0-30	Excesivamente contaminada.- Inaceptable para vida acuática.

Industrial

90-100	Excelente.- No se requiere de purificación.
70-90	Aceptable.- Purificación menor para industrias que requieren de alta calidad de agua para su operación.
50-70	Levemente contaminada.- No se requiere tratamiento para la mayoría de las industrias de operación normal.
30-50	Contaminada.- Tratamiento requerido para la mayoría de los usos.
20-30	Altamente contaminada.- Uso restringido para actividades burdas.
0-20	Excesivamente contaminada.- Inaceptable para cualquier industria.

Recreación

70-100	Excelente.- Aceptable para cualquier tipo de deporte acuático.
50-70	Aceptable.- Restringir deportes de inmersión (buceo), precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
40-50	Levemente contaminada.- Dudosa para contacto con el agua.
30-40	Contaminada.- Evitar contacto, únicamente con lanchas o botes.
20-30	Altamente contaminada.- No apta.
0-20	Excesivamente contaminada.- Inaceptable para recreación.

Los valores del ICA fueron obtenidos de un estudio integral de la calidad del agua en la Gerencia Regional de Agua del Valle de México (GRAVAMEX) y permitieron determinar la calidad del agua superficial en las principales corrientes y cuerpos de la región (Tabla No.12).

Tabla No.12
Clasificación de calidad de agua en las estaciones de monitoreo.

Nombre de la estación	Corriente	ICA mínimo (época de estiaje)	ICA máximo (resto del año)	Calificación general de la calidad del agua (época de estiaje)	Calificación general de la calidad del agua (resto del año)
Pte. Río Tepeji	Río Tepeji	30	59	Inaceptable	Contaminada
Presa Requena	Río Tepeji	50	55	Contaminada	Contaminada

FUENTE: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR),1997.

El río Tepeji. Cuenta con tres estaciones de observación, el promedio fue de 37 y 51 puntos ICA en estiaje y resto del año, lo que indica que las aguas de este río se consideran excesivamente contaminadas en época de estiaje y contaminada el resto del año, son de dudosa calidad para abastecimiento público, y es apto para uso industrial y agrícola con algún proceso de tratamiento.

Tabla No.13
Contaminantes principales

Ubicación	Corriente	Coliformes fecales	Coliformes totales	DBO6	Dureza	Grasas	Amoniaco	Oxígeno disuelto	Turbiedad
Pte. Tepeji- El Salto	Río Tepeji	x	x	X		X		x	x
Obra de toma Presa Requena	Río Tepeji	x	x	X		X		x	x
Descarga refinería Tula PEMEX	Río Tepeji	x	x	X	x	X	x	x	x

FUENTE: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de ríos (GASIR),1997.

5.6.2 Clasificación de los cuerpos de agua

Presa Requena. Cuenta con una estación de monitoreo localizada en la obra de toma de este embalse, la cual reporta valores promedio para ICA de 50 en estiaje y de 55 el resto del año, con lo cual su clasificación es de contaminada todo el año (Tabla No. 14), y la calidad de sus aguas requiere de tratamiento para uso urbano, y es apta para uso limitado en la agricultura y la industria, esto es debido a que se encuentra un corredor industrial en Tepeji y descargan sus aguas al río. En la presa Taxhimay no se tiene registros de contaminación de sus aguas. Pero por su posición que es hacia la parte de la cuenca alta del río Tepeji y no se encuentran poblados industrializados hacia esa zona se puede inferir que sus aguas no están contaminadas, además que sus aguas son utilizadas para el riego.

Tabla No.14
Clasificación de cuerpo de agua

Corriente	Ubicación	No. de estaciones de monitoreo	ICA mínimo (época de estiaje)	ICA máximo (resto del año)	Calificación general de la calidad del agua (época de estiaje)	Calificación general de la calidad del agua (resto del año)
Río Tepeji	Obra de toma Presa Requena	1	50	55	Contaminada	Contaminada

Nota: El periodo de estiaje abarca los meses de octubre a abril y el periodo de lluvias el resto del año.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA), Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR), 1997.

1	13MEX103928/26HMGE99	21/06/99	PMC-650101U88	D. C. POBLADO MACAVACA	26	3	0	MACAVACA	15	26	19	49	99	27
2	13HGO101892/26IMGE97	21/06/99	CMP920908B42		26	2	0	SAN MATEO SEGUNDA SECCION	13	63	19	53	99	20
3	13HGO102024/26HMGE97	18/05/00	CAA9204062JA		26	2	0	SANTIAGO TLAPANALOYA	13	63	19	52	99	20
4	13HGO102024/26HMGE97	18/05/00	CAA9204062JA		26	2	0	SANTIAGO TLAUTLA	13	63	19	57	99	21
5	13HGO102024/26HMGE97	18/05/00	CAA9204062JA		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
6	13HGO102024/26HMGE97	18/05/00	CAA9204062JA		26	2	0	SANTIAGO TLAPANALOYA	13	63	19	51	99	20
7	13HGO102024/26HMGE97	18/05/00	CAA9204062JA		26	2	0	CANTERAS DE VILLAGRAN	13	63	19	50	99	19
8	A5HGO100016/26HMGE94	21/06/99	TMT-8201029-L8		26	2	0	SANTIAGO TLAPANALOYA	13	63	19	52	99	20
9	A5HGO100037/26FMGE94	21/06/99	PPR-910701-LEA		26	2	0	SAN MATEO	13	63	19	53	99	20
10	A5HGO100046/26FMGE94	21/06/99	PPR910701-LEA		26	2	0	SAN MATEO	13	63	19	53	99	20
11	A5HGO100581/26IMGE94	21/06/99	AEPJ-320316-CO1		26	2	0	TEPEJI DE OCAMPO	13	63	19	52	99	20
12	A5HGO100663/26FMGE94	21/06/99	TJM-800221-MX5		26	2	0	BARRIO DE NOXTONGO	13	63	19	53	99	20
13	A5HGO100668/26IMGE94	21/06/99	ETU-870609-583		26	2	0	BARRIO DE ATENGO	13	63	19	54	99	20
14	A5HGO100668/26IMGE94	21/06/99	ETU-870609-583		26	2	0	BARRIO DE ATENGO	13	63	19	54	99	20
15	A5HGO100668/28IMGE94	21/06/99	ETU-870609-583		26	2	0	BARRIO DE ATENGO	13	63	19	54	99	20
16	A5HGO100672/26FMGE95	08/09/00	HTT-860630-5Q1		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
17	A5HGO100672/26FMGE95	08/09/00	HTT-860630-5Q1		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	56	99	20
18	A5HGO101054/26FMGE95	21/06/99	PME-721123-IH9		26	2	0	SAN MATEO SEGUNDA SECCION	13	63	19	52	99	20
18	A5HGO101056/26FPGE95	21/06/99	PTT-840717		26	2	0	TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO	13	63	19	55	99	20
20	A5HGO101056/26FPGE95	21/06/99	PTT-840717		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
21	A5HGO101059/26EPGE95	21/06/99	PAT-560727-C58		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	57	99	21
22	A5HGO101092/26IMGE96	17/05/00	TEP851024H95		26	2	0	TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO	13	63	19	53	99	20
23	A5HGO101095/26FMGE96	21/06/99	TNZ851202340		26	2	0	SAN MATEO BUENAVISTA	13	63	19	54	99	20
24	A5HGO101130/26IMGE96	21/06/99	COAA35121129Z		26	2	0	SANTIAGO TIANGUISTENGO	13	63	19	54	99	19
25	A5HGO101148/26FPGE96	21/06/99	MTR870528325		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
26	A5HGO101167/26EPGE96	21/06/99	MFE840516R02		26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
27	A5HGO101219/26FPGE96	21/06/99	TIN910617PR1		26	2	0	BARRIO TAXIDHO	13	63	19	53	99	20
28	A5HGO101549/26CPGE96	21/06/99	SAAL160124		26	2	0	LA ROMERA	13	63	19	54	99	19
29	A5HGO101569/26HMGE96	21/06/99	OSA960704LD9		26	2	0	SAN BUENAVENTURA	13	63	19	49	99	19
30	A5HGO101572/26CPGE96	21/06/99	LOAA570424		26	2	0	LA ROMERA	13	63	19	54	99	18
31	A5HGO101573/26IMGE96	21/06/99			26	2	0	BARRIO LAS TROJES	13	63	19	52	99	20
32	A5HGO101573/26IMGE96	21/06/99			26	2	0	BARRIO LAS TROJES	13	63	19	52	99	20
33	A5HGO101624/26CMGE96	21/06/99	GUMF390502PIA		26	2	0	SAN MATEO BUENAVISTA	13	63	19	51	99	20
34	A5HGO101633/26FPGE96	03/07/00	BAMM360828N68		26	2	0	BARRIO DE NOXTONGO	13	63	19	54	99	20
35	A5HGO101720/26APGE96	17/05/00	BAMC5311045G5		26	2	0	TAXHIDO	13	63	19	53	99	21
36	A5HGO101780/26EPGE97	21/06/99	GAD880706DK9		26	2	0	TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO	13	63	19	53	99	20
37	A5HGO101811/26EPGE97	21/06/99	FAM770309DKO		26	2	0	SAN MATEO SEGUNDA SECCION	13	63	19	53	99	20
38	A5HGO101812/26EPGE97	21/06/99	MIAR550822JJ6		26	2	0	SAN MATEO SEGUNDA SECCION	13	63	19	53	99	20

39	A5HGO101815/26EPGE97	21/06/99	GUTD471027PC8		26	2	0	ATENGO	13	63	19	54	99	20
40	13HGO102014/26HMGE97	21/06/99	CAS97012BJL0		26	2	0	SAN IGNACIO NOPALA	13	63	19	49	99	21
41	A5HGO101824/26FMGE97	21/06/99	GIA921207AA1		26	2	0	SAN MATEO BUENAVISTA	13	63	19	53	99	20
42	13HGO102253/26IMGE98	21/06/99	CIC-8902018C4		26	2	0	CANTERAS DE VILLAGRAN	13	63	19	51	99	17
43	A5HGO101079/26IMGE95	21/06/99	OLE821115MR8		28	2	0	SAN MATEO SEGUNDA SECCION	13	63	19	53	99	20
44	13HGO102373/26HMGE98	21/06/99	CAA-9204062JA		26	2	0	TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO	13	63	19	53	99	22
45	13HGO102433/26IPGE98	21/06/99			26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
46	13HGO103958/26IMGE99	21/06/99	ZARY290127		28	2	0	SANTIAGO TLAPANALOYA	13	63	19	52	99	20
47	13HGO100030/26ALGE99	06/08/99	LOLL-380107		26	2	0	BARRIO TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
48	13HGO105272/26FMGE99	06/10/99	IGA-781006LVA	BARRIO TLAXINACALPAN	26	2	0	BARRIO TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
49	13HGO105273/26FMGE99	06/10/99	RUL-620718ML3	TLAXINACALPAN	26	2	0	TLAXINACALPAN	13	63	19	55	99	20
50	13HGO101084/26IPGE99	03/01/00	HNC810217		26	2	0	CORRAL DE PIEDRA	13	63	19	53	99	20
51	13HGO105343/26IMGE99	02/01/00	AOMM290509V35	SE LOCALIZA AL SURESTE DE LA LOCALIDAD DE SANTIAGO TLAPANALOYA	26	2	0	SANTIAGO TLAPANALOYA	13	63	19	52	99	21
52	13MEX103617/26HMGE98	21/06/99	PMV-850101KE8	D. C. LOS HOYOS	26	3	0	LOS HOYOS	15	112	19	44	99	26
53	13MEX103620/26HMGE98	21/06/99	PMV-850101KE8	CALLE MORELOS S/N JUNTO AL HOSPITAL, CABECERA MUNICIPAL	26	3	0	VILLA DEL CARBON	15	112	19	43	99	27
54	13MEX103621/26HMGE98	21/06/99	PMV-850101KE8	D. C. EJIDO PLAN DE LAS MORAS	26	3	0	SAN LUIS TAXHIMAY	15	112	19	50	99	24
55	13MEX103916/26IMGE99	21/06/99	AARA520121469	D. C. LOS MADRODOS	26	3	0	VILLA DEL CARBON	15	112	19	46	99	26
56	13MEX103927/26IHGE99	21/06/99		D. C. RANCHO CELAYA	26	3	0	RANCHO CELAYA	15	112	19	43	99	26
57	13MEX104764/26AMGE99	29/07/99		DOMICILIO CONOCIDO, EL PALOMAR	26	3	0	EL PALOMAR	15	112	19	47	99	26
58	13MEX105110/26HMGE99	23/12/99	PMV-850101KE8	DOMICILIO CONOCIDO, VILLA DEL CARBON	26	3	0	EJIDO SAN LUIS DE LAS PERAS	15	112	19	49	99	26

	VALOR DE MATERIALES (R)	VALOR DE MANO DE OBRA (R)	VALOR DE SERVICIOS (R)	VALOR DE OBRAS (R)	VALOR DE OBRAS (R)	VALOR DE OBRAS (R)	VALOR DE OBRAS (R)	VALOR DE OBRAS (R)	BOMBA	NUM POZO	NUMERO
1	95812.00	260.00	45.720	30.480	PUBLICO URBANO	95812.00	15.240	15.240	VERTICAL	POZO UNICO	1
2	132000.00	125.00	30.480	30.480	INDUSTRIAL	132350.00	10.160	15.240	SUMERGIBLE	UNO	1
3	274462.00	150.00	44.450	30.480	PUBLICO URBANO	274462.00	15.240	15.240	VERTICAL	UNO	1
4	210788.00	150.00	35.560	30.480	PUBLICO URBANO	210788.00	15.240	15.240	VERTICAL	DOS	2
5	113004.00	154.00	35.560	20.320	PUBLICO URBANO	113004.00	10.160	10.160	SUMERGIBLE	TRES	3
6	1279508.00	70.00	35.560	25.400	PUBLICO URBANO	1279508.00	20.320	20.320	SUMERGIBLE	CUATRO	4
7	63348.00	150.00	35.560	30.480	PUBLICO URBANO	63348.00	7.620	7.620	SUMERGIBLE	SIETE	7
8	878458.00	150.00	44.450	25.400	PUBLICO URBANO	878458.00	15.240	15.240	VERTICAL DE POZO PROFUNDO; MOD. HJ8CC; N		1
9	342000.00	154.00	42.720	30.480	INDUSTRIAL	342000.00	10.160	10.160	SUMERGIBLE; Mod. 8F17/618-133; Mca. REUG	UNO	1
10	404332.00	101.63	40.640	25.400	INDUSTRIAL	404332.00	10.160	10.160	SUMERGIBLE; ksb; Mod. UPH274/6h	UNO.	1
11	138240.00	82.00	40.640	35.560	MULTIPLES	138240.00	15.240	15.240	POZO PROFUNDO	UNO	1
12	14000.00	165.00	45.720	30.480	INDUSTRIAL	14000.00	7.620	10.160	SUMERGIBLE; MCA. FRANKLIN; MOD. 23681360	UNO	1
13	5760.00	150.00	40.640	25.400	MULTIPLES	5760.00	7.620	7.620	SUMERGIBLE	UNO	1
14	5760.00	10.00	1.500	1.200	MULTIPLES	5760.00	5.080	5.080	Centrifuga	DOS	2
15	5760.00	10.00	2.000	1.500	MULTIPLES	5760.00	3.810	3.810	CENTRIFUGA	TRES	3
16	192000.00	180.00	45.720	30.480	INDUSTRIAL	192000.00	10.160	10.160	SUMERGIBLE; MCA. KSB; MOD. UPH284/6+NB62	UNO	1
17	252000.00	2170.00	45.720	30.480	INDUSTRIAL	252000.00	15.240	15.240	Vertical de pozo profundo; Mca. Tisa; N	DOS	2
18	84646.00	75.00	30.480	20.320	INDUSTRIAL	84646.00	5.080	5.080	SUMERGIBLE; Mca. GoulasM Modelo 70110612	UNO	1
18	29880.00	45.00	3.500	3.100	INDUSTRIAL	29880.00	7.620	7.620	SUMERGIBLE; Mca. Bamse; Mod. MTIB	UNO	1
20	29880.00	45.00	350.000	310.000	INDUSTRIAL	29880.00	7.620	7.620	SUMERGIBLE; Mca. Bamse; Mod. MTIB	UNO	2
21	750.00	28.00	150.000	120.000	SERVICIOS	750.00	3.810	3.810	SUMERGIBLE	UNO	1
22	7560.00	120.00	45.720	30.480	MULTIPLES	7560.00	20.320	20.320	Vertical de pozo profundo; Mca. Peerless	UNO	1
23	6000.00	146.00	30.480	20.320	INDUSTRIAL	6000.00	5.080	5.080	SUMERGIBLE; Marca Bamse	UNO	1
24	61788.00	160.00	35.560	25.400	MULTIPLES	61788.00	10.160	10.160	SUMERGIBLE	UNO	1
25	4000.00	30.00	150.000	0.000	INDUSTRIAL	4000.00	5.080	3.810	SUMERGIBLE	UNO	1
26	4000.00	33.00	150.000	0.000	SERVICIOS	4000.00	5.080	2.540	SUMERGIBLE	UNO	1
27	250.00	5.00	250.000	25.400	INDUSTRIAL	250.00	5.080	2.540	VERTICAL	UNO	1
28	400.00	7.50	200.000	0.000	DOMESTICO	400.00	1.900	1.900	VERTICAL	UNO	1
29	273750.00	200.00	35.560	25.400	PUBLICO URBANO	273750.00	15.240	10.160	VERTICAL	UNO	1
30	90.00	18.00	0.850	0.000	DOMESTICO	90.00	0.000	0.000	EXTRACCION MANUAL	UNO	1
31	61314.00	100.00	40.640	30.480	MULTIPLES	61314.00	10.160	10.160	SUMERGIBLE	UNO	1
32	73314.00	65.00	35.560	25.400	MULTIPLES	73314.00	10.160	10.160	VERTICAL	DOS	2
33	1356.00	50.00	35.560	30.480	DOMESTICO	1356.00	5.080	3.175	SUMERGIBLE	UNO	1
34	2860.00	11.00	264.000	250.000	INDUSTRIAL	2860.00	5.080	5.080	CENTRIFUGA	UNO	1
35	3390.00	12.00	100.000	0.000	AGRICOLA	3390.00	5.080	5.080	VERTICAL	UNO	1
36	584.00	30.00	100.000	0.800	SERVICIOS	584.00	2.540	2.540	VERTICAL		1
37	400.00	21.50	100.000	40.000	SERVICIOS	400.00	1.905	1.905	VERTICAL	UNO	1
38	300.00	13.00	150.000	0.000	SERVICIOS	300.00	2.540	2.540	VERTICAL	UNO	1

Conclusiones

Una

Se identificaron 4 unidades litológicas las cuales son: Andesita, La Formación Tarango (toba vítrea, toba areno limosa, toba pumicitica y un conglomerado poligmítico), Basaltos Cuaternarios y depósitos recientes (suelos residuales y aluvión).

Dos

En la parte sur de la cuenca estudiada, la litología, la morfología y la vegetación forman en conjunto una extensa área de captación que alimenta las subcuencas de los ríos San Jerónimo y Tepeji. Las áreas de recarga natural del acuífero están ubicadas en las zonas altas del suroeste y en la porción llana del norte.

Tres

Se identificaron en el área tres unidades hidrogeológicas las cuales son:

Unidad 1.- Aluvión- conglomerados

Unidad 2.- Andesita-Brecha-basalto

Unidad 3.- Esta unidad está comprendida por una serie de cuerpos los cuales son: toba vítrea, toba areno limosa, toba pumicitica y un conglomerado poligmítico. En el área estudiada representan a la Formación Tarango.

Cuatro

La unidad hidrogeológica No. 3, tanto por sus características hidrológicas, por su extensión y espesor es la de mayor interés en el área.

Cinco

Debido a que no se cuenta con información piezométrica, ni de hidrometría subterránea no se realizó una cuantificación volumétrica directa del acuífero. Para cubrir esta deficiencias se estimó un balance hidrológico de gran visión.

En este balance de gran visión, se dedujo un volumen de infiltración anual para los 759 km² de la cuenca de 28.29×10^6 m³/año. El volumen de extracción por pozos es de 6.728×10^6 m³/año.

Seis

La infiltración en la superficie total de la cuenca se estimó en 28.29×10^6 m³/año. La extracción por pozos según CNA es de 15×10^6 m³/año (1999); de acuerdo a esto, se tiene una disponibilidad de 13.29×10^6 m³/año, más 147.31×10^6 m³/año que escurren y se almacenan en las presas.

Siete

Información más actualizada de la CNA, indica que hay un total de 58 pozos, con la siguiente distribución: 23 pozos son de uso público urbano con un volumen de extracción anual de $3.71 \times 10^6 \text{ m}^3$, 18 son de uso industrial con una extracción de $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$, 17 son de uso agrícola con una extracción de $1.01 \times 10^6 \text{ m}^3$, dando un total de extracción de volumen concesionado de $6.728 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Ocho

En la zona de estudio se encuentra ubicado el parque industrial Tepeji el cual desecha sus aguas hacia el río Tepeji. Como lo indica el Índice de Calidad del Agua (ICA) en la estación de monitoreo ubicada en la obra de toma presa requena, la calificación general de la calidad del agua en época de estiaje y el resto del año es contaminada.

Recomendaciones

Para poder tener un amplio y más detallado análisis de las condiciones hidrogeológicas de esta zona, se recomienda ampliar las investigaciones a una etapa de prospección de mayor detalle, donde se tendrían que abordar los siguientes aspectos:

Una

Recopilar y analizar la información cuantitativa de la terminación y características constructivas. Conseguir toda la información posible de cortes litológicos de los pozos. Así como realizar pruebas de bombeo en cada uno de ellos.

Dos

Llevar a cabo una investigación hidrogeoquímica del agua subterránea para conocer, que tanto influye el agua superficial, en la zona. Con la finalidad de conocer la calidad y evolución química del agua dentro de la cuenca.

Tres

Actualizar el censo de captación de agua subterránea.

Cuatro

Las profundidades de niveles del agua solo se pudieron tomar en 4 pozos

Nombre del pozo	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)
Macavaca	34.35	41.5
San Luis Taxhimay	-	63.10
La Cañada	23.83	-
Barraca de Bata	-	38.73

Cinco

Realizar campañas de hidrometría subterránea y piezometría en los 58 pozos cuando menos una vez por año y nivelar los brocales de los pozos con el fin de comparar la posición del nivel del agua subterránea y la del nivel del agua en las presas.

Seis

Con la información recopilada a través de las recomendaciones anteriores efectuar un balance volumétrico directo del acuífero.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares, Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie limosa.
- Bryan, K. (1948). Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XIII, p.p. 1-20. México.
- Custodio Emilio- Ramón Llamas Manuel. Hidrología subterránea. 1ra Ed. Tomo 1.Ed. Omega, S.A.
- De Cserna, Z. (1960). Orogénesis in time and space in México.
- Demant, A.(1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación, México, UNAM, Instituto de Geología, Revista, vol. 2, núm. 2, p.172-187.
- Facultad de Ingeniería. (1984). UNAM. Informe geológico prospecto Progreso, área Zimapan-Pachuca. Realizado para Petróleos mexicanos convenio.
- Fries, C. (1960). Geología del Estado de México y partes adyacentes de México y Guerrero, región centro meridional de México: Inst. Geología, Boletín 60, 236 p. UNAM. México.
- García de Miranda, Enriqueta. (1989). Apuntes de climatología. 6ª ed. México.
- Gasca Duran, A. y Reyes Cortés, M. (1977). La Cuenca Lacustre Plio-Pleistocénica de Tula-Zumpango: Inst. Nal. Antropología e Historia, Informes del Depto. de Prehistoria, n.2.
- Herrera Mendoza y López Jiménez. (1999). Análisis del uso del agua en la región XIII Valle de México y perspectivas a mediano y largo plazo. Tesis Lic. UNAM.
- Hormiga Sánchez, Martha Y. (1999). Estudio Hidrogeográfico de la Cuenca Alta del Río Tepeji, Edo. Méx. Las subcuencas vertientes a la Presa Taxhimay, Tesis Lic. UNAM.
- Huizar Álvarez, Rafael. (1982). Estudio Geomorfológico de la zona de Tepeji del Río. Tesis Maestría. UNAM.
- INEGI. (1995). Cuaderno estadístico municipal, Tepeji del Río de Ocampo. Pág. 3-11,77-79.
- INEGI. (1988). Atlas ejidal del Edo. de Hidalgo, encuesta nacional agropecuaria ejidal.
- INEGI. Ciudad de México, E14-2. Carta hidrológica de aguas subterráneas 1:250,000.

- Zumpango de Ocampo, E14-A19. Topográfica, geológica y edafológica. 1: 50,000.
- Cuautitlán, E14-A28. Topográfica, geológica y edafológica. 1: 50,000.
- Villa del Carbón, E14-A28. Topográfica, geológica y edafológica. 1: 50,000.
- Tepeji del Río, E14- A18. Topográfica, geológica y edafológica. 1: 50,000.
- Llamas, José. (1989). Hidrología general principios y aplicaciones. Universidad Autónoma de México
- Lopez-Ramos, E. (1979). Geología de México, 2ª. Ed. Edición Escolar Tomo III, p. 440.
- Lugo Hubp, José. (1992). Regionalización Geomorfológica de la Republica Mexicana. Boletín del Inst. de Geografía No. 25, México.
- Mooser, F. (1972). The Mexican Volcanic Belt: Structure and Tectonics; Geofísica Internacional, v.12, p. 55-70.
- Mooser, F. (1975). Historia Geológica de la Cuenca de México en: Memoria de la Obra del Sistema de Drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo I, p.p, 6-38. Talleres gráficos de la Nación. Departamento del Distrito Federal. México, 1975.
- Mooser, F. (1974). Mapa geológico del a Cuenca de México y zonas colindantes: Departamento del Distrito Federal. Dirección General de Obras Hidráulicas, México.
- Meza Sánchez, Magdalena.(1976). Interpretación de los elementos climáticos en la evolución morfológica de la cuenca baja del Río Tepeji. Tesis Lic. 1976. UNAM
- Oropeza Orozco, Oralia. (1976). Análisis de los procesos geomorfológicos en la Cuenca Alta del Río Tepeji. Tesis Lic. UNAM.
- Orozco Sánchez, Manuel Diego. (1985). Reconocimiento geológico-minero del área el Salto, municipio de Tepeji del Río.
- Raisz, E. (1964). Physiographic Provincias Landforms of México. Second corrected edition. USA.
- R. Allan Freeze/John A. Cherry. Groundwater. Pretice Hall.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

- R.W.Croff y T.H. Thompson.A. Comparison of Methods of Estimating Potencial Evapotranspiration From Climatological Datain Arid and Subhumid Environments. Paper 1839-m.
- SAHR. (1984). Dirección General de distritos y unidades de Riego. Subdirección de Geohidrologia. Estudio de fotointerpretación geohidrológica en la zona de Villa del Carbón – San Bartolo Morelos, Edo de México.
- SAHR. (1981). Dirección General de programas de infraestructura hidráulica. Subdirección de Geohidrologia y de zonas áridas. Estudio fotogeológico de la zona Chapa de Mota- Jilotzingo, Edo. México.
- SAHR. Manual para evaluar recursos Hidráulicos subterráneos.
- SRH. Boletín hidrológico Número 32. Región hidrológica No. 26 Cuenca del río Pánuco,1968.
No.44. Región Hidrológica No.26 parcial alto Pánuco (Cuenca del río San Juan) ,1971.
No.15 Región Bajo Pánuco,1961.
No.14 Cuenca del Río Pánuco,1968
- Secretaría de Gobernación. (1987). Los municipios del Edo. de Hidalgo No. 13. Pág 222-224.
- Secretaría de Gobernación. (1987). Los municipios del Edo. de México No. 15. Pág 560-564.
- Urrutia y del Castillo. (1977). Un modelo del Eje Neovolcánico: Boletín de la Sociedad de Geología Mexicana, Tomo XXXVIII, No. 1, p.p. 18-28. México.
- Velásquez Luis-Ordaz Anselmo. (1992). Provincias hidrológicas de México. Ingeniería hidráulica en México / enero-abril.

Muestra	Localidad	Descripción megascópica 1.-Color 2.-Textura 3.-Estructura	Descripción microscópica 1.- textura 2.-Minerales primarios 3.-Minerales secundarios 4.-Minerales esenciales 5.-minerales accesorio	Clasificación	Origen	Observaciones generales
TRPT-1	meandro aguas abajo de la Presa Taxhimay	1.-pardo- rosáceo 2.-porfídica 3.-compacta	1.-porfídica 3.-hematita, limolita y min. Arcillosos 4.-andesina, vidrio, labradorita 5.-ferromagnesianos oxidados,min. Opacos	Andesita oxidada	Ígneo extrusivo	1.- en la muestra de mano se observan fracturas rellenas por fragmentos líticos del mismo origen. 2.-los ferromagnesianos por su contorno se infieren que pertenecen a la familia de los anfíboles.
TRPT-2	margen derecha de la Presa Requena	1.-gris oscuro 2.-afanítica 3.-compacta	1.-microlítica-offítica 3.-hematita, calcita y min. Arcillosos 4.-labradorita, andesina 5.-augita y min. Opacos	Basalto andesítico	Ígneo extrusivo	Se presenta una matriz oxidada, la calcita se presenta en manchas irregulares.
TRPT-3	margen derecha de la Presa Requena	1.- amarillo-verdoso 2.-tobacea 3.-deleznable	1.-piroclástica 2.- vidrio, calcita, Qz, min. opacos 3.-min. arcillosos, hematita	Toba vítrea (híbrida)	Piroclástico depositado en un medio acuoso	El índice de refracción del vidrio que conforma la matriz es muy cercano a 1.537, se presentan escasas manchas de hematita