

7
2^o ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA
DE TECOCOMULCO ESTADO DE HIDALGO**

Contiene Mapas.

T E S I S

**Que para obtener el Título de
INGENIERO GEOLOGO**

p r e s e n t a

RENE LAMBERTO RAUL LAGARDE SOTO



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria, México, D. F.

Septiembre de 1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

RESUMEN.....	0
I.-INTRODUCCION.....	1
I.1.-ANTECEDENTES.....	1
I.2.-TRABAJOS PREVIOS.....	3
I.3.-OBJETIVOS.....	4
I.4.-METODOLOGIA DE TRABAJO.....	4
II.-GENERALIDADES.....	6
II.1.-LOCALIZACION Y EXTENSION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	6
II.2.-VIAS DE COMUNICACION.....	6
II.3.-ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS.....	6
II.3.1.-ASPECTOS SOCIALES.....	6
II.3.2.-ACTIVIDADES ECONOMICAS.....	9
II.4.-CLIMA, VEGETACION Y FAUNA.....	11
II.4.1.-CLIMA.....	11
II.4.2.-VEGETACION.....	13
II.4.3.-FAUNA.....	17
III.-HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	20
III.1.-LA CUENCA DE MEXICO.....	20
III.2.-LA CUENCA DE TECOCOMULCO.....	22
III.2.1.-HIDROGRAFIA.....	22
III.2.2.-CLIMATOLOGIA.....	28
III.2.3.-HIDROMETRIA.....	32
IV.-GEOLOGIA.....	34
IV.1.-MARCO GEOLOGICO REGIONAL.....	34
IV.2.-GEOMORFOLOGIA.....	36
IV.3.-ESTRATIGRAFIA.....	40
IV.4.-TECTONICA REGIONAL.....	47
IV.5.-GEOLOGIA HISTORICA.....	49
V.-HIDROGEOLOGIA.....	51
V.1.-UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.....	51
V.2.-NIVELES DE ACUIFEROS.....	60
V.3.-MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	62

VI.-HIDROGEOQUIMICA.....	67
VI.1.-ANALISIS E INTERPRETACION DE MUESTREOS.....	67
VI.1.2.-ANALISIS.....	67
VI.1.2.-INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA.....	83
VII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
VII.1.-CONCLUSIONES.....	86
VII.2.-RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA.....	89

ANEXOS

A.-PLANO GEOLOGICO

B.-SECCIONES GEOLOGICAS

C.-PLANO HIDROGEOLOGICO

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

II.1.-Plano de localización y vías de comunicación.....	7
II.2.-Clima en la región de estudio.....	11
II.3.-Representación de la vegetación en la Cuenca de Tecocomulco.....	14
II.4.-Representación de la vegetación acuática en la Laguna de Tecocomulco.....	17
III.1.-La cuenca de México y las once zonas hidrológicas en que ha sido dividida.....	21
III.2.-Plano hidrográfico de la Cuenca de Tecocomulco.....	23
III.3.-Localización de estaciones climatológicas e hidrométricas en la zona.....	28
III.4.-Análisis de la precipitación para la estación climatológica: "Presa Tezoyo" (medias anuales).....	30
III.5.-Análisis de la precipitación para la estación climatológica: "Presa Tezoyo" (medias mensuales)....	31
III.6.-Análisis de la temperatura para la estación climatológica: "Presa Tezoyo" (medias mensuales)....	31
III.7.-Análisis de la temperatura para la estación climatológica: "Presa Tezoyo" (medias anuales).....	32
IV.1.-El Eje Neovolcánico.....	36
IV.2.-El fracturamiento fundamental del Eje Neovolcánico. (Según Mooser, 1975).....	48
IV.3.-La estructura fundamental de la Cuenca de México para el Mioceno.....	48
V.1.-Secciones Esquemáticas de las unidades Hidrogeológicas dentro de la Cuenca de Tecocomulco.....	64
V.2.-Diagrama esquemático del funcionamiento del Sistema Acuífero de la Cuenca de Tecocomulco.....	66
VI.1.-Diagrama de Stiff.....	77
VI.2.-Diagrama de Schoeller.....	78
VI.3.-Diagrama de Piper-Hill-Languelier.....	79
VI.4.-Tipos de Aguas según diagrama de Piper.....	80
VI.5.-Diagrama para la clasificación de las aguas para riego (R.A.S).....	81

LISTA DE TABLAS

TABLAS

III.1.-Registros climatológicos.....	29
III.2.-Registros hidrométricos de la estación San Jerónimo.....	33
IV.1.-Secuencia de Grupos Volcánicos y Eventos Tectónicos de la Cuenca de México. (Según Hooser, 1975).....	35
V.1.-Unidades Hidrogeológicas.....	60
V.2.-Censo de Aprovechamientos en la Cuenca de Tecocomulco.....	63
VI.1.-Clasificación del agua en la Cuenca de Tecocomulco.....	83

RESUMEN.

La Cuenca de Tecocomulco (C. de T.) se localiza en la parte SE del Estado de Hidalgo, donde colinda con los estados de Puebla y Tlaxcala. Es una cuenca hidrográfrica que originalmente era cerrada, pero en el año de 1949 fue drenada artificialmente, e integrada a la Cuenca de México. Este trabajo es de tipo preliminar y cubre precisamente lo que es la C. de T. con una extensión aproximada de 560 Km². En la C. de T. se tiene un clima templado húmedo con una precipitación media anual de 630 mm y una temperatura de media anual de 14 °C. La hidrografía está compuesta por arroyos de carácter intermitente, manantiales en la parte sur, canales en las partes bajas y el Lago de Tecocomulco localizado en la parte mas deprimida de la cuenca (2514 m.s.n.m.), donde desfogan casi todas las corrientes superficiales. Geológicamente la cuenca se compone, de rocas terciarias andesíticas, rocas cuaternarias basálticas, depósitos aluviales y sedimentos lacustres del reciente. La cuenca representa una fosa tectónica orientada NE-SW. Se definieron siete unidades hidrogeológicas que corresponden a las unidades litoestratigráficas propuestas por Ledezma (1986). En general las rocas terciarias son semipermeables, las cuaternarias tienen una alta permeabilidad y los sedimentos lacustres son impermeables. Las rocas permeables funcionan como zonas de recarga y como acuífero y los sedimentos lacustres como un acuitardo. Se identificaron dos flujos subterráneos que salen de la cuenca, uno hacia el Norte y otro hacia el SW. La calidad del agua subterránea es en general buena, la del lago se encuentra un poco cargada en sales, pero ambas corren el riesgo de contaminarse antropogénicamente.

I.-INTRODUCCION.▲

I.1.-ANTECEDENTES.

La Cuenca de Tecocomulco originalmente era una cuenca cerrada pero mediante la construcción de un canal en el año de 1949, fué drenada artificialmente, convirtiéndose con ello en tributaria de la Cuenca de México.

Dentro de la Cuenca de Tecocomulco y dado que esta es de tipo endorreico, existe un lago que es conocido comunmente como la Laguna de Tecocomulco, y el desecarlo parcialmente¹ para obtener más terrenos de cultivo, fué el motivo que propició la construcción de dicho canal de desfogue.

La desecación del lago en alguna ocasión fué planeada para hacerse totalmente², pero como ciertos grupos de campesinos se opusieron a ello, porque con la pesca y la caza de patos obtienen una fuente de alimentación, esto solo se realizó de una manera parcial, creándose además con ello un Distrito de Riego en la Zona³.

Debido al gran aporte de sedimentos arrastrados por las corrientes superficiales, el canal de desfogue se encuentra azolvado y no vierte las demacias de la laguna, lo que origina que se inunden los terrenos bajos, principalmente los que han sido

¹ Segun acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federacion el 9 de Nov. de 1943. (Desecación parcial).

² Segun acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federacion el 10 de Marzo de 1951. (Desecación Total).

³ Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federacion el 26 de Enero de 1957 (Derogacion los acuerdos del 10 de Mar. de 1951).

repartidos como producto de la desecación¹.

Un hecho interesante desde el punto de vista hidrogeológico, es que en la Cuenca de Tecocomulco existe lo que la gente llama "resumideros", y que son grietas en las rocas por donde se infiltra el agua superficial. Estos resumideros son conocidos por la gente de la región desde hace varias décadas, e incluso los que se encuentran en las cercanías de la laguna, han sido utilizados aún desde antes que se construyera el canal de desfogue, para dirigir las demasías de la laguna y evitar inundaciones.

Debido a la existencia de estos resumideros, se tiene la hipótesis generalizada entre la gente de la zona, que el agua que se infiltra en ellos, se dirige subterráneamente hacia el norte, para luego aflorar en manantiales o recargar los mantos acuíferos de la cuenca adyacente (Cuenca del Río Tulancingo). Este tipo de afirmaciones carecen de una comprobación científica aunque parecen ser bastante lógicas si se observa la topografía y permeabilidad de las rocas por donde supuestamente circula el agua.

Todo este planteamiento, aunado a la problemática a nivel nacional con respecto al suministro de agua y el hecho de que no existan trabajos hidrogeológicos en la zona, motivaron la realización de esta tesis, que se llevó a cabo gracias al apoyo del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Hidalgo, el cuál tiene un profundo interés por el estudio de las aguas subterráneas en ese estado.

Para dicho Instituto, el presente trabajo forma parte de los proyectos: "Carta Geológica del Estado de Hidalgo a escala

¹ Área de 1672.8134 Has. comprendida entre las curvas 2514.30 y 2515.70 m. s. n. m.

1:50,000" y "Carta Geohidrológica del Estado de Hidalgo a escala 1:250,000". Este estudio también podrá servir de base para la realización de futuros trabajos geológicos o hidrogeológicos más detallados.

I.2.-TRABAJOS PREVIOS.

Básicamente son dos los trabajos relevantes que se han realizado en el área y que fueron tomados como antecedentes: el de Vivar y el de Ledezma publicados en 1933 y 1986, respectivamente.

Gonzalo Vivar, trabajando como geólogo del Estado de Hidalgo, elaboró el "Estudio Geológico del Valle de Tecocomulco". Este trabajo es de tipo general y en él hace un buen esbozo de la geomorfología y de la hidrografía, describe los principales tipos de rocas y elabora el primer plano geológico del Valle a escala 1:50,000.

En 1986 el Instituto de Geología de la U.N.A.M. publicó la Hoja Calpulalpan 14Q-h(3), realizada por Odilón Ledezma a escala 1:100,000. En este trabajo, que cubre aproximadamente 3600 Km², queda comprendida toda la Cuenca de Tecocomulco, y en este, el autor asigna nombres informales y dá edades relativas a las diferentes unidades litoestratigráficas propuestas por él.

Entre otros trabajos efectuados en zonas adyacentes a la del presente estudio destacan: "Las aguas subterráneas de Tlanalapan distrito de Apan, Hidalgo", realizado por Heriberto Camacho en el año de 1920 y publicado en los anales del Instituto Geológico de México. El "Estudio Geohidrológico preliminar de las Cuencas de Apan y El Oriental", realizado por la antigua Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México y publicado en 1967. El "Estudio

geohidrológico preliminar del Valle de Apan, Hgo." elaborado por la S.A.R.H en 1981. Los trabajos: "Estudio geohidrológico del Valle de Apan" y la "Actualización de condiciones piezométricas en el mismo Valle" que realizara este mismo organismo para 1984 y 1985, respectivamente.

Otro trabajo de tipo regional que incluye a la Cuenca de Tecocomulco es el de Moóser, quién en 1975 elaboró el "plano geológico de la Cuenca del Valle de México a escala 1:200,000".

I.3.-OBJETIVOS.

Los objetivos generales de esta tesis para la Cuenca de Tecocomulco, son tres:

- I.-Determinar el marco geológico.*
- II.-Conocer el funcionamiento hidrogeológico.*
- III.-Precisar la calidad fisicoquímica del agua subterránea.*

I.4.-METODOLOGIA DE TRABAJO.

Como primer paso para la realización de esta tesis y de acuerdo con el Director de la misma, se eligió el tema y área estudio, en base a ello se buscó el apoyo de alguna institución a la cual le interesara el mismo, y que pudiera brindarle todo el apoyo necesario para ello. Logrado lo anterior, se elaboró y posteriormente se emprendió un programa de trabajo que básicamente consistió de tres etapas:

- 1a. etapa: Investigaciones de gabinete.
- 2a. etapa: Trabajos de campo.

3a. etapa: Integración de resultados.

Entre los principales trabajos realizados durante la primera etapa destacan: recopilación y análisis de la información, elaboración del plano topográfico base, fotointerpretación y procesamiento de la información climatológica e hidrométrica.

La etapa de trabajos de campo consistió de varios recorridos realizados entre octubre de 1990 y julio de 1991, y que sumados tuvieron una duración de un mes. Las actividades esenciales fueron: revisión y muestreo de unidades litoestratigráficas, cartografía geológica a escala 1:50,000 de una parte de la cuenca, censo de los aprovechamientos del agua subterránea, toma de muestras de agua de ellos y determinación de las unidades hidrogeológicas.

Para la última etapa, se realizaron planos, figuras, esquemas, se analizaron los datos obtenidos y en base a ello se elaboraron las conclusiones y recomendaciones, para finalmente redactar el trabajo final.

II.-GENERALIDADES.

II.1.-Localización y extensión de la zona de estudio.

La zona de estudio comprende lo que es la Cuenca de Tecocomulco. Aproximadamente el 80% de ella pertenece a la parte sureste del Estado de Hidalgo, un 18% se encuentra en el de Puebla, y solamente un 2% forma parte del de Tlaxcala.

Geográficamente la Cuenca se localiza dentro del cuadrángulo que limitan los meridianos $98^{\circ}30'$ y $98^{\circ}11'$ de longitud Oeste, y los paralelos $19^{\circ}59'$ y $19^{\circ}42'$ de latitud Norte.

La superficie aproximada de la Cuenca es de 536 Km^2 . (Ver figura II.1)

II.2.-VIAS DE COMUNICACION.

La Cuenca de Tecocomulco se encuentra comunicada principalmente por caminos de terracería y brechas, que la cruzan en varias direcciones. Se está construyendo una carretera pavimentada que la cruzará en su parte noroccidental comunicando a las poblaciones de San Lorenzo y Tepeapulco. Esta será la forma mas viable de llegar a ella. (figura II.1).

III.3.-ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.

II.3.1.-ASPECTOS SOCIALES.

Población:

Según los datos preliminares del XI Censo de Población y

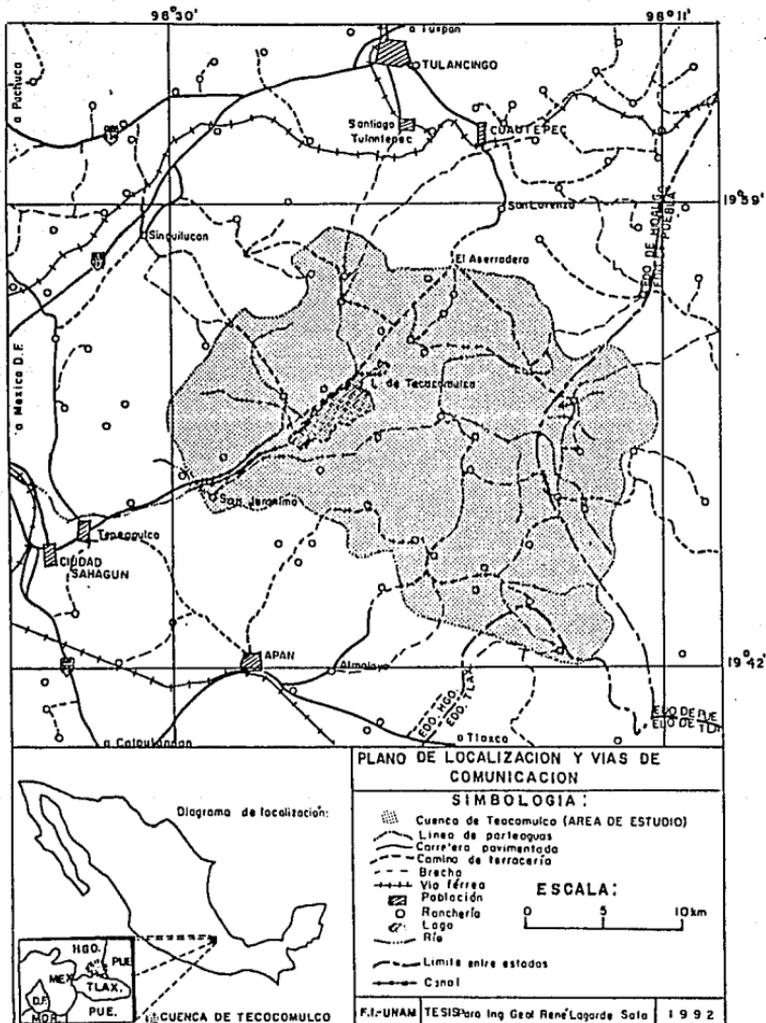


Figura II.1.-Plano de localización y vías de comunicación.

Vivienda para 1990 realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), dentro de la Cuenca de Tecocomulco habitan aproximadamente 10,000 personas, de las cuales la mitad son hombres y la mitad son mujeres. Esta población está constituida principalmente por campesinos ejidatarios y algunos pequeños propietarios. Prácticamente no existe población indígena en la zona.

Las principales poblaciones de la zona son: El Paredón, San Claudio, Tres Cabezas, Rancho Nuevo y Tecocomulco de Juárez, con aproximadamente 1000 habitantes cada una. La mayoría de las personas se agrupan en las poblaciones anteriores, en pequeñas rancherías, comunidades o colonias y una minoría vive aisladamente.

Educación:

Mediante datos tomados del mismo censo, y apoyados en observaciones y encuestas realizadas durante los trabajos de campo, se tiene que en la zona existe un alto grado de analfabetismo, esto es: un 30% de la población con mas de 15 años no sabe leer ni escribir.

Existen suficientes escuelas primarias dentro de la zona de estudio para que toda la población tenga acceso a ellas, las secundarias y telesecundarias son escasas. No existen niveles superiores a estas últimas instrucciones dentro de la cuenca.

Vivienda y servicios:

Por lo general las viviendas estan construidas de la siguiente manera: son casas con dos habitaciones una para dormir y otra para

cocinar, las paredes pueden ser de adobe, piedra, madera, block o ladrillo, los techos son de dos aguas, contruidos de materiales como: teja, láminas, o de tejamanil y los pisos en su mayoría son de tierra.

Se observó que en la parte Norte de la cuenca las casas son principalmente de adobe y teja y hacia el sur son de madera y tejamanil; pero en ninguno de los dos casos se utiliza el agua de lluvia que cae en los techos, que bien pudiera ser canalizada, almacenada y aprovechada para las necesidades domésticas, y con ello disminuir el consumo de las aguas subterráneas que está creciendo paulatinamente.

Es muy importante que se tomen medidas para resolver la deficiencia en cuanto al drenaje, ya que en su mayoría las aguas residuales son vertidas hacia los ríos y arroyos, los cuales se dirigen invariablemente hacia la Laguna de Tecocomulco, o en su caso se infiltran contaminando a las aguas del subsuelo.

Salud:

Dentro de la zona de estudio, existen clínicas rurales en: El Tepozán, Plutarco Elías Calles, Santa Ana Chichicauautla, Tecocomulco y Tezoyo, en ellas se encuentran solo los servicios mas esenciales y son atendidos generalmente por pasantes que realizan su servicio social. Según observaciones propias, el alcoholismo y la mala nutrición, son algunos problemas de salud bastante visibles en la zona.

II.3.2.- ACTIVIDADES ECONOMICAS.

Las principales actividades económicas en la zona son:

La agricultura:

Es la principal actividad en la zona de estudio, y consiste en las siembras de temporal de los siguientes cultivos: cebada, trigo, maíz, frijol, papa, avena, haba, arbejón, nopal y maguey entre los mas importantes.

La ganaderia:

En la región se cría principalmente el ganado ovino para carne y lana. Sobre todo en las planicies se pueden ver grandes hatos de este ganado pastoreando sobre los restos de cosechas. También se observan pequeños rebaños de ganado vacuno y caprino.

La piscicultura:

Se realiza dentro de la laguna o en pequeños estanques adyacentes a ella, se encuentra poco desarrollada y sólo se utiliza para consumos familiares. Según datos proporcionados por algunas personas dedicadas a esta actividad, existen las siguientes variedades de peces: (nombres comunes), carpa de israel, carpa espejo, carpa barrigona, y carpa hervibora.

La silvicultura:

Se ha observado que se explota a los bosques de una manera irracional, muy pocas son las regiones donde se explota adecuadamente este recurso, lo que origina un proceso de deforestación muy acentuado en la zona. En el subcapítulo de vegetación se describen las especies forestales de la cuenca.

El "turismo":

Hay personas dentro de la zona de estudio, sobre todo aquellas que viven en lugares adyacentes a la laguna, que se dedican durante la temporada de caza de patos (de octubre a febrero), a guiar y transportar a cazadores dentro de la laguna en una especie de canoas llamados cayucos.

II.4.-CLIMA, VEGETACION Y FAUNA.

II.4.1.-CLIMA.

Como puede verse en la siguiente figura, el clima de la región de estudio es en general templado húmedo, presentandose cuatro subtipos de este. (figura II.2).

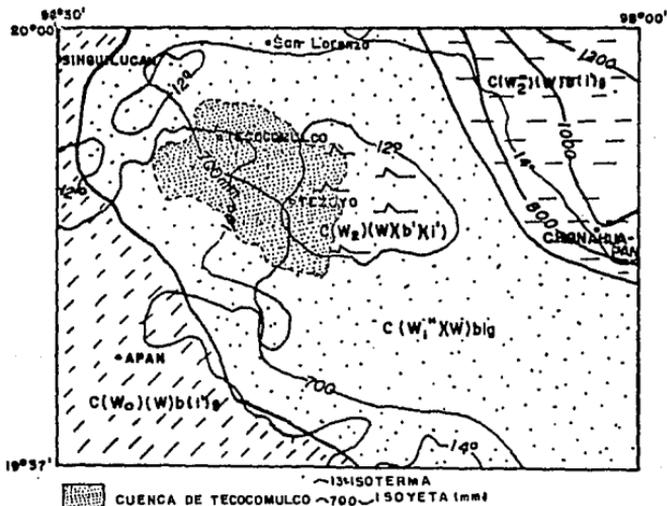


Figura II.2.-Clima en la region de estudio, segun Köppen, modificado por E. Garcia. (Tomado de la hoja Veracruz del Instituto de Geografia de la U.N.A.M.).

Como puede apreciarse en la figura anterior, los cuatro subtipos están representados por un tipo de claves, que indican lo siguiente:

$C(W_2')(W)b(i')g$

Es el más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano, con un coeficiente $P/T > 55$, con un porcentaje de lluvia invernal < 5 de la anual, con un verano fresco y largo, con temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y $22^{\circ}C$, con poca oscilación termal, es decir entre 5 y $7^{\circ}C$ y cuyo mes más caliente del año es antes de junio.

$C(W_2)(W)(b')(i')$

Es igual que el anterior, a diferencia de que el mes más caliente se encuentra después de junio.

$C(W_1')(W)big$

De los climas templados subhúmedos es el intermedio en cuanto a humedad entre el $C(W_2)$ y el $C(W_0)$, con lluvias en verano, con un coeficiente P/T entre 43.2 y 55 , al igual que el primer tipo tiene un porcentaje de lluvia invernal < 5 de la anual, con un verano fresco y largo con una temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y $22^{\circ}C$. Este clima presenta una oscilación $< 5^{\circ}C$, es decir es isotermal y en el mes más caliente sucede antes de junio.

$C(W_0)(W)b(i')g$

Es el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con un coeficiente $P/T < 43.2$ y con las demás características iguales a las del primer grupo enunciado.

En conclusión, podemos apreciar, según estas descripciones, que el clima en la región dibujada varía principalmente en cuanto el grado de humedad. Al noreste y centro de la zona se encuentran las zonas de mayor humedad, disminuyendo esta hacia el suroeste.

También puede apreciarse que la temperatura varía de mayor a menor hacia la zona central.

Específicamente para la Cuenca de Tecocomulco el clima dominante es el $C(W_1'')(W)$ big, a pesar de que en la parte oriental se tiene el clima $C(W_2)(W)(b')(i')$, y como puede verse en la figura, por la Cuenca de Tecocomulco pasan las isotermas de 12° y 14° y la isoyeta de 700 mm., por lo que puede considerarse como representativas de la zona de estudio, una temperatura de 13° (promedio de las dos) y una precipitación de 700 mm. Ambas medias anuales.

II.4.2.-VEGETACION.

A continuación se describirán brevemente los principales tipos de vegetación que se encuentran en la Cuenca de Tecocomulco, estas descripciones, que incluyen a las principales especies de cada comunidad, fueron tomadas del trabajo de Rzedowsky (1975), y adaptadas según las propias observaciones realizadas durante los trabajos de campo. Las descripciones de la comunidad acuática y subacuática, fueron tomadas del trabajo de Lot y Novelo (1978), para la localización de los diferentes grupos se tomó como base la carta de uso del suelo y vegetación con clave: E14B12 del INEGI a escala 1:50,000. (ver fig. II.3).

a) Bosque de oyamel (*Abies*):

Se presenta en altitudes cercanas a los 3000 m.s.n.m. o más, donde existe un alto grado de humedad ambiental, como es el caso de las partes noreste y sureste de la cuenca. Este bosque está en proceso de desaparecer en la zona, debido a la tala inmoderada.

Este es un bosque alto (20-40m) y presenta uno o dos estratos arbóreos con o sin cubierta arbustiva. El suelo está cubierto por musgos algunos líquenes y escasas trepadoras. Las principales

especies de esta comunidad son: Oyamel (*Abies religiosa*), cedro blanco (*Cupressus lindleyi*), encino (*Quercus laurina*), y algunas especies de pinos.

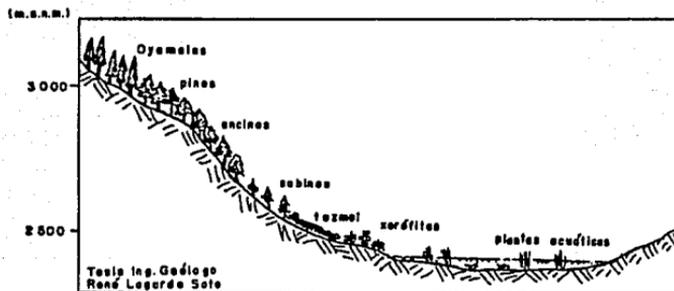


Figura II.3.-Representación esquemática de la vegetación en la Cuenca de Tecocomulco.

b) Bosque de pinos (*Pinus*):

Se les encuentra en casi todas las elevaciones que tienen entre 2600 y 3000 m., algunas veces los pinares tienen un sotobosque relativamente pobre en arbustos, esto debido a incendios que suelen ser frecuentes. Estos bosques presentan alturas de 8 a 30m, no son muy densos por lo general y se encuentran muy perturbados. Las principales especies de esta comunidad son: Pinos de ocote (*Pinus montezumae*) y (*Pinus leucote*), casi siempre acompañados de Encinos (*Quercus*).

c) Bosque de encinos (*Quercus*):

Prosperan en altitudes entre 2500 y 3100 m.s.n.m. sobre suelos profundos o someros, en áreas con humedades menores a las de los bosques anteriores. En su mayoría estos bosques son bajos (5 a 12 m.) y moderadamente densos, algunos pierden la hoja por varias semanas.

Las especies dominantes de este bosque son los encinos: (*Quercus laurina*), (*Q. rugosa*), (*Q. crassipes*), (*Q. mexicana*), acompañados de madroños (*arbutus*), así como algunas especies de Pinos y otras especies arbustivas.

d) Bosque de sabinos (*Juniperus*):

Se trata de una comunidad abierta y baja. Se localiza principalmente en la parte suroccidental de la cuenca en altitudes cercanas a los 2500 m. La especie dominante es el sabino (*Juniperus deppeana*), un árbol de 3 a 6 m de alto, siempre verde de hojas escamosas muy pequeñas. Entre ellos habitan varios arbustos y pequeñas plantas herbáceas. Esta comunidad parece ser una fase de sucesión establecida después de la destrucción de los bosques anteriores.

e) Matorral de encinos o "tezmol" (*Quercus microphylla*):

Es una comunidad arbustiva baja que forma una cubierta densa. Se localiza en las laderas de las montañas y lomeríos de toda la cuenca, principalmente en la parte noroccidental. Esta especie tiene una altura promedio de 80 cm. y parece haber sido inducida y mantenida por el fuego donde anteriormente había bosques de pinos y encinos.

f) Matorrales xerófilos:

Se desarrollan en las partes más secas de la cuenca, esto es hacia la parte suroccidental, principalmente sobre las laderas de cerros que anteriormente estaban cubiertos por bosques de pinos y encinos, algunas especies de esta comunidad son: nopal (*Opuntia spp* y *O. streptacantha*), palma (*Yucca filifera*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), etc.

g) Vegetación acuática y subacuática:

Esta vegetación se localiza en la laguna de Tecocomulco. Según Lot y Novelo (op. cit.), esta laguna reúne toda una serie de características que la señalan como una zona de gran interés botánico por representar quizá, el último refugio importante de la flora acuática del Valle de México.

La vegetación de la laguna está constituida por una serie de asociaciones (figura II.4) constituidas principalmente por:

-Hidrófitas emergentes: Plantas arraigadas al fondo pero que parte de ellas sobresale de la superficie del agua. Entre este tipo de plantas están los tules (*Scirpus lacustris*).

-Hidrófitas de hojas flotantes:

Plantas que se encuentran flotando libremente en la superficie del agua, por ejemplo el lirio (*Nymphoides fallax*).

-Hidrófitas sumergidas:

Plantas que viven debajo de la superficie del agua que pueden o no estar sujetas al fondo, entre las más importantes destacan las plantas de la familia *potamogetonaceae*.

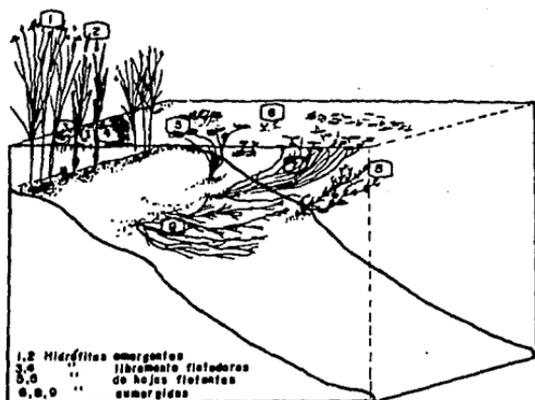


Figura II.4.-Representación de la vegetación acuática en la Laguna de Tecocomulco. (Tomado de Lot y Novelo, 1978). Esquema sin proporción.

De toda esta vegetación acuática y subacuática, muy pocas son utilizadas por las gentes de la región, sólo algunas especies son utilizadas como forraje para ganado vacuno y para la cría de patos.

h)Otros tipos de vegetación:

En este grupo se incluye a la agricultura que ya fué mencionada en el capítulo de actividades económicas, a las especies que se asocian a esta vegetación y a las plantas ornamentales inducidas por el hombre. Estos dos últimos grupos no se describen dada su pequeña distribución.

II.4.3.-FAUNA.

Sobre este tema solo se enunciarán a las principales especies

animales que se encuentran en la zona, esto fué hecho tomando en cuenta a la bibliografía encontrada al respecto, preguntando a la gente de la región los tipos de animales que existen en el lugar y considerando las observaciones propias.

De la recopilación bibliográfica existente, se consultó principalmente el trabajo de Reyes y Halffter (1975), quienes nombran a las principales especies pero dentro de toda la Cuenca de México.

Las principales especies de animales¹ encontrados en la zona son:

a)Peces:

Charal, carpa bigotona, carpa común, carpa dorada, carpa herbívora y carpa de israel.

b)Anfibios y reptiles:

Ajolote, zencuate, culebra de agua, y varias especies de tortugas, sapos, ranas, víboras, lagartijas, etc.

c)Aves:

Esta es la fauna mas notable de la Cuenca de Tecocomulco, se puede dividir en dos tipos: las aves residentes y las aves invernates o migratorias.

c.1)Aves Residentes:

Pato criollo, pato sambullidor, perro de agua, pato tepalcate, (también es ave migratoria), grulla, gallineta, gallineta de moctezuma, gallineta de agua, gallareta azul, gallareta común, águilas, gavilanes, codornices, varios tipos de pájaros, etc.

¹ Los nombres científicos de las especies anteriores pueden verse en el trabajo de Reyes y Halffter, (1975).

c.2) Aves migratorias:

Pato bocón, pato coacoxtle, pato de árbol, pelicano, garza nocturna, ganzo de frente blanca, pato de collar, pato pinto, cerceta de alas verdes, cerceta de alas azules, cerceta café, pato golondrino, pato chalcuan, pato real, pato coacoxtle, pato boludo, pato tepalcate, gallareta común, tildío, ganga, chichicuilote y agachona.

Estas especies habitan en la zona por un período promedio de seis meses (de octubre a marzo), a excepción del pato real que viene menos tiempo y de la cerceta de alas verdes que viene desde septiembre.

Debido a la reducción, desecación y contaminación de los cuerpos de agua donde permanecen estas aves durante el invierno su población ha ido disminuyendo, e incluso por esta misma razón muchas especies que antes eran muy comunes en los lagos de la Cuenca de México, ahora son escasas e incluso algunas están en peligro de extinción, por lo que el Lago de Tecocomulco resulta un habitat indispensable para este tipo de aves y en general para toda la fauna de la Cuenca.

d) Mamíferos:

Coyote, ardilla, tlacuache, varias especies de conejos y ratones, tuza, zorra, cacomixtle, zorrillo, onza, liebre, etc. Especies que ya son muy escasas debido a la depredación humana.

e) Insectos:

Existe una gran variedad de ellos.

III.-HIDROLOGIA SUPERFICIAL.

III.1.-LA CUENCA DE MEXICO.

La Cuenca de México está situada en el borde Sur de la mesa central entre los meridianos $90^{\circ}15'$ y $99^{\circ}30'$ y los paralelos $19^{\circ}00'$ y $20^{\circ}15'$. Es de forma irregular, alargada de norte a sur, con una extensión amplia hacia el noreste (figura III.1). En su eje mayor, de Xochimilco a Pachuca, mide unos 110 Km y en el menor, de la Sierra de las Cruces hasta el Iztaccíhuatl, mide unos 80 km. La Cuenca de México abarca unos 9600 Km^2 , y la parte mas baja de ella tiene una altitud de 2240 m.s.n.m. (Mooser, 1975).

Esta cuenca es cerrada naturalmente, pero se drena artificialmente hacia el noroeste mediante el Tajo de Nochistongo y los túneles de Tequixquiac. Dentro de ella se encuentran algunos lagos someros como son: el Lago de Texcoco, la Laguna de Zumpango y el Lago de Xochimilco. Estos cuerpos de agua son el vestigio de lagos mucho mayores que al final de la época glacial, probablemente formaban uno solo poco profundo (Mooser, 1975).

Hacia la parte noreste, en pequeñas cuencas cerradas, pero que han sido incorporadas artificialmente a la Cuenca de México, mediante la construcción de canales, se encuentran las lagunas someras de Tecocomulco, Tochac y Apan, estas últimas dos solo tienen agua en tiempo de lluvias.

De acuerdo a las características hidrológicas principales que presentan las corrientes superficiales de la cuenca, ésta se ha dividido en las siguientes once zonas hidrológicas (Memoria de las obras del drenaje profundo de la Ciudad de México). (fig. III.1).

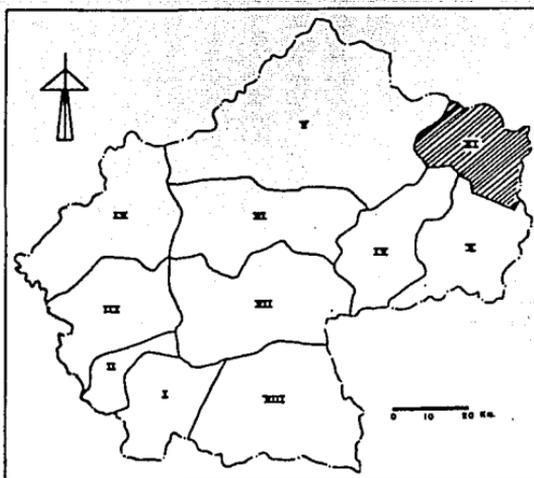


Figura III.1.-La Cuenca de México y las once zonas hidrológicas en que ha sido dividida. La zona XI corresponde a la Cuenca de Tecocomulco.

Zona I y VIII, cuyas corrientes se encuentran en la Sierra Chichinautzin.

Zona II, está integrada por las corrientes que forman el Río Churubusco.

Zona III, sus corrientes abarcan la mayor parte de la ciudad de México.

Zona IV, abarca las cuencas de los ríos Tepetzotlán y Cuautitlán.

Zona V, a esta zona hidrológica corresponde la cuenca del Río de las Avenidas de Pachuca, así como otras corrientes de menor importancia.

Zona VI, formada por la cuenca del Río de San Juan Teotihuacan.

Zona VII, En esta zona se incluyen todos los ríos que desaguan en la parte oriental del lago de Texcoco a excepción del de San Juan Teotihuacan.

Zonas IX, X y XI, constituidas por las cuencas de Apan, Tochac y Tecocomulco.

III.2.-LA CUENCA DE TECOCOMULCO.

Se localiza en la parte más nororiental de la Cuenca de México, es de forma irregular ensanchada hacia el oriente y adelgazada hacia el poniente, donde anteriormente se cerraba entre los cerros de Santa Ana y Jihuingo. Tiene una superficie aproximada de 536 Km² y en la parte más baja de ella se encuentra el Lago de Tecocomulco. (fig. III.2).

III.2.1.-HIDROGRAFIA.

Como se puede ver en la figura III.2, la red hidrográfica está constituida por ríos, arroyos, canales artificiales, un lago en la parte más baja de la cuenca, tres presas y algunos manantiales.

A continuación se describen estos elementos:

Ríos:

Existen dos pequeños ríos principales:

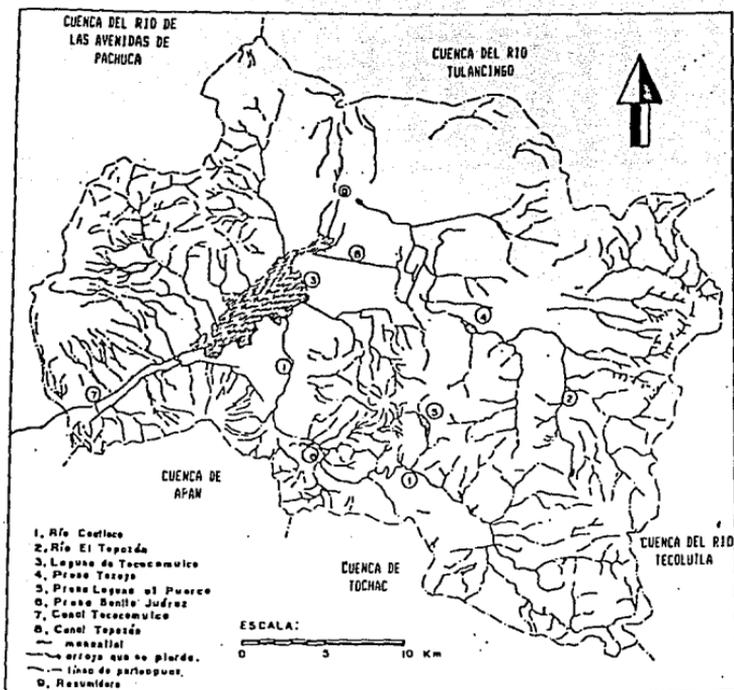


Figura III.2.-Plano hidrográfico de la Cuenca de Tecocomulco.

-El Río Coatlaco: nace en la Sierra del Tepozán; es el que tiene el área de captación mas extensa, (a grosso modo ocupa 1/6 de la C. de Tecocomulco). Corre en dirección principal hacia el NW, tiene una longitud aproximada de 30 Km. y lleva agua todo el año por ser parcialmente alimentado por manantiales. Es el principal afluente de la presa Benito Juárez por la cual es truncado antes de llegar a la Laguna de Tecocomulco. No fué aforado, pero se estima que en su parte final lleva un caudal en época de lluvias de 100 a 300 lps y de 10 a 60 lps en época de estiaje.

-El Río El Tepozán: nace en la misma sierra que el río Coatlaco, pero en la parte septentrional de esta y se enriquece con los arroyos que vienen de la parte oriental, corre hacia el noroeste, es alimentador de la Presa Tezoyo donde practicamente vierte todo su caudal. Al igual que el Río Coatlaco es de tipo permanente por ser también alimentado por algunos manantiales. Su caudal es menor que el del Río Coatlaco.

Arroyos:

Existen bastantes en toda la cuenca, la mayoría carece de nombre y son de carácter intermitente. Es interesante observar que en la parte norte de la cuenca los arroyos frecuentemente desaparecen, debido a que existen grandes fracturas en las rocas por donde se infiltra el agua que llevan.

Laguna de Tecocomulco:

Es un lago formado naturalmente, en la parte mas baja de la cuenca. Por disposiciones oficiales se considera como limite de este cuerpo de agua a la elevacion 2514.30 m.s.n.m., que corresponde a la delimitación después de su desecación parcial. Es

de forma alargada, con un largo de aproximadamente 12 km y dos de ancho, en época de seca. En tiempo de lluvias, dependiendo de la magnitud de éstas puede aumentar su superficie a casi el doble.

Se encuentra orientada de la misma forma que la planicie en donde se encuentra, es decir noreste-sur oeste. No existen levantamientos batimétricos de ella, pero según personas de la región tiene como máximo de profundidad 2 m. en la parte central disminuyendo hacia las orillas. Esta laguna está en proceso de desaparecer por azolvamiento.

Presas:

Las principales son: La Presa Tezoyo, la presa Benito Juárez y la presa denominada Laguna El Puerco. La más grande y antigua de ellas es la de Tezoyo localizada cerca de la población que lleva por nombre, fue construida en los años 40s. por la entonces S.R.H. con fines de irrigación, la cortina es de enrocamiento con forma de arco, de unos 30 m. de altura y tiene un vertedor muy amplio en la margen derecha, según personas de la región sólo almacena agua en la época de lluvias, observación que pudo comprobarse al visitarla en ambas épocas. Esto según observaciones durante este estudio, seguramente se debe a que se encuentra construida sobre una toba riolítica bastante brechada, que permite la infiltración a través de ella.

La presa Benito Juárez fue construida recientemente, capta las aguas del Río Coatlaco y se localiza cerca de la población de Alcantarillas. Curiosamente en este lugar se localizan los manantiales más grandes de la cuenca, que antes de la construcción de esta presa eran de un agua cristalina, enturbiándose luego de ello, debido a que fue emplazada sobre basaltos bastante

permeables, por donde se infiltra el agua turbia que almacena la presa contaminandolos con ello.

La presa Laguna El Puerco es la mas pequeña de las tres y se encuentra localizada en la parte sur de la cuenca, en la actualidad se encuentra totalmente azolvada.

Manantiales:

Solo se localizan en la parte sur y suroriental de la cuenca, esto debido a que en la parte norte no existen rocas impermeables que detengan y hagan que salga el agua infiltrada hacia la superficie, a diferencia de que en las partes opuestas, si existan rocas con estas características.

Algunos ejemplos de la condición anterior son los siguientes: Los manantiales que se encuentran en las cercanías del poblado de Las Vigas, afloran en el contacto de una toba andesítica permeable que descansa sobre andesitas y riolitas menos permeables. Así mismo los manantiales localizados al oriente de la población de Coatlaco y junto al río del mismo nombre, se encuentran en el contacto de unos basaltos bastante permeables y que descansan sobre rocas riolíticas impermeables.

Estos manantiales no fueron aforados, pero a excepción de los de Alcantarillas¹, son todos de pequeños caudales del orden de los 2 a los 10 lps y que en su mayoría son aprovechados para abastecer de agua potable a los poblados, mediante la conducción de sus aguas en acueductos entubados y dirigidas por gravedad.

¹ Heriberto Camacho estudia el origen de estos manantiales en su trabajo de 1920.

Canales:

El canal mas importante es el canal Tecocomulco, que fué construido en el año de 1949, para desecar parcialmente la laguna, se encuentra en la parte oriental de la cuenca y va de poniente a oriente, tiene una longitud de 8.8 km, su sección es trapezoidal, no se encuentra revestido y fué diseñado para desalojar $3 \text{ m}^3/\text{s}$. En la actualidad se encuentra azolvado, por lo que no cumple con su función.

También se han construido una gran cantidad de canales para controlar que las avenidas no afecten a las tierras de cultivo en la parte mas plana de la cuenca, ellos son dirigidos hacia el Lago de Tecocomulco, entre estos canales destaca por su magnitud el Canal Tepozán (figura III.2), que descarga sus aguas en la parte noreste de dicho cuerpo de agua.

"Resumideros":

Comunmente se les denomina así por la gente de la region, a las grietas y fracturas de rocas basálticas por donde se infiltra el agua superficial. Debido a que estas endiduras se encuentran comunicadas unas con otras, la permeabilidad de este material es muy alta. Los basaltos con esta característica, se localizan en la parte nororiental de la cuenca extendiéndose hasta la Planicie de Tecocomulco y hasta los bordes del Lago.

Cuando el lago en tiempo de lluvias alcanza sus niveles mas altos, se pone en contacto con el basalto, infiltrándose con ello el agua superficial, y por lo tanto estos "resumideros" actúan como un regulador hidráulico de su vaso, ya que no permiten que exceda cierto nivel.

En uno de los recorridos de campo, fueron visitados algunos de estos resumideros. Se apreció que en algunos el agua se infiltraba rápidamente, y en otros, que aunque era muy bien conducida por canales desde la laguna, lo hacía de una manera muy lenta, probablemente se deba a que las fracturas se han ido sellando, con materiales finos que acarrea el agua.

III.2.2.-CLIMATOLOGIA

Existen varias estaciones climatológicas en la zona de estudio pero debido a que muchas de ellas se encuentran o fueron abandonadas en algún tiempo, solo se consideraron a las que contaban con la información mas reciente, continua y confiable.

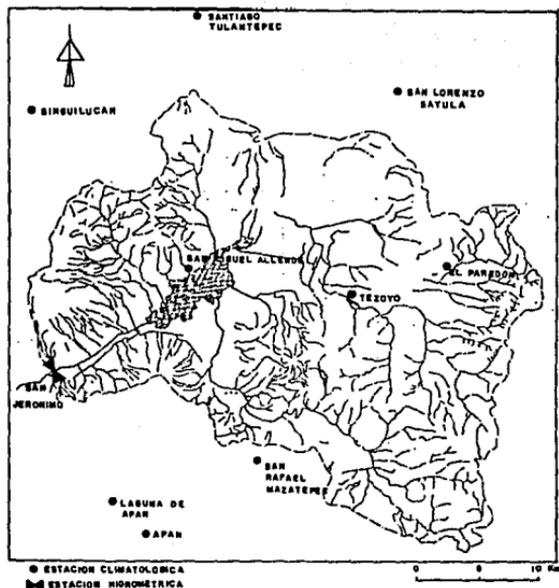


Figura III.3.- Localización de estaciones climatológicas e hidrométricas en la zona.

Casi todas las estaciones utilizadas para este trabajo se encuentran fuera de la cuenca de estudio, sólo la estación de Tezoyo se localiza en el centro de ella. Sus datos son los más parecidos a los presentados como medios según la figura II.2, en donde se considera una temperatura media anual de 13°C y una precipitación media anual de 700 mm.

El intervalo de observación que fué tomado en cuenta para el análisis de los datos climatológicos en las estaciones seleccionadas, fué el de 1971 a 1980, porque este resulta el más completo.

Estación climatológica.	Período de observación considerado	Precipitación media anual	Temperatura media anual	Evaporación med. anual
San Lorenzo Sayula	'71-'80	697.2 mm.	14.4°C	
Santiago Tulantepec	'71-'80		15.7°C	1734.6 mm.
Singuilucan	'71-'80	609.3 mm.	13.9°C	
Tezoyo	'71-'80	673.5 mm.	12.4°C	1504.2 mm.
Laguna de Apan	'76-'80*		12.6°C	
Apan	'71-'80	514.6 mm.	13.9°C	1642.5 mm.
MEDIA	'71-'80	623.7 mm.	13.8°C	1627.1 mm.

Datos tomados de la S. A. R. H.

* No existen datos anteriores.

Tabla III.1.-Registros climatológicos.

Como puede observarse en la tabla anterior la precipitación mas elevada se encuentra en la estación de San Lorenzo Sayula, al norte de la cuenca, y la mínima se encuentra en la estación de Apan, al sur. La estación de la Presa de Tezoyo presenta una precipitación intermedia entre las dos anteriores.

En cuanto a temperatura se refiere, se observa que la máxima se encuentra hacia el norte de la cuenca, la media hacia su parte sur y la mínima se encuentra hacia su parte central. Para la evaporación potencial anual, según los escasos datos registrados, la máxima se localiza al norte, la media al sur y la mínima hacia el centro de la cuenca.

Como un parámetro para comparar el periodo analizado con respecto a otros años, se presenta graficamente el análisis de los datos de la estación "Presa Tezoyo", que cuenta con el registro mas largo y continuo (de 1953 a la fecha).

PRECIPITACION PLUVIAL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRESA TEZOYO, EDO. HIDALGO

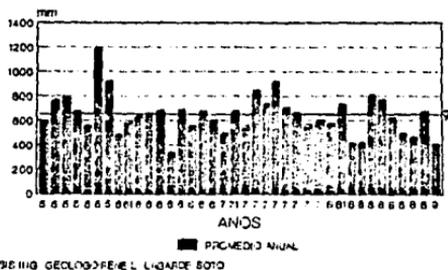


Fig. III.4.-Análisis de la precipitación para la estación: "Presa Tezoyo", (Medias Anuales).

**PRECIPITACION PLUVIAL
ANALISIS ESTADISTICO
PRESA TEZOYO, EDO. HIDALGO**

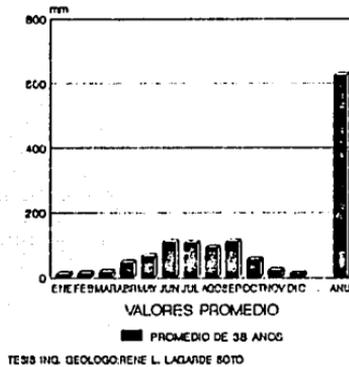


Fig. III.5.-Análisis de la precipitación para la estación: "Presa Tezoyo", (Medias Mensuales).

**TEMPERATURA MEDIA
ANALISIS ESTADISTICO
PRESA TEZOYO, EDO. HIDALGO**

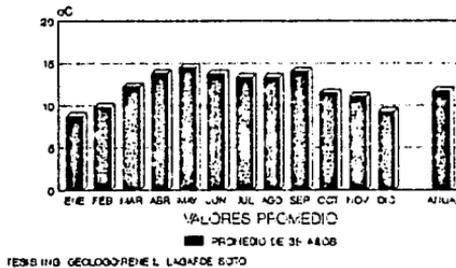


Fig. III.6.-Análisis de la temperatura para la estación: "Presa Tezoyo" (Medias Mensuales).

**TEMPERATURA MEDIA
ANÁLISIS ESTADÍSTICO
PRESA TEZOYO, EDO. HIDALGO**



Fig. III.7.-Análisis de la temperatura para la estación: "Presa Tezoyo" (Medias anuales).

Como puede verse en la figura III.4, la precipitación presenta una tendencia cíclica, y además puede apreciarse cuales fueron los años lluviosos y cuales los secos, dependiendo si la precipitación media anual fué superior a la media o menor, respectivamente.

En la figura III.5, se aprecia cual es el periodo de lluvias y cual el de estiaje. En la figura III.6 se observan cuales son los meses predominantemente más cálidos y cuales son los mas fríos y en la figura III.7 se nota una tendencia cíclica inversa a la de la precipitación.

III.2.3.-HIDROMETRIA

En el área de estudio, sólo existe una estación hidrométrica, esta es la denominada San Jerónimo (figura III.3), localizada sobre el Canal Tecocomulco, a 1.5 Km al noroeste del poblado de San Jerónimo y a 10 Km al noreste de la población de Tepeapulco, en el municipio del mismo nombre.

Esta estación fué instalada con la finalidad de cuantificar las

salidas del Lago de Tecocomulco y los escurrimientos producidos entre este cuerpo y la estación, es decir el escurrimiento total de la cuenca de estudio.

Fue puesta en operación desde finales de los años cuarentas, pero solo pudieron conseguirse datos parciales del periodo de 1979 a 1987. (Tabla III.2).

AÑO	VOLUMEN ANUAL (10 ⁶ m ³)
1979 ⁺	2593
1980 ⁺	
1981	2450
1982	1348
1983	3054
1984 ⁺	4513
1985 [*]	
1986	179 [*]

*Dato Parcial

+No existen datos

Tabla III.2.-Registros hidrométricos de la estación San Jerónimo. (Datos tomados de la S.A.R.H.).

Hay que aclarar que estos datos son únicamente de los escurrimientos recolectados por el Canal Tecocomulco entre la laguna y la estación, y no corresponden a los de toda la cuenca. Esto se debe a que el canal al poco tiempo de su construcción se azolvó y continúa así en la actualidad, como pudo constatarse directamente.

IV.-GEOLOGIA.

IV.1.-MARCO GEOLOGICO REGIONAL.

Según la división de la República Mexicana en Provincias Geológicas, la zona de estudio queda comprendida dentro de la provincia del Eje Neovolcánico.

El Eje Neovolcánico ó 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, que atraviesa a la República Mexicana de costa a costa, a la altura del paralelo 20. (figura IV.1).

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 zigzagante regido por la presencia de un sistema de fracturas ortogonales con direcciones NE-NW, originadas por movimientos transcurrentes.

Demant (1978), considera que el Eje Neovolcánico, mas 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 norte-sur, 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 del Valle de México, Mooser (et. al, 1975) ha reconocido siete fases del Vulcanismo ocurridas a partir del Oligoceno, destaca como la mas 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 Iztacchuatl 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 Chichinautzin. (tabla IV.1).

			Tectonismo	Edades
RELLENO MODERNO	GRUPO CHICHI-NAUTZIN	VULCANITAS DEL NORTE DE LA CUENCA	NE	Cuaternario
GRUPO DE LAS SIERRAS MAYORES			EyENE	Terciario sup
GRUPO DE LAS SIERRAS MENORES				Terciario medio
GRUPO DEL TERCIARIO MEDIO				Ter.inf.
GRUPO BALSAS				

Tabla IV.1.-Secuencia de Grupos Volcánicos y Eventos Tectónicos de la Cuenca de México (Según Mooser,1975).

En la porción occidental el Eje Neovolcánico (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, etc.), pero Demant (1978), considera que el ENV, tiene una edad Plio-cuaternaria, basado en que el vulcanismo del Oligoceno-Mioceno corresponde mas bien a la prolongación de la Sierra Madre Occidental.

La teoria mas aceptada sobre su origen es aquella que relaciona este, 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).

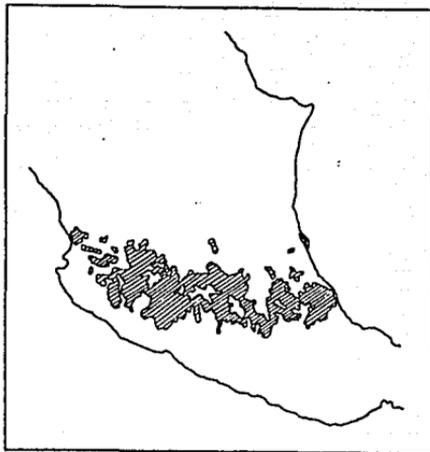


Figura IV.1.- El Eje Neovolcánico
(Tomado de Morán, 1975)

IV.2.-GEOMORFOLOGIA.

De acuerdo a sus características morfológicas, genéticas y cronológicas, se puede clasificar a las diferentes formas del relieve comprendidas en el área, en dos tipos principales: rasgos terciarios y rasgos cuaternarios (Ledezma, 1986).

a) Rasgos Cuaternarios.

Se caracterizan por conservar sus formas casi intactas, en cuanto a erosión se refiere, dentro de este grupo se encuentran: las planicies, los lomerios, los conos cineríticos, algunos domos y los volcanes de lava básica.

Planicies.

La principal de ellas es la planicie localizada en la parte central de la cuenca, es una planicie bastante elevada, ya que se encuentra a los 2510 m.s.n.m. , tiene una forma alargada de noreste a suroeste de unos 20 Km. de largo por unos 5 Km. de ancho y en su parte mas profunda se encuentra el Lago de Tecocomulco, por lo que su pendiente (del orden del 1%), tiende hacia este cuerpo de agua.

Esta planicie se formó por procesos acumulativos una vez que fué cerrada la cuenca por el vulcanismo cuaternario. Existen otras planicies dentro de la zona, como las que se encuentran cerca de las poblaciones de: El Paredón, El Tepozán y Rancho Nuevo, pero son de dimensiones menores.

Lomerios.

Se encuentran en la parte oriental de la cuenca, están constituidos por intercalaciones de tobas pumicíticas con algunos lentes de roca ácida y obsidiana, que debido a su baja resistencia a la erosión, permiten la formación de este tipo de formas, que desde una fotografía aérea, dan la apariencia de ondulaciones.

Conos cineríticos.

Estos aparatos volcánicos son muy numerosos en el área, casi todos conservan sus formas cónicas y cráteres bien definidos,

tienen en promedio 1 Km. de diámetro y una elevación con respecto a su base de 150 m. La pendiente de sus flancos es de unos 30°, y están constituidos por materiales piroclásticos no consolidados.

Es visible que algunos de estos aparatos se encuentran alineados noreste-suroeste, lo que presupone la presencia de fracturas profundas por donde ascendió el material que los formó. Algunos ejemplos de estos aparatos son: el Cerro de Mazatepec, el Cerro de El Tiololo y el Cerro de San Ignacio.

Domos riolíticos.

El Cerro de las Tetillas, cuyo nombre es muy descriptivo, y localizado en la parte mas oriental de la cuenca, representa un domo de composición riolítica (Ledezma, 1986). Esta estructura tiene un diámetro de 2 Km y una elevación con respecto a su base de unos 200 m. Existe otro domo de naturaleza riolítica, pero por ser de edad Terciaria se describirá mas adelante.

Volcanes de lava.

Estos aparatos tienen elevaciones cercanas a los 3000 m.s.n.m., como son los cerros de Santa Ana, Tultengo, La Paila y Coyote. Están constituidos por lavas basálticas. Algunos se encuentran coronados por conos cineríticos. Es posible apreciar un cierto lineamiento entre ellos, que va de noreste a suroeste. Debido al fuerte fracturamiento y agrietamiento que tienen las rocas que forman estos derrames, su superficie representa una zona de alta infiltración para el agua de lluvia.

b) Rasgos Terciarios.

Las estructuras terciarias se caracterizan por tener un grado maduro de erosión, y por formar estructuras mayores del relieve,

es decir, macizos montañosos bastante notables que a continuación serán descritos:

Sierra del Tepozán.

Se localiza al sureste de la cuenca y representa la estructura mas abrupta del área de estudio. Esta unidad está compuesta por rocas andesíticas que son coronadas por rocas riolíticas (Ledezma, 1986), tiene elevaciones en forma de peñascos de hasta 3300 m.s.n.m., y acantilados de mas de 100 m. de profundidad.

Sierra de Cocinillas.

Se extiende de noroeste a sureste con una longitud de unos 10 Km. desde la población de Cocinillas, localizada al sur de la Laguna de Tecocomulco, hasta cerca de la población de Rancho Nuevo. Está formada por rocas andesíticas y riolíticas, caracterizadas por originar peñascos muy escarpados. Estas estructuras terciarias están parcialmente cubiertas por rocas cuaternarias que también conforman esta sierra.

Sierra de Chichicauitla.

Esta sierra está constituida por una estructura semicircular de unos 5 Km. de diámetro, se compone de rocas volcánicas de composición intermedia. Posiblemente se trate de una caldera, que Ledezma, 1986, ha nombrado como la caldera Chichicauitla.

Domo Jhuíngo.

Este aparato volcánico se localiza hacia la parte suroccidental de la cuenca, es de naturaleza riolítica y constituye un enorme cono truncado, erizado por apófisis resistentes, de flancos con pendientes de 43° . Por el grado de erosión que representa

(madurez), se considera en general de edad Terciaria. Su cráter está desgarrado hacia el sur y tiene salientes que forman la chimenea o cuello volcánico. (Camacho, 1920).

IV.3.-ESTRATIGRAFIA.

A continuación se describe la estratigrafía del área, que ha sido elaborada después de hacer una revisión de las unidades litoestratigráficas propuestas por Ledezma (1986), de la cartografía geológica de INEGI, (hojas Ciudad Sahagún, Apan y Tlaxco a escala 1:50,000), y de la realización de una cartografía geológica a semidetalle del área comprendida dentro de la cuenca de estudio.

Para la ubicación de las unidades en el tiempo y la nomenclatura de cada una de ellas, fue utilizado el trabajo de Ledezma (op. cit.), quien correlaciona a ciertas formaciones de su área, con las que conforman el Grupo Pachuca, de Pachuca y Real del Monte (Seegerstrom, 1961; Geyne et al., 1963), tomando en consideración la litología y el grado de erosión de ambas, por no existir edades radiométricas absolutas dentro de su área de estudio. (Ver plano geológico anexo).

CRETACICO.

En la región estudiada no existen afloramientos de rocas de edad Mesozoica. El afloramiento mas cercano de ellas es un minúsculo de calizas que se localiza a unos 10 km. al sur del área, situado cerca de la población de Francisco I. Madero en el estado de Tlaxcala (Ledezma, op. cit.) y que posiblemente según este autor, corresponda a las formaciones "El Doctor" y "Morelos" del Cretácico Temprano.

Ya mas alejados de la zona de estudio se tienen afloramientos de rocas de edad mesozoica en la Barranca de Alcholoaya, situada unos 35 Km. hacia el Norte y en la Barranca de Chignahuapan, muy cerca de la poblacion con este mismo nombre a unos 20 Km. al oriente de la cuenca.

La presencia de estos afloramientos tanto al Sur, como al Norte y Este de la Cuenca de Tecocomulco, hacen suponer que tambien por debajo de las rocas volcánicas aflorantes en esta zona, se encuentran rocas sedimentarias, aunque no puede precisarse a que profundidad.

TERCIARIO.

"Andesita El Peñón"

Con este nombre informal, Ledezma (op. cit.), llama a una secuencia de derrames de andesita, una de color gris con fenocristales de plagioclasa que intemperiza en colores violeta, verde y rosa, y otra de color gris claro que intemperiza en color crema y que es de grano fino. Ambas andesitas están cubiertas por derrames de riolita fluidal. La localidad tipo de esta unidad la situa Ledezma en el poblado de El Peñón, ex-estación del ferrocarril Apizaco-Chignahuapan, cerca de Tlaxco, Tlax.

Estas rocas son las que Ledezma considera litológica y geomorfológicamente semejantes a las del Grupo Pachuca (Segerstrom, 1961; Fries, 1962; Geyne et. al., 1963), dándoles por lo tanto la edad Oligoceno-Miocénica, que corresponde a la base del mencionado grupo.

En la zona de estudio, esta formación se encuentra en la parte

suroriental de la cuenca y fué delimitada básicamente por fotointerpretación, ya que esta unidad presenta un relieve bastante abrupto, con grandes acantilados y elevaciones de hasta los 3350 m.s.n.m.

En las cercanías de la exhacienda de El Tepozán y al oriente y sur del poblado de El Paredón, puede observarse que esta roca se encuentra muy fracturada, dando lugar a "lajas", que son utilizadas en la construcción de viviendas.

En las localidades anteriores, esta unidad es de color gris claro, que intemperiza en gris oscuro, de textura porfírica, al microscopio se observan fenocristales de Oligoclasa-Andesina y de Augita, en una matriz microlítica.

Sobre el camino que va de El Tepozán a Tecoloquillo, se observa hacia la parte sur, a la "Andesita El Peñón", constituida por una roca de color gris rosado de textura porfírica, con líneas de fluidéz, y con fenocristales de cuarzo, labradorita y sanidino (como minerales esenciales), y hornblenda café (como mineral accesorio), la matriz está constituida por vidrio, microlitos y minerales opacos, por lo que se trata de una dacita. Esta roca probablemente corresponda a la riolita que Ledezma (op.cit.) describe como coronante de los derrames de andesita.

También según Ledezma, esta unidad puede tratarse de una roca intrusiva hipabisal por no presentar claramente las características de un derrame.

Así mismo, este autor considera dentro de esta unidad, a unos pequeños afloramientos de andesitas riolitas y dacitas, localizados en las cercanías de la población de Singuilucan, al NW

de la zona de estudio. En este trabajo, estas rocas no fueron consideradas dentro de la "Andesita El Peñón", sino dentro del grupo de rocas volcánicas no diferenciadas del plioceno, que se tratará mas adelante, por no presentar las características morfológicas de esta unidad, y por tener mas cercanía y afinidades con el segundo grupo.

No se observa la base de esta formación, por lo que se desconoce su espesor, pero se infiere que este es superior a los 700 m.

"Riolita Chignahuapan"

La "Riolita Chignahuapan" se encuentra fuera de la Cuenca de Tecocomulco, pero por quedar dentro del cuadrángulo cartografiado geológicamente se incluye con la descripción de Ledezma (op.cit.).

Este autor, nombra de manera informal, como "Riolita Chignahuapan", a una secuencia de derrames volcánicos constituidos por hialotraquita y riolita que se localiza en el ángulo nororiental de su hoja. La posición de estos derrames es horizontal y forma una meseta que se extiende por muchos kilómetros hacia el NW del área cartografiada por él.

Ledezma le asigna a esta formación una edad del Plioceno, por encontrarla sobreyaciendo a la unidad que el denomina "Basalto El Cholón", (unidad localizada fuera de nuestra área de trabajo), que sobryace a su vez a la "Andesita El Peñón". El espesor de esta formación, según el autor mencionado, es de 250 m. aprox.

Terciario no diferenciado

Estas rocas afloran en las partes sureste y noroeste de la

cuenca, se presentan formando un relieve abrupto, pero menos drástico que las rocas de la "Andesita El Peñón", se trata de rocas volcánicas: andesitas, riolitas, dacitas, y traquiandesitas que no fueron diferenciadas.

Mooser, (1975), en su mapa actualizado de la Cuenca de México, asigna a estas rocas una edad pliocénica, y es la edad que se asigna en este trabajo, por no existir datos geocronométricos.

Hacia la parte noroccidental del área estudiada, la Sierra de Santa Ana Chichicuautila está constituida por una traquiandesita. Esta es una roca de color gris claro de textura porfirítica, presentando líneas de fluidos y fragmentos de roca de hasta 3 cm. de diámetro, al microscopio petrográfico se le observa una textura porfirítica con matriz traquítica, los minerales esenciales que la componen son: andesina y sanidino y como mineral accesorio se encuentra la hornblenda.

"Formación Calpulalpan"

Esta formación fue nombrada informalmente por Ledezma (1986), para unos depósitos de pie de monte que bordean estructuras del Terciario, tobas, cenizas volcánicas con horizontes de pómez e intercalaciones de depósitos fluviales. El nombre de esta formación lo tomó Ledezma del poblado de Calpulalpan situado en el sur de su hoja, por encontrarse cerca de él, los depósitos más extensos de esta formación.

En la Cuenca de Tecocomulco esta formación no representa grandes extensiones, solo se pudieron localizar pequeños afloramientos de ella uno hacia la parte noroccidental de la cuenca, cerca de la población de Fco. I. Madero y otro en la parte

suroriental, cerca de la población de Las Vigas. Ambos afloramientos están formados por una toba de color amarillo muy deleznable que forma pequeños cañones como puede verse en el camino que va de la población de Rancho Nuevo a la de Las Vigas.

Hacia la parte sur de la zona de estudio, pero fuera de ella, se localizan mayores afloramientos de esta formación según puede verse en la Hoja de Ledezma (op. cit.).

Según el autor anterior, la formación Calpulalpan es correlacionable con las formaciones Tarango y Atotonilco el Grande, de la hoja Pachuca, y por lo tanto les asigna una edad de finales del Plioceno y principios del Pleistoceno.

CUATERNARIO

"Toba Tecoloquillo"

Ledezma (op. cit.), nombra de esta manera a una toba pumicítica de gran espesor, que fué emitida por el volcán Tecoloquillo (cerro de las Tetillas). Esta toba que ya fué morfológicamente descrita, comprende la parte oriental de la zona de estudio.

En el sitio donde se encuentra emplazada la cortina de la presa Tezoyo aflora esta formación compuesta de una serie de intercalaciones desordenadas de riolita, pómez y obsidiana, la riolita se presenta con una estructura fluidal, la obsidiana se presenta impregnada de esferulitas de color blanco.

También en este trabajo se incluye como dentro de la Toba Tecoloquillo, a el Cerro de la Minilla, por tratarse también de una estructura cuaternaria de composición similar a la del cerro

de las Tetillas, es decir este esta compuesto por un material de color gris claro de grano grueso uniforme, al microscopio presenta una textura piroclástica con cristales de cuarzo, sanidino, fragmentos de roca y trazas de vidrio, por lo que se ha clasificado como una toba cristalina riolítica.

Basaltos, Brechas y Cenizas Volcánicas

Los basaltos son las rocas que ocupan una mayor extensión en lo que el área de estudio, se presentan como derrames de lava muy fluida, pueden ser compactos, de estructura columnar, o pueden constituir un mal país.

Estos basaltos al microscopio presentan una textura porfirítica con fenocristales de labradorita y olivino, como minerales esenciales dentro de una matriz microlítica.

Los cerros de Cuasesengo, Santa Ana, Tultengo, La Paila y Coyote, son aparatos volcánicos formados por este tipo de lavas que en ocasiones se encuentran intercaladas con cenizas volcánicas emitidas por ellos mismos. Los derrames de este tipo de lavas suelen ser de grandes extensiones, como es el caso de los derrames de los cerros citados anteriormente. (ver plano geológico anexo).

Intimamente relacionadas al vulcanismo básico de estos aparatos, pero de un origen explosivo, se encuentran los pequeños aparatos volcánicos denominados conos cineríticos, constituidos por tezontle, (brecha volcánica básica), y que son muy abundantes en la zona. Algunos ejemplos de estos aparatos son: el cerro de Mazatepec, el cerro de Buenavista, el volcán San Ignacio, el cerro de El Tiololo, etc.

Este vulcanismo de tipo básico representa la fase mas reciente

de actividad en la zona y concretamente el cerro de Mazatepec, es el mas reciente de todos lo aparatos.

Aluvión y Depósitos lacustres.

Incluyen materiales no consolidados que varían desde detritos formados por fragmentos angulosos y gruesos, hasta limo, arcilla y cenizas volcánicas. El material predominante de la planicie de Tecocomulco es el material tamaño de arenas y de limos y hacia lo que es el vaso de la laguna, predomina el material limo-arcilloso.

Desafortunadamente no se tienen datos de Geología de Subsuelo de la Planicie de Tecocomulco, pero es posible que el espesor de estos depósitos sea bastante potente, debido al hundimiento tectónico de la zona (Vivar. 1933; Ledezma, 1986).

Los límites de La extensión cartografiada como depósitos lacustres, fué inferida en base a lo que anteriormente cubría la Laguna de Tecocomulco, y que puede verse en el plano topográfico de Camacho (1920) o en el plano geológico de Vivar (1933).

IV.4.-TECTONICA REGIONAL.

Según Mooser (1975), uno de los rasgos característicos del Eje Neovolcánico, es el sistema ortogonal de fracturas en forma de X, con elementos dirigidos unos al SE y otros al SW, que controlan el ascenso de los magmas y rigen la formación de fosas y pilares. (Figura IV.2).

Este mismo autor en base al sistema anterior, indica que la estructura profunda de la Cuenca de México está constituida por una serie de fosas dirigidas al NE, en donde la mas profunda de ellas es la central, dirigida de Xochimilco a Tecocomulco.

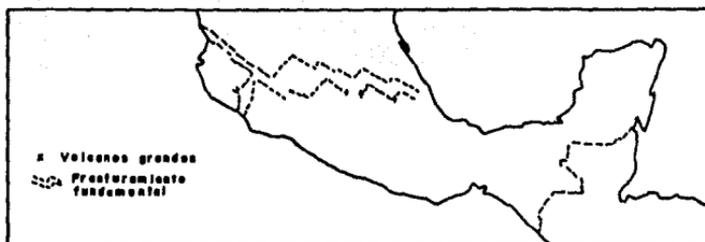


Figura IV.2.-El fracturamiento fundamental del Eje Neovolcánico. (según Mooser, 1975).

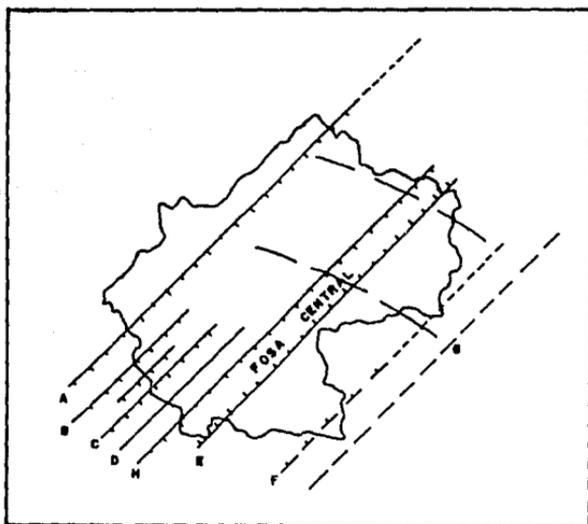


Figura IV.3.-La estructura fundamental de la Cuenca de México para el Mioceno, (Tomado de Mooser, 1975).

LA FOSA CENTRAL VA DE XOCHIMILCO A TECOCOMULCO.

- A: Falla profunda Nevado- Pachuca.
- B: " " Huixquilucan.
- C: " " Contreras.
- D: " " Ajusco.
- E: " " Tlaloc-Apan.
- F: " " Popocatepetl.
- G: Fracturamientos del Norte de la Cuenca.

Ledezma (1986), coincide con el autor anterior en que el valle de Tecocomulco corresponde a una fosa tectónica orientada NE-SW, evidenciada por la terminación abrupta de las rocas del Terciario, las cuales se encuentran topográficamente al mismo nivel que los volcanes cuaternarios, que se encuentran orientados paralelamente a las trazas de fallas inferidas con esta misma dirección. Esta fosa se denomina como el Graben de Tecocomulco.

IV.5.-GEOLOGIA HISTORICA.

En la zona de estudio no afloran rocas de edad inferior a la Era Cenozoica, pero el hecho de que existan rocas del Cretácico hacia el Norte, Sur y Este de ella, hace suponer que la región estuvo cubierta también por mares tropicales someros que a principios del Terciario se retiraron al plegarse los sedimentos calizos y levantarse el continente por efectos de la Orogenia Laramida.

Según Mooser (1975), después del plegamiento de las formaciones marinas y de su erosión, se formó un conglomerado por acumulaciones en las partes bajas (Gpo. El Morro, Segerstrom, 1961; Gpo. Balsas, Fries, 1960). En la zona no aflora este tipo de roca, pero sí en la de Ledezma, quien observa un conglomerado con fragmentos de calizas en las cercanías de la población de Calpulalpan.

Posteriormente en el Oligoceno-Mioceno, asociado al vulcanismo del Eje Neovolcánico, surge un estratovolcán que ahora erosionado forma la Sierra del Tepozán, que conforma la unidad litostratigráfica denominada: "Andesita el Peñón" (Ledezma, 1986) unidad que es correlacionable con las rocas del Grupo Pachuca, (Geyne, et al. 1963).

Seguido de este vulcanismo inicial, se desarrolló otro de composición andesítica, traquiandesítica, dacítica y riolítica, dando lugar a las "Rocas Volcánicas no Diferenciadas del Plioceno" (Mooser, 1975), que conforman estructuras sobresalientes como la "Caldera de Chichicautla", el "Domo Jihuingo" (Ledema, 1986).

Posterior a este vulcanismo, se desarrollan los hundimientos de la "Fosa de Tecocomulco" (Ledezma, op. cit.), donde posiblemente se acumularon fuertes espesores de depósitos aluviales y lacustres producto de la erosión de las rocas más antiguas. Una evidencia de estos depósitos, son los yacimientos de diatomitas localizados en la falda poniente del cerro de Jihuingo. (Camacho, 1920).

Es posible que a finales del Terciario ya existiera la Cuenca de Tecocomulco, pero como una cuenca abierta drenada hacia el SW, esto evidenciado por la distribución de las rocas Terciarias y por la pequeña elevación que forma el parteaguas de este mismo rumbo (Vivar, 1933), que fué atravesado con facilidad por el Canal Tecocomulco de no más de 5 m. de profundidad.

A finales del Terciario o principios del Cuaternario, se desarrolló un vulcanismo ácido explosivo que originó a la toba Tecoloquillo cuyos productos ocupan la parte oriental de la cuenca, y cuya actividad culmina con la formación de los domos riolíticos de "Las Tetillas" y de "La Minilla".

Como fase final de la actividad volcánica en la zona, se da el vulcanismo básico del cuaternario, que extruyó através de las fallas que marcan la Fosa de Tecocomulco, siendo con ello el responsable del cierre de la cuenca. Este vulcanismo basáltico está coronado por conos cineríticos bastante abundantes, cuyos lineamientos marcan las fracturas profundas de dirección

(NE-SW).

Una vez cerrada la cuenca, y apaciguada la actividad volcánica, se se formó un lago, en donde se depositan sedimentos lacustres que terminarán por desecarlo.

V.-HIDROGEOLOGÍA.

V.1.-UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.

De acuerdo a las características de porosidad y permeabilidad observadas y estimadas directamente en el campo, es posible clasificar a los diferentes materiales de la zona de estudio, en unidades hidrogeológicas, para con ello determinar el papel de cada una de ellas, en el funcionamiento hidrológico del sistema. A continuación serán descritas cada una de ellas, ordenadas de la mas antigua a la mas reciente (Tabla V.1).

UNIDAD 1.

Está constituida por las rocas de la formación "Andesita El Peñón" (Tomv).

Distribución.

Esta unidad conforma lo que es la Sierra de El Tepozán, localizada en la parte suroriental de la cuenca.

Edad y Espesor

Ledezma (op. cit.), considera que esta formación es de edad oligoceno-miocénica. El espesor de ella no ha sido medido, pero se

estima que sea superior a los 1000 m, ya que tan solo topográficamente tiene un desnivel entre su base y su cima de unos 900 m.

Porosidad

Esta unidad presenta una porosidad por fracturamiento, el cual se considera de moderado a intenso, las fracturas son continuas con una separación entre ellas muy variable, que va desde mm. hasta varios centímetros. Existen zonas dentro de esta unidad que contienen un alto grado de fracturas producidas por diaclasamiento, como puede apreciarse cerca de la ex-hacienda de El Tepozán.

Permeabilidad

Se estima que las fracturas estén en su mayoría comunicadas unas con otras, por lo que se considera que esta unidad tiene una permeabilidad moderada.

Funcionamiento Hidrogeológico

Esta unidad funciona como una zona de recarga, donde parte del agua que llueve es atrapada por el suelo y la vegetación que actúan como una esponja, que al estar totalmente saturada cede el agua hacia abajo infiltrándose a través de las fracturas y circular a través de ellas hacia la planicie de Tecocomulco.

Aunque no se tienen datos climatológicos de precisión, debido a la presencia abundante de vegetación en esta unidad, se infiere que es la parte de la cuenca donde existe la mayor precipitación.

Gracias a la existencia de manantiales localizados en la parte

baja de la sierra, puede comprobarse palpablemente que existe infiltración en esta unidad. Estos manantiales no fueron aforados, pero se estima que se encuentren en un rango de 1 a 50 lps.

UNIDAD 2.

Rocas Volcánicas no diferenciadas del Terciario (Tpv).

Distribución.

Estas rocas que litológicamente son andesitas, traquiandesitas, dacitas y riolitas, constituyen lo que son las Sierras de Sta. Ana Chichicautla y de Cocinillas, localizadas en la parte NW y SW respectivamente.

Edad y Espesor.

Mooser (1975), al igual que Ledezma (op. cit.), le han asignado a las rocas que conforman esta unidad, una edad pliocénica. El espesor de esta unidad no fué posible determinarlo, ya que en el área de estudio no aflora su base.

Porosidad.

Al igual que la unidad anterior, esta tiene una porosidad secundaria producida por fracturamiento, pero debido principalmente a las variaciones litológicas que en ella se encuentran, se tienen también variaciones en cuanto a la porosidad.

Permeabilidad.

Tiene en general una permeabilidad baja a moderada. Aunque

existen zonas impermeables como es el caso de los derrames de riolita localizados al noroeste de la población de Rancho Nuevo, (Cerros de Las Pailas, El Resorte, La Defensa, El Presidio, etc.), esta última característica puede comprobarse por la presencia de los manantiales, localizados en la ladera del Cerro de Las Pailas, cerca del cauce del Río Cuatlaco, precisamente en el contacto de las riolitas y unos basaltos más recientes.

Funcionamiento Hidrogeológico.

Esta unidad funciona en general como una zona de recarga pero de menor importancia que la unidad anterior, debido a la menor porosidad y permeabilidad, además de que la presencia de vegetación es menor, lo que origina una menor cantidad de agua infiltrada hacia el subsuelo. También funciona parcialmente como una zona impermeable.

UNIDAD 3.

Formación Calpulalpan (Tpc).

Distribución.

Dentro de la Cuenca de Tecocomulco sólo se observan unos pequeños afloramientos de esta unidad en la parte noreste de ella, cerca de la población de Francisco Sarabia, y en la parte sureste, cerca de la población de Las Vigas.

Edad y espesor.

Ledezma (op. cit.), considera a esta formación de edad pliocénica, sobreyaciendo a las rocas volcánicas del Terciario. No se han medido espesores de ella.

Porosidad.

Tienen una porosidad primaria alta.

Permeabilidad.

La permeabilidad es alta.

Funcionamiento Hidrogeológico.

Esta unidad se localiza en las laderas de las montañas, por lo que constituye una buena zona de infiltración, aunque como zona de recarga no es tan importante debido a su distribución tan limitada.

UNIDAD 4.

Toba Tecoloquillo (Qrt).

Distribución.

Esta unidad se presenta en la parte noreste, este y sureste de la cuenca, en el norte está constituida por el Cerro de La Minilla, en el oriente por los lomeríos de El Paredón y en el sureste constituye los lomeríos cercanos a Rancho Nuevo.

Edad y Espesor.

Ledezma (op. cit), considera a esta formación como de edad cuaternaria, y según él mismo, la formación que constituye esta unidad es bastante potente.

Porosidad.

Debido a variaciones litológicas esta unidad también presenta

diferencias en cuanto a su porosidad, siendo los depósitos de tobas pumiciticas bastante porosos, a diferencia de los derrames o lentes de riolita que pueden tener o no, porosidad localizada.

Permeabilidad.

El tipo de drenaje de esta unidad (subdendritico paralelo), nos indica que su permeabilidad es moderada, aunque para el Cerro de la Minilla pueda considerarse como impermeable, ya que se trata de una toba riolítica.

Funcionamiento Hidrogeológico.

Esta unidad puede considerarse como una zona de recarga, aunque en zonas topográficas bajas, como en la parte oriental de la Planicie de Tecocomulco, seguramente funciona como acuífero.

UNIDAD 5.

Basaltos, Conos cineríticos y Cenizas basálticas del Cuaternario (Qb, Qbc, y Qc).

Distribución.

Esta unidad es la que representa una mayor área dentro de la Cuenca de Tecocomulco, se localiza principalmente en la parte norte de ella, aunque también existe en el sur, este y oeste, algunas de las elevaciones volcánicas que conforman esta unidad son: El C. de La Paila, el Volcán Coatzetzengo, El C. Viejo de Tultengo, el C. Coyote, etc.

Edad y Espesor.

La edad de los materiales que forman esta unidad es

considerada cuaternaria (Ledezma, 1986). Los espesores de estos materiales no han sido medidos, pero se estima que se encuentren en rangos no mayores a los 200 m. para los basaltos, 100 m. para los conos cineríticos y 50 m. para las cenizas volcánicas, pudiendo estar intercalados unos con otros.

Porosidad.

La porosidad de estos materiales es muy elevada. Los basaltos se encuentran fracturados, agrietados e incluso pueden llegar a tener pequeñas cavernas producidas por el escape de gases durante la etapa de erupción, como es el caso de la cueva de la neblina, localizada en la falda norte del volcán coatzetzengo. Los conos cineríticos están constituidos por materiales piroclásticos no consolidados, lo que les da su elevada porosidad, al igual que las cenizas volcánicas.

Permeabilidad.

Estos materiales presentan una elevada permeabilidad, propiedad que puede verificarse fácilmente al observar que los arroyos frecuentemente desaparecen porque el agua que llevan se infiltra en alguna grieta o fractura. Otra prueba bastante clara de ello, es el hecho de que en la parte más baja de la estructura semicircular denominada Caldera Chichicauitla, que se encuentra "inundada" por basaltos, no se forme un lago a pesar de que las aguas superficiales que llegan a este lugar, no tienen salida.

Funcionamiento Hidrogeológico.

Debido a su alta porosidad y permeabilidad, esta unidad puede ser almacenadora o transmisora del fluido. Dependiendo de la posición topográfica en la que se encuentre, y funciona como zona

de recarga o como acuífero. Por su gran distribución en la Cuenca de Tecocomulco, esta unidad resulta la más importante desde el punto de vista hidrogeológico. (Ver plano hidrogeológico anexo).

UNIDAD 6.

Depósitos aluviales (Qal).

Distribución.

Esta unidad está conformada principalmente por los materiales localizados en la Planicie de Tecocomulco y en la planicie de El Paredón-El Tepozán al centro y oriente de la cuenca.

Edad y Espesor.

La edad de estos materiales es cuaternaria, y su espesor dentro de la Planicie de Tecocomulco debe ser bastante potente, ya que esta zona representa una fosa tectónica que se ha rellenado en parte con estos depósitos que deben estar intercalados con las rocas cuaternarias.

Porosidad.

Estos materiales presentan una alta porosidad primaria.

Permeabilidad.

La permeabilidad de esta unidad es muy alta, debido a que se encuentra conformada principalmente por materiales con tamaños arenas o superiores a ellas, no consolidados.

Funcionamiento Hidrogeológico.

Debido a su baja posición topográfica y a su alta porosidad y permeabilidad, esta unidad funciona como un acuífero bastante importante.

UNIDAD 7.

Depósitos lacustres. (Q1a).

Distribución.

Se localiza en la parte más baja de la Planicie de Tecocomulco. en la zona correspondiente al Lago que en ella se encuentra, (hasta la cota de mayor inundación), y en la zona donde estaban los lagos de Guadalupe y de Sta. Cruz, al norte de la población de Alcantarillas.

Edad y Espesor.

Esta unidad es de edad reciente y se infiere que su espesor no sea muy considerable.

Porosidad.

Tiene una elevada porosidad primaria.

Fermeabilidad.

Se estima que esta unidad sea impermeable, ya que está constituida por limos arcillosos.

Funcionamiento Hidrogeológico.

Esta unidad funciona como el receptáculo natural del Lago de Tecocomulco y como acuitardo.

UNIDAD	FORMACIONES	PERMEABILIDAD	FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO
1	Andesita El Peñón	Permeable	Z. DE RECARGA
2	Rocas volcánicas no diferenciadas del Plioceno	Semipermeable Impermeable	Z. DE RECARGA Barrera Imp.
3	Formación Calpulalpan	Permeable	Z. DE RECARGA
4	Toba Tecoloquillo	Permeable	Z. DE RECARGA- ACUIFERO
5	Basaltos, Conos cineríticos y cenizas	Permeable	Z. DE RECARGA ACUIFERO
6	Dep. aluviales	Permeable	ACUIFERO
7	Dep. lacustres	Impermeable	ACUITARDO

Tabla V.1.-Unidades Hidrogeológicas.

V.2.-NIVELES DE ACUIFEROS.

En el mes de julio de 1991, se realizó un recorrido piezométrico en la Cuenca de Tecocomulco. No pudo hacerse una nivelación de los brocales para conocer la elevación del nivel estático con respecto al nivel del mar, pero como la mayoría de las captaciones que se encuentra en la Planicie de Tecocomulco, la cual tiene una pendiente muy suave, la elevación de estos niveles puede ser comparada; además de que pueden ser referidos a las curvas de nivel de las cartas topográficas base con cierta aproximación.

En base a ello pudo determinarse que dentro de la Planicie de Tecocomulco, la zona acuifera mas importante, existen dos niveles diferentes. Uno es somero y fue detectado al medir los niveles estáticos en las norias, y otro es mas profundo detectado por la observación de los niveles en los pozos. (Ver tabla V.2 y plano hidrogeológico anexo).

Para las norias los niveles van desde centímetros hasta no mas de los 6 m con respecto a la Planicie de Tecocomulco, para los pozos los niveles en la parte sur son someros (6 m en el pozo cercano a la población de Vista Hermosa), y en la parte norte de la planicie son del orden de los 10 m. (MAT-10 Y MAT-11). En los pozos del noroeste de la planicie, donde se encuentra la mayor concentración de ellos, los niveles son del orden de los 20 m. (MAT-3, MAT-4, MAT-5).

El pozo con clave MAT-3, a pesar de que se encuentra a casi el mismo nivel que la curva de mayor elevación de la Laguna (2514 m.s.n.m.), tal vez uno o máximo 2 metros por encima de ella, tiene un nivel estático de 20 m, con respecto al brocal del pozo, lo que da claramente la idea de que la Laguna, que tiene como máximo 2 metros de profundidad, no se encuentre relacionada con el agua subterránea, y mas bien representa un cuerpo de agua colgado y soportado por los sedimentos lacustres.

Debido a que la distribución de los aprovechamientos es muy desproporcionada, no pudo realizarse una configuración precisa de estos niveles, pero con los datos obtenidos se infieren dos flujos principales del agua subterránea, uno hacia el norte y otro hacia el suroeste.

V.3.-MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO.

La Cuenca de Tecocomulco en la actualidad es hidrográficamente una cuenca cerrada, debido a que el canal de desfogue se encuentra azolvado y superficialmente no sale agua de ella. Es de forma irregular y cubre una extensión aproximada de 536 Km². En la parte mas baja de ella, se encuentra el Lago de Tecocomulco, un lago somero que está en peligro de desaparecer por azolvamiento. Es una cuenca bastante elevada, ya que el nivel máximo del lago, se encuentra a los 2514 m.s.n.m.

Está rodeada por sierras con elevaciones cercanas o superiores a los 3000 m.s.n.m. Tiene un clima templado subhúmedo con una temperatura y precipitación medias anuales aproximadas de 13.5°C y 630 mm y una evaporación potencial media anual también aprox. de 1627 mm.

Geológicamente está conformada basicamente por rocas cuaternarias basálticas y rocas terciarias andesíticas. En las partes bajas existen sedimentos lacustres y fuertes espesores de depósitos aluviales. La planicie constituye una fosa Tectónica.

El Sistema Acuífero de La Cuenca de Tecocomulco tiene un funcionamiento bastante claro, las rocas que se encuentran en ella son en general permeables, así es que una parte del agua que llueve, se infiltra hacia el subsuelo, principalmente en las zonas montañosas cubiertas de vegetación, otro tanto escurre por las laderas que son menos permeables hasta las partes planas, donde es conducida por canales hasta el lago donde se lleva a cabo una fuerte evapotranspiración.

El agua subterránea en la cuenca es de muy buena calidad, pero el agua superficial, principalmente el agua del lago, se encuentra

CENSO DE APROVECHAMIENTOS

CLAVE	APROY.	NOMBRE CLAVE	USD	ADEME	DESCARGA	M. E.	M. D.	CONSTR.	PROP. TOT.	C (LPS)	OBSERVACIONES
MAT-1	NORIA		DOMESTICO		1.5 M.		0.0 M.				
MAT-2	NORIA	RANCHO LA PAZ	DOMESTICO		1.0 M.						
MAT-3	POZO	POZO NO. 1 SINGUILUCAN	A. POTABLE		8 PLG.	20 M.	30 M.	1972-1973	50 M. ?	20	AGUA COLOR ROJIZO
MAT-4	POZO	POZO NO. 3 TEPEAPULCO	A. POTABLE		12 PLG.	8 PLG.	33 M.	1970	?		
MAT-5	POZO	POZO NO. 1 FCO. SARABIA	A. POTABLE				33.5 M.		145 M.	23	
		POZO NO. 2 TEPEAPULCO			14 PLG.	10 PLG.	21.1 M.	1989	150 M.		ABANDONADO
MAT-6	NORIA		ABREVADERO								
MAT-7	NORIA		DOMESTICO								
MAT-8	LAGO										
MAT-9	LAGO										
MAT-10	POZO	LA PALMA HGO-440	A. POTABLE		4 PLG.		8.3 M.		109 M. ?	7	AGUA TURBIA OPERA 3500 HR/ABO
MAT-11	POZO	OJUILA HGO-354	A. POTABLE		10 PLG.	4 PLG.	9.3 M.	1975		20	OPERA 5000 HR/ABO
MAT-12	POZO	LA CAJADA HGO-422	A. POTABLE		4 PLG.		19.7 M.		70 M. ?		OPERA 1800 HR/ABO
MAT-13	MANANT	ALCANTARILLAS	A. POTABLE								100 GASTO APROX.
MAT-14	MANANT										
MAT-15	NORIA	RCHO. PART.	DOMESTICO				6.0 M.				
T-16	POZO	RCHO. PART. HGO-196	ABREVADERO		6 PLG.						MOTOR DIESEL
T-17	NORIA										NO VISITADA
T-18	NORIA										NO VISITADA
T-19	NORIA										NO VISITADA
T-20	NORIA										NO VISITADA
T-21	NORIA										NO VISITADA
T-22	POZO				12 PLG.						DESEQUIPADO
T-23	POZO				12 PLG.						DESEQUIPADO
T-24	POZO	GRANJA			6 PLG.		6.0 M.				
T-25	POZO										SELLADO CON TAPA
T-26	POZO										SELLADO CON TAPA
T-27	POZO										SELLADO CON TAPA
T-28	MANANT	EL MEXICANO	A. POTABLE							10	GASTO APROX.
T-29	MANANT		A. POTABLE							15	GASTO APROX.
T-30	MANANT		A. POTABLE							22	GASTO APROX.
T-31	NORIA		ABREVADERO								

Tabla V. 2.

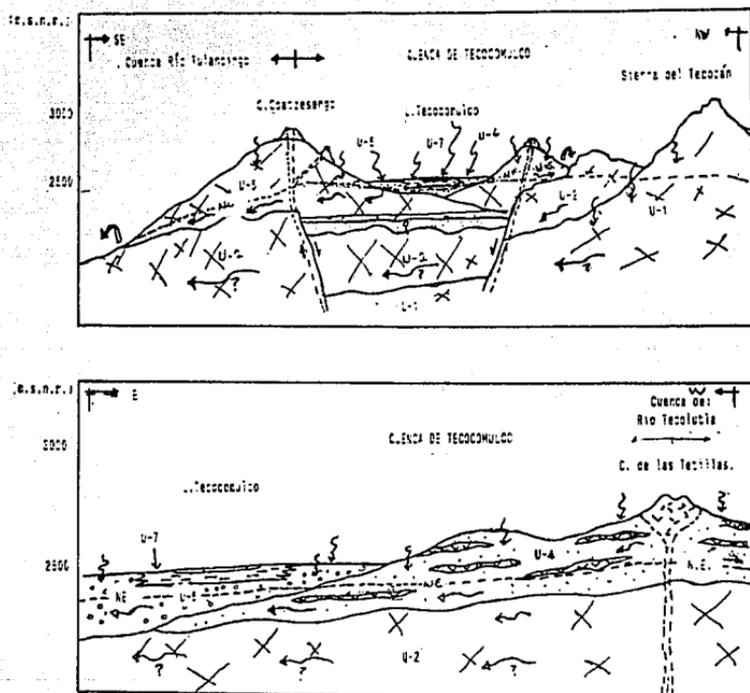


Figura V.1.-Secciones esquemáticas de las Unidades Hidrogeológicas dentro de la Cuenca de Tecocomulco.

un poco cargada en sales, además que está siendo crecientemente contaminada por las aguas residuales de los poblados cercanos que las drenan directamente hacia él.

En la zona de la planicie principal, se tienen un acuitardo en la parte superior localizado en sedimentos lacustres y un acuífero libre localizado en depósitos aluviales intercalados con basaltos, cenizas volcánicas y tobas pumicíticas.

En base al marco geológico de la cuenca, a las características de las unidades hidrogeológicas, a la posición topográfica de la cuenca con respecto a las adyacentes, y a la distribución de los acuíferos dentro de ella, se infiere que existen dos flujos subterráneos principales, uno hacia el suroeste, dirección en que antiguamente se drenaba la cuenca, y otro hacia el norte, que alimenta posiblemente a la Cuenca del Río Tulancingo, cuyo nivel más bajo se encuentra 400 m. abajo del de la C. de T..

Como se trata de una zona vedada, la extracción de agua subterránea en la cuenca es restringida y sólo existen unos cuantos pozos que abastecen de agua potable a las poblaciones cercanas, principalmente las que se encuentran dentro de la cuenca y solo a las poblaciones de Singuilucan y Tepeapulco que se encuentran fuera de ella. También son aprovechados todos los manantiales de la parte sur para dotar de agua potable a varios poblados de esta área (ver figura V.2).

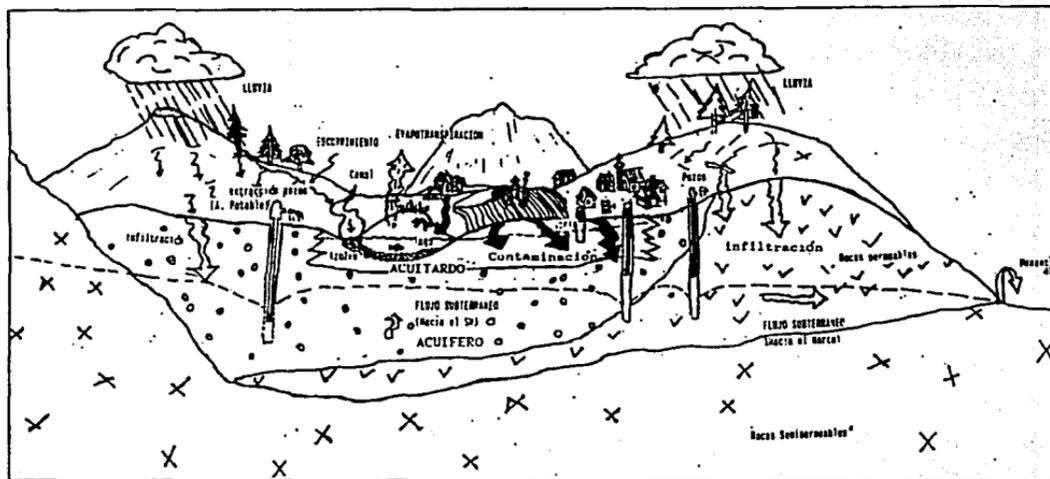


Figura V.2.- Diagrama esquemático del funcionamiento del Sistema Acuífero de la Cuenca de Tecocomulco.

VI.-HIDROGEOQUIMICA.

VI.1.-ANALISIS E INTERPRETACION DE MUESTREOS.

VI.1.1.-ANALISIS.

a)Objetivos.

Como ya se dijo anteriormente, uno de los objetivos generales de esta tesis, es determinar la calidad fisicoquímica del agua subterránea en el sistema estudiado. Para ello fueron realizados los análisis fisicoquímicos de muestras representativas de pozos, norias, manantiales y del Lago de Tecocomulco.

b) Metodología.

Lo primero que se hizo fue programar un recorrido por todos los aprovechamientos del agua subterránea localizados dentro de la cuenca de Tecocomulco, así como del mismo lago.

De todos los que fue posible, que fueron quince en total, se recolectó una muestra de un litro de agua en una botella de plástico con doble tapón. enjuagándola tres veces con el agua del mismo aprovechamiento antes de llenarla, se le midió el PH y la conductividad eléctrica en campo, se cerraron, etiquetaron y se enviaron lo mas pronto posible a el laboratorio, donde se realizaron los análisis fisicoquímicos.

Una vez obtenidos los datos, se procedió a realizar su análisis e interpretación, que a continuacion serán presentados¹.

¹ Los analisis fisicoquimicos fueron realizados por el Laboratorio de Quimica de la Universidad Autonoma de Hidalgo.

c) Procesamiento y representación de los análisis.

Una vez recibidos los datos de laboratorio, se procedió a procesar los datos obteniendo algunos parámetros útiles para la clasificación e interpretación de cada una de las muestras. Los parámetros obtenidos fueron: (después de convertir a meq/l y %): agresividad, fuerza iónica, dureza en grados franceses, R.A.S., calidad del agua para riego, relación SO_4/Cl y relación Mg/Ca.

Para mayor facilidad de comparación, se presenta a cada una de las muestras con todos los datos anteriores, adicionando también el tipo de agua de que se trate.

Además de esta presentación, los datos obtenidos se representan graficamente mediante los diagramas de Stiff, Schoeller, Piper-Hill-Languelier y de Riesgo de Salinización (R.A.S.).

MUESTRA: MAT-1

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: NORIA

PH: 7.78 COND. ELECTRICA: 655 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	mg/l	%
CO ₃ H	304.80	5.00	85.27
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	14.36	0.41	6.93
NO ₃	2.65	0.04	0.66
SO ₄	20.00	0.42	7.01
		5.87	100.03
Ca	19.00	0.95	18.81
Mg	18.00	1.50	29.70
Na	42.00	1.83	36.24
		5.05	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.07

DUREZA GRADOS FRANCESES: 12.25 meq/l

R.A.S.: 1.65

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₂-SI

RELACION SO₄/Cl: 1.01

RELACION Mg/Ca: 1.60

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA SODICA

TIPO SODICO, TIPO BICARBONATADO

MUESTRA: MAT-2

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: NORIA

PH: 7.63 COND. ELECTRICA: 336 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	mg/l	%
CO ₃ H	70.50	1.16	58.73
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	8.09	0.23	11.65
NO ₃	3.00	0.05	2.53
SO ₄	26.00	0.54	27.34
		1.98	100.25
Ca	19.00	0.95	18.81
Mg	18.00	1.50	29.70
Na	42.00	1.83	36.24
		5.05	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.003

DUREZA GRADOS FRANCESES: 7.58 meq/l

R.A.S.: 0.49

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₂-SI

RELACION SO₄/Cl: 2.341

RELACION Mg/Ca: 1.53

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O MAGNE-

SICA, MG-NA, TIPO BICARBONATADO.

MUESTRA: MAT-3

FECHA DE MUESTREO: 18-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: POZO

PH: 8.19 COND. ELECTRICA: 399 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	mg/l	°
CO ₃ H	224.50	3.67	96.98
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	3.23	0.09	2.37
NO ₃	0.80	0.01	0.26
SO ₄	1.00	0.02	0.53
		<hr/>	<hr/>
		3.79	98.64
Ca	10.00	0.50	17.30
Mg	13.00	1.08	37.37
Na	26.00	1.13	39.10
K	7.00	0.18	6.23
		<hr/>	<hr/>
		2.89	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.004

DUREZA GRADOS FRANCESES: 7.915 mg/l

R.A.S.: 1.27

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₂-SI

RELACION SO₄/Cl: 0.217

RELACION Mg/Ca : 2.17

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O MAG-

NESICA, Na-Mg, TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-4

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: POZO

PH: 8.45 COND. ELECTRICA: 313 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	mg/l	°
CO ₃ H	72.18	2.83	96.91
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	2.42	0.07	2.40
NO ₃	0.52	0.01	0.34
SO ₄	0.50	0.01	0.34
		<hr/>	<hr/>
		2.92	99.99
Ca	15.00	0.75	33.48
Mg	7.00	0.58	25.89
Na	18.00	0.70	34.82
K	5.00	0.13	5.60
		<hr/>	<hr/>
		2.18	99.99

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.0034

DUREZA GRADOS FRANCESES: 8.67 mg/l

R.A.S.: 0.98

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₂-SI

RELACION SO₄/Cl: 0.14

RELACION Mg/Ca : 0.78

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O MAGNESICA,

Na-Ca, TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-5

MUESTRA: MAT-6

FECHA DE MUESTREO: 15-JUL-91
 TIPO DE APROVECHAMIENTO: NORIA
 PH: 8.32 COND. ELECTRICA: 270 $\mu\text{mhos/cm}$

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91
 TIPO DE APROVECHAMIENTO: NORIA
 PH: 7.71 COND. ELECTRICA: 1735 $\mu\text{mhos/cm}$

IONES	P.P.M.	mg/l	%
CO ₃ H	150.70	2.47	98.37
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	2.42	0.07	2.73
NO ₃	0.29	0.00	0.00
SO ₄	1.00	0.02	0.78
		2.56	99.88
Ca	10.00	0.50	17.30
Mg	13.00	1.08	37.37
Na	26.00	1.13	39.10
K	7.00	0.18	6.23
		2.89	100.00

IONES	P.P.M.	mg/l	%
CO ₃ H	342.20	5.61	84.26
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	45.30	1.28	14.80
NO ₃	3.92	0.06	0.33
SO ₄	84.00	1.75	20.08
		6.71	99.93
Ca	46.00	2.30	16.31
Mg	44.00	3.87	28.07
Na	150.00	6.52	46.31
K	82.00	1.59	11.28
		14.08	100.01

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.003

DUREZA GRADOS FRANCOSES: 3.53 meq/l

R.A.S.: 0.94

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₂-SI

RELACION SO₄/Cl: 0.289

RELACION Mg/Ca: 1.50

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA T/0 H4S

SICA, Na-Mg: TIPO SICA#3.

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.015

DUREZA GRADOS FRANCOSES: 29.83 meq/l

R.A.S.: 3.77

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₃-SI

RELACION SO₄/Cl: 1.357

RELACION Mg/Ca: 1.60

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA SODICA, TIPO SODICO

TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-7

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: NORIA

PH: 7.77 COND. ELECTRICA: 1042 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	332.80	5.45	65.11
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	88.10	1.97	23.54
NO ₃	0.52	0.01	0.12
SO ₄	45.00	0.94	11.23
		<u>Σ</u> 6.37	= 100.00%
Ca	29.00	1.45	18.51
Mg	39.00	3.25	41.61
Na	45.00	1.95	25.10
K	45.00	1.15	14.72
		<u>Σ</u> 7.81	= 100.00%

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.015

DUREZA GRADOS FRANCESES: 23.50 meq/l

R.A.S.: 1.28

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₃-S1

RELACION SO₄/Cl: 0.48

RELACION Mg/Ca : 2.24

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O MAGNE-
SICA, TIPO Mg-Na, TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-8

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: LAGO

PH: 7.84 COND. ELECTRICA: 1019 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	501.50	8.22	80.75
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	24.20	0.89	6.78
NO ₃	1.18	0.02	0.20
SO ₄	80.00	1.25	12.28
		<u>Σ</u> 10.40	100.01
Ca	12.00	0.80	6.69
Mg	18.00	1.50	17.22
Na	126.00	5.48	62.92
K	44.00	1.13	12.97
		<u>Σ</u> 8.71	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.011

DUREZA GRADOS FRANCESES: 10.5 meq/l

R.A.S.: 5.35

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₃-S1

RELACION SO₄/Cl: 1.009

RELACION Mg/Ca : 2.5

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA SODICA, TIPO
SODICO, TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-9

MUESTRA: MAT-10

FECHA DE MUESTREO: 16-JUL-91

FECHA DE MUESTREO: 17-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: LAGO

TIPO DE APROVECHAMIENTO: POZO

PH: 7.87 COND. ELECTRICA: 199 μ hos/cm

PH: 7.92 COND. ELECTRICA: 328 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	121.60	1.12	53.93
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	3.23	0.09	4.09
NO ₃	0.41	0.01	0.45
SO ₄	47.00	0.98	44.57
		2.20	100.04
Ca	2.00	0.10	7.87
Mg	5.00	0.42	37.01
Na	9.00	0.39	33.07
K	11.00	0.28	22.05
		1.19	100.00

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	172.10	1.89	87.26
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	1.82	0.05	18.51
NO ₃	0.18	0.01	0.00
SO ₄	19.00	0.43	14.23
		2.34	100.00
Ca	7.00	0.35	20.71
Mg	7.00	0.58	34.32
Na	26.00	1.13	24.32
K	7.00	0.18	10.65
		2.24	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.004

FUERZA IONICA: 0.002

DUREZA GRADOS FRANCESES: 2.58 meq/l

DUREZA GRADOS FRANCESES: 4.67 meq/l

R.A.S.: 0.77

R.A.S.: 1.66

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₁-S₁

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₂-S₁

RELACION SO₄/Cl: 10.64

RELACION SO₄/Cl: 7.80

RELACION Mg/Ca: 4.16

RELACION Mg/Ca: 1.67

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA SODICA, TIPO

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA r/O

SODICO, TIPO BICARB.

MAGNESICA, Na-Mg, TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-11

FECHA DE MUESTREO: 17-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: POZO

PH: 7.78 COND. ELECTRICA: 203 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	111.20	1.22	68.99
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	1.61	0.05	3.85
NO ₃	1.53	0.02	1.46
SO ₄	4.00	0.08	5.84
	Σ 1.57		= 99.90
Ca	5.00	0.25	20.49
Mg	5.00	0.42	34.43
Na	18.00	0.78	34.43
K	5.00	0.13	10.66
	Σ 1.58		= 100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.002

DUREZA GRADOS FRANCESES: 3.33 meq/l

R.A.S.: 1.35

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₁-SI

RELACION SO₄/Cl: 1.8

RELACION Mg/Ca: 1.0

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O MAGNE-
SICA, TIPO Na-Mg, TIPO BICARB.

MUESTRA: MAT-12

FECHA DE MUESTREO: 17-JUL-91

TIPO DE APROVECHAMIENTO: POZO

PH: 7.96 COND. ELECTRICA: 208 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	118.70	1.30	89.41
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	2.02	0.06	4.13
NO ₃	0.68	0.01	0.69
SO ₄	4.00	0.08	5.50
		1.45	99.73
Ca	5.00	0.25	17.73
Mg	4.00	0.33	23.40
Na	16.00	0.70	49.65
K	5.00	0.13	9.22
		1.41	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.002

DUREZA GRADOS FRANCESES: 2.92 meq/l

R.A.S.: 1.3

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₁-SI

RELACION SO₄/Cl: 1.3

RELACION Mg/Ca: 1.3

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O MAGNE-
SICA, TIPO Na-Mg, TIPO BICARB.

MUESTRA: YA-13

FECHA DE MUESTREO: 17-JUL-91
 TIPO DE APROVECHAMIENTO: MANANTIAL
 PH: 7.70 COND. ELECTRICA: 265 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	116.50	1.28	50.73
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	2.83	0.08	3.17
NO ₃	0.37	0.01	0.43
SO ₄	55.00	1.15	45.63
		2.52	99.99
Ca	6.00	0.30	13.51
Mg	9.00	0.75	33.78
Na	22.00	0.95	43.24
K	0.00	0.21	9.45
		2.22	99.99

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.003

DUREZA GRADOS FRANCESES: 5.25 meq/l

R.A.S.: 1.3

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₁-S₂

RELACION SO₄/Cl: 14.39

RELACION Mg/Ca: 2.5

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA SODICA. TIPO Na-Mg

TIPO BICARBONATADO

MUESTRA: MAT-14

FECHA DE MUESTREO: 17-JUL-91
 TIPO DE APROVECHAMIENTO: MANANTIAL
 PH: 6.04 COND. ELECTRICA: 218 μ hos/cm

IONES	P.P.M.	meq/l	%
CO ₃ H	119.70	1.32	88.00
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	2.33	0.08	5.33
NO ₃	1.45	0.02	1.33
SO ₄	4.00	0.08	5.33
		1.50	99.99
Ca	9.00	0.45	30.82
Mg	7.00	0.58	39.73
Na	7.00	0.30	20.55
K	5.00	0.13	8.90
		1.45	100.00

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.002

DUREZA GRADOS FRANCESES: 5.17 meq/l

R.A.S.: 0.42

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₁-S₁

RELACION SO₄/Cl: 1

RELACION Mg/Ca: 1.3

TIPO DE AGUA: BICARBONATADA CALCICA Y/O

MAGNESICA TIPO SODICO, BICARB.

MUESTRA: MAT-15

FECHA DE MUESTREO: 17-JUL-81
TIPO DE APROVECHAMIENTO: NORIA
P4: 7.78 COND. ELECTRICA: 1632 $\mu\text{mhos/cm}$

IONES	P.P.M.	MEQ/L	%
CO ₃	411.80	5.18	74.43
CO ₃	0.00	0.00	0.00
Cl	33.80	0.97	13.94
NO ₃	1.23	0.02	0.23
SO ₄	38.00	0.73	11.35
		8.96	100.01
Ca	29.00	1.30	15.08
Mg	27.00	2.25	26.10
Na	99.00	4.20	49.88
K	30.00	0.77	8.93
		8.52	93.99

AGRESIVIDAD: AGRESIVA

FUERZA IONICA: 0.01

DUREZA GRADOS FRANCESES: 17.75 meq/l

R.A.S.: 3.23

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO: C₃-SI

RELACION SO₄/Cl: 0.8

RELACION Mg/Ca: 1.7

TIPO DE AGUA: BICARBONATA SODICA. TIPO
SODICO, TIPO BICARB.

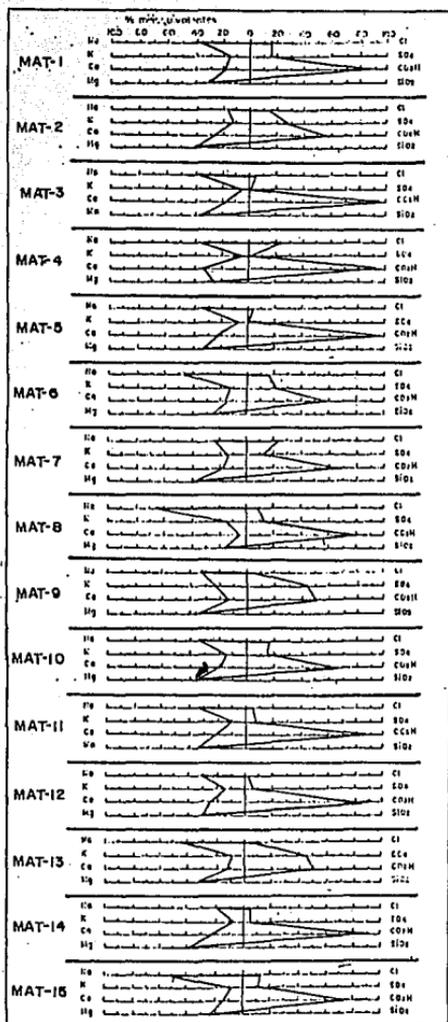


figura VI.1

Diagrama
de
Stiff

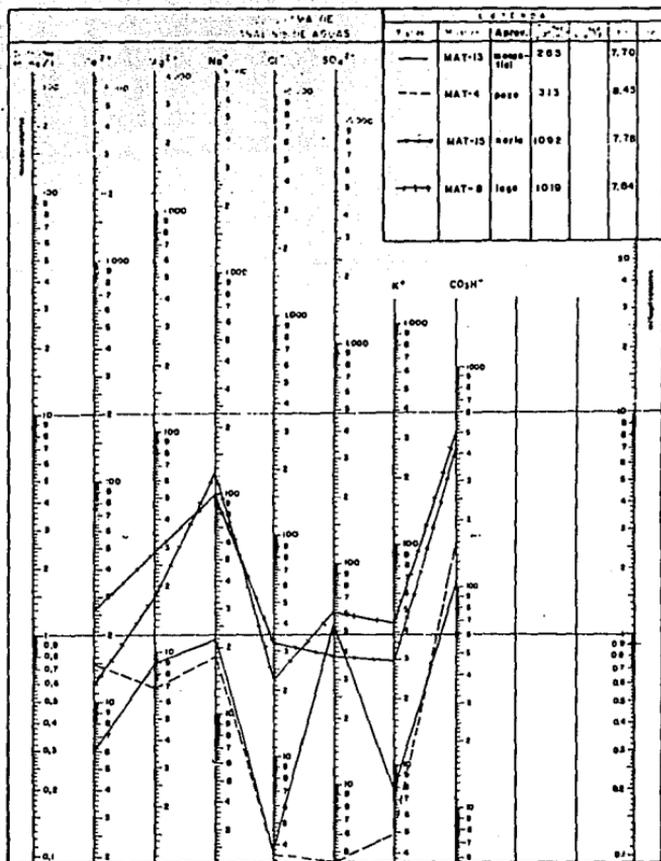


Figura VI.2.- Diagrama de Schoeller.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

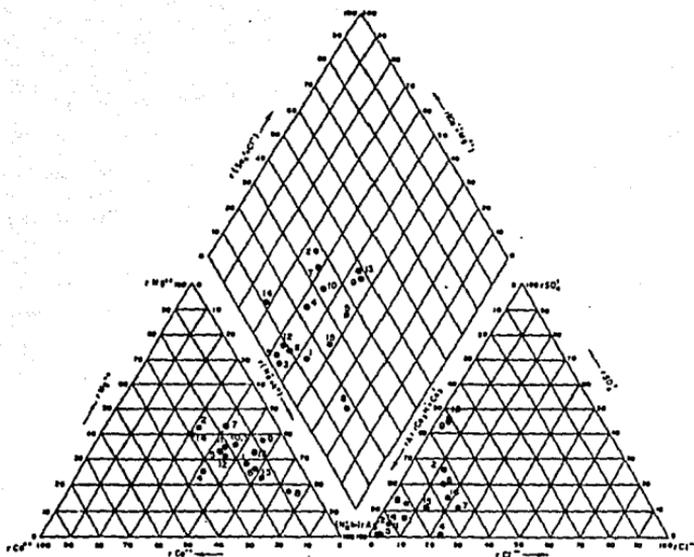


Figura VI.3.- Diagrama de Piper-Hill-Langelier

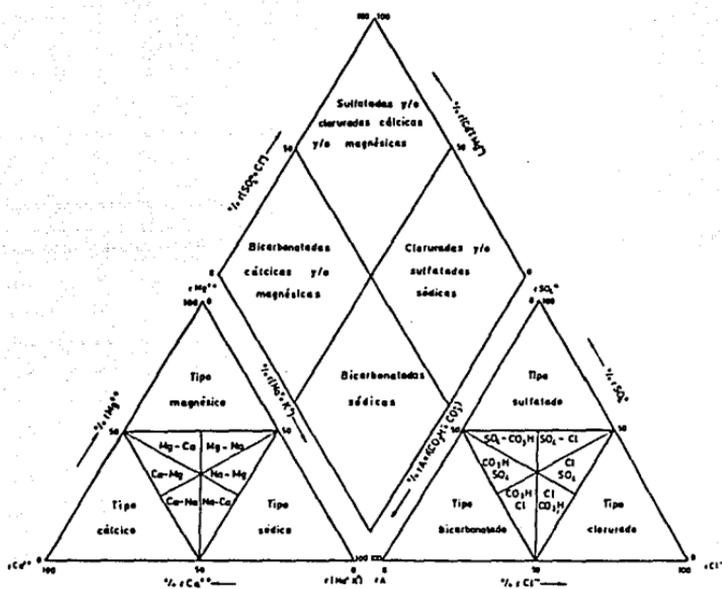


Figura VI.4.-Tipos de aguas deducidas de un diagrama triangular de Piper.

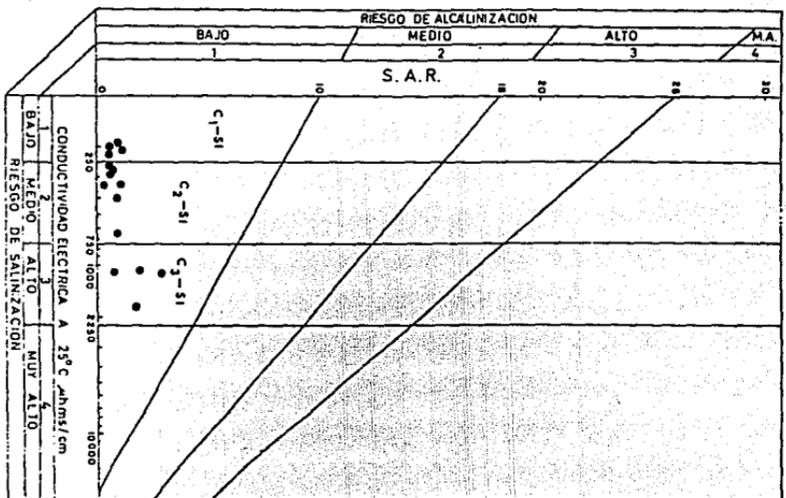


Figura VI.5.- Diagrama para la clasificación de las aguas para riego. (RAS).
(Ver el significado de las claves en la pag. siguiente,

De la página anterior. Tipos de agua para riego:

C₁: Agua de baja salinidad, conductividad entre 100 y 250 micromhos/cm a 25°C, que corresponde aproximadamente a 64-160 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que se desarrolle salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

C₂: Agua de salinidad media. Conductividad entre 250 y 750 micromhos/cm a 25°C. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad, se puede cultivar en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

C₃: Agua altamente salina. Conductividad entre 750 y 2250 micromhos/cm a 25°C. No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aun con drenaje adecuado.

S₁: Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los algunos frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

VI.1.2.-INTEPPRETACION HIDROGEOQUIMICA.

a) Clasificación de las aguas.

A continuación en forma de tabla, se presenta la clasificación de cada una de las muestras, según diferentes aspectos.

MUESTRA	COND. ELECTR. micromhos/cm.	TIPO DE AGUA PARA RIEGO	TIPO DE AGUA DIAGR. PIPER
MAT-1	655	C2-S1	BICARBONATADA SODICA
MAT-2	366	C2-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-3	399	C2-S1	BICARBONATADA y/o MAGNESICA
MAT-4	313	C2-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-5	270	C2-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-6	1798	C3-S1	BICARBONATADA SODICA
MAT-7	1042	C3-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-8	1019	C3-S1	BICARBONATADA SODICA
MAT-9	199	C1-S1	BICARBONATADA SODICA
MAT-10	326	C2-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-11	203	C1-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-12	209	C1-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-13	295	C1-S1	BICARBONATADA SODICA
MAT-14	218	C1-S1	BICARBONATADA CALCICA y/o MAGNESICA
MAT-15	1092	C3-S1	BICARBONATADA SODICA

Tabla VI.1.-Clasificación del agua en la C. de T.

b) Calidad fisicoquímica del agua subterránea.

En este estudio solo será considerada la calidad fisico-química del agua subterránea principalmente, aunque también se analizaron algunas muestras de manantiales y del lago de Tecocomulco.

Hay también que aclarar que el tipo de análisis que se realizó no podrá determinar aún si el agua es potable o no, ya que faltaría determinar los aspectos bacteriológico y biológico.

Según las normas para la calidad fisicoquímica del agua, de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), ninguna de las muestras analizadas sobrepasa los límites existentes, para los parámetros analizados, por lo que la calidad de las muestras presentadas se considera como buena para el consumo humano.

Solo hay que tener cuidado con las aguas superficiales que pueden estar contaminadas bacteriológicamente y sobre todo el agua del lago que tiende a concentrar una elevada cantidad de sales.

c) Discusión de resultados.

Como puede apreciarse en la tabla VI.1, la conductividad eléctrica es en general baja, a excepción de 4 muestras que sobrepasan los 1000 $\mu\text{mhos/cm}$ y que proceden de norias y del lago de Tecocomulco. Esto indica que el agua contenida en el lago, tiene una influencia sobre las norias cercanas.

Esta alta conductividad eléctrica representa un alto contenido de sales, debido a que el agua en la temporada de estiaje, sobre todo, permanece estática, y como la evaporación es bastante elevada, se da esta acumulación de sales.

Según la clasificación de las aguas para riego, el agua de estas cuatro muestras, es un agua altamente salina, debiendo de tener un control de las salinidad de los suelos y seleccionar plantas tolerantes.

De acuerdo con el contenido de iones, en general se observa una similitud entre el agua de las norias con la del lago y así mismo otra entre el agua de manantiales y la de los pozos. (fig. VI.2).

En cuanto al tipo de agua, la de los pozos es bicarbonatada sódico-magnésica ó bicarbonatada sódico-cálcica y la de las norias y del lago es predominantemente bicarbonatada sódica. (fig. VI.3).

En todas las muestras, a excepción de la MAT-4, la relación Mg/Ca es mayor a 1, siendo esta mayor en las norias que en los pozos, debido posiblemente a que el agua de las norias y del lago circula mayor tiempo por las rocas basálticas, adquiriendo así una mayor concentración de magnesio.

La relación SO_4/Cl es mayor para las muestras con mayor conductividad eléctrica, lo que evidencia un mayor contenido de sales para ellas. Esta relación se observa con mayor frecuencia ligeramente mayor a 1 en los pozos y norias y bastante mayor a 1 para la muestra procedente de un manantial.

La calidad del agua para los iones analizados y el P.H. es buena para el consumo humano, siendo preferente el agua captada en los pozos y manantiales.

VII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.1.-CONCLUSIONES.

- En la actualidad, la Cuenca de Tecocomulco funciona como una cuenca cerrada de tipo endorreico, debido a que el canal que la drena artificialmente se encuentra azolvado.
- En época de lluvias, dado que no hay desfogue de la cuenca, se inundan los terrenos bajos que originalmente eran ocupados por el Lago de Tecocomulco, y que fueron repartidos como producto de su desecación parcial, lo que ocasiona pérdidas en la agricultura.
- La constante deforestación de la cuenca acelera el azolvamiento del Lago de Tecocomulco y de las presas existentes dentro de ella. Este lago está en peligro de desaparecer por ello.
- La Cuenca de Tecocomulco es un importante reservorio natural de la fauna y flora silvestres. Particularmente el Lago de Tecocomulco representa el último refugio importante dentro de la Cuenca de México para las plantas acuáticas y es de vital importancia para las aves migratorias.
- La mayoría de las estaciones climatológicas cercanas o localizadas dentro del área de estudio, se encuentran abandonadas o lo estuvieron en algún periodo de tiempo, por lo que los registros climatológicos están incompletos.
- Los gastos que mide la estación hidrométrica de San Jerónimo, no son provenientes de las descargas del Lago de Tecocomulco, sino de unos cuantos arroyos que desfogan en el Canal Tecocomulco entre el lago y la estación.
- La Cuenca de Tecocomulco está conformada en general por rocas de naturaleza andesítica de edad Terciaria y por rocas basálticas cuaternarias. La planicie de Tecocomulco representa una fosa tectónica orientada NE-SW, evidenciada por la terminación abrupta de las rocas del Terciario y por la presencia de fracturas profundas con esa misma orientación, definidas por el lineamiento de los aparatos volcánicos cuaternarios.
- Dentro de la Cuenca de Tecocomulco se determinaron siete unidades hidrogeológicas que corresponden a las diferentes unidades litoestratigráficas de la zona de estudio.
- En general las rocas terciarias son semipermeables y las

cuaternarias son permeables. Los depósitos aluviales son permeables y los sedimentos lacustres son impermeables.

-Las rocas basálticas del cuaternario se encuentran muy fracturadas y agrietadas, lo que les impone una alta permeabilidad. El agua superficial, incluyendo a la del lago, se infiltra fácilmente através de ellas, por lo que son comunmente denominadas como resumideros y sirven para regular la capacidad del lago.

-Existe un acuitardo en la parte superficial, localizado en los sedimentos lacustres y un acuífero en la parte inferior de este localizado en depósitos aluviales, rocas basálticas y tobas pumiciticas. No existen acuíferos confinados.

-Subterráneamente la Cuenca de Tecocomulco es una cuenca abierta. En base al marco geológico, las características de permeabilidad, la topografía y la profundidad del nivel estático, se infieren dos direcciones del flujo subterráneo, una hacia el norte, y otra hacia el suroeste.

-La calidad fisicoquímica del agua subterránea es buena y de la superficial es aceptable ya que se encuentra ligeramente cargada en sales y tiende a contaminarse antropogénicamente.

VII.2.-RECOMENDACIONES.

-El problema de la inundación de los terrenos en lo que quedó libre después de la construcción del canal de desfogue, puede ser parcialmente aminorado si se dirigen las aguas superficiales a grietas en las rocas basálticas (resumideros), que se encuentren localizadas en un nivel topográfico conveniente. Para ello tendría que realizarse un estudio más detallado.

-Con la realización de la propuesta anterior, se llevaria a cabo una recarga artificial, que se dirigiria probablemente hacia la Cuenca del Río Tulancingo.

-Es conveniente elaborar un estudio geohidrológicos de más detalle en la zona, que incluyá métodos de trazadores para identificar con mayor certeza la dirección y velocidad del flujo del agua subterránea y la aplicación de métodos geofísicos apoyados de algunas perforaciones con recuperación de núcleos para identificar plenamente la geología del subsuelo.

-Para que los futuros estudios, tengan un fuente de datos

climatológicos confiable, deberán de ponerse en servicio de inmediato las estaciones climatológicas e hidrométricas actualmente abandonadas, por parte de los organismos concernientes. Además de que exista mejor coordinación entre las dependencias que manejan este tipo de datos y que el acceso a esta información sea permitido con facilidad.

-Mientras no se realicen estudios de cuantificación confiables del recurso hidráulico dentro de la cuenca, así como del impacto y deterioro ambiental que sufrirla con una explotación mayor, deberá seguirse considerando a esta cuenca como una zona con una veda rígida.

-Es urgente tomar medidas en cuanto a la contaminación por desechos antropogénicos, tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas, antes de que sea tarde para ello. También se debe tener cuidado con el manejo de cultivos en las partes planas de la cuenca, ya que el contenido de salinidad en el agua del lago es elevado.

BIBLIOGRAFIA

BLOONFIELD, 1975. A late Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico. Geol. Rundschau, 64, 476-497.

CAMACHO, E., 1920, Las aguas subterráneas de Tlanalapan, distrito de Apan, Hgo., Anales del Inst. Geol. de México.

DIARIO OFICIAL de la Federación del 9 de Noviembre de 1943.

DIARIO OFICIAL de la Federación del 10 de Marzo de 1951.

DIARIO OFICIAL de la Federación del 26 de Enero de 1957.

DEMANT, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico Trans-Mexicano y sus problemas de interpretación. Rev. Inst. Geol. UNAM, 2(2), p.172-187.

I.N.E.G.I., 1991, Datos preliminares del XI Censo de Población y Vivienda. Publ. S.P.P.

I.N.E.G.I., Carta geológica, Cd. Sahagún, E14B12, escala: 1:50,000.

I.N.E.G.I., Carta geológica, Apan, escala: 1:50,000.

I.N.E.G.I., Carta geológica, Tlaxco, escala: 1:50,000.

I.N.E.G.I., Carta uso del suelo y vegetación, Ciudad Sahagún, E14B12, escala 1:50,000.

I.N.E.G.I., Geología de la República Mexicana, 1975, Dante Moran Zenteno.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA de la U.N.A.M., 1970, Carta de Climas, Hoja Veracruz (14Q-VI) Escala: 1:500,000. Clasificación de los climas según Köpen modificado por E. García en 1964.

LEDEZMA-G., O., 1986 (1987) Hoja Calpulalpan 14Q-h(3), con Resumen de la geología de la Hoja Calpulalpan, Estados de Hidalgo, México, Tlaxcala y Puebla.

LOT HELGUERAS A y NOVELO RETANA A., 1978, Laguna de Tecocomulco, Hgo., Guías Botánicas de Excursiones en México. Soc. Botánica de México, A.C.

- MOOSER, Federico, 1972, The Mexican Volcanic Belt: structure and tectonics. Geofis. Int. 12 (2), p. 55-70.
- MOOSER, F. y NEGENDANK, J.F.W., 1974, Paleomagnetic Investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks: VIII A paleomagnetic and petrographic of volcanics of the Valley of Mexico. Geol. Rundsch., v. 63, p. 451-483.
- MOOSER, F., 1975, Historia geológica de la Cuenca de México In: Memoria de las obras del Sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo I: 9-38.
- NAVA ABARCA E. y GUZMAN PAZ A., 1990, Marco Geológico del Sistema Acuífero de la zona sur de la ciudad de León, Gto., Tesis Ing. Geól., F.I., U.N.A.M.
- NEGENDANK J.F.W., 1972, Volcanics of the Valley of Mexico, N. Jb. Miner. Abh., 116, p. 308-320.
- REYES y HALFFTER, 1975, La fauna del Valle de México, In: Memoria de las obras del Sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo I.
- RZEDOWSKY, J., 1975, Flora y Vegetación en la Cuenca del Valle de México. In: Memoria de las obras del Sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo I: 81-134.
- SEGERSTROM, K., 1961, Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y del Noreste del Estado de México, Bol. 13, Asoc. Mex. de Geol. Petr. No. 3-4, pp 147-168.
- S.A.R.H., 1980, Plano Topográfico de la Laguna de Tecocomulco y límites federales, esc. 1:10,000, Inédito.
- S.A.R.H., P.R.O.Y.E.S.A., 1981, Contrato GZA-81-67-6d., Estudio Geohidrológico preliminar del Valle de Apan Hgo., Subdirección de geohidrología y zonas áridas, Inédito.
- S.A.R.H., 1984, Estudio Geohidrológico del Valle de Apan Hgo., Subdirección de geohidrología y zonas áridas, texto y planos, Inédito.
- S.A.R.H., 1985, Actualización de condiciones piezométricas en el Valle de Apan Hgo., Jefatura del Programa Hidráulico, Residencia de geohidrología y zonas áridas, Inédito.
- S.R.H., 1955, Levantamiento Topográfico de la Laguna de Tecocomulco y Ejidos colindantes a escala 1:20,000.

S.R.H., 1957. Ampliación de las zonas de veda, Lagunas de Tecocomulco y Tochac, Hgo., Plano Escala 1:250,000.

S.R.H., 1965, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, Localización de los pozos, norias y manantiales en la Laguna de Tecocomulco y áreas cercanas, escala 1:100,000.

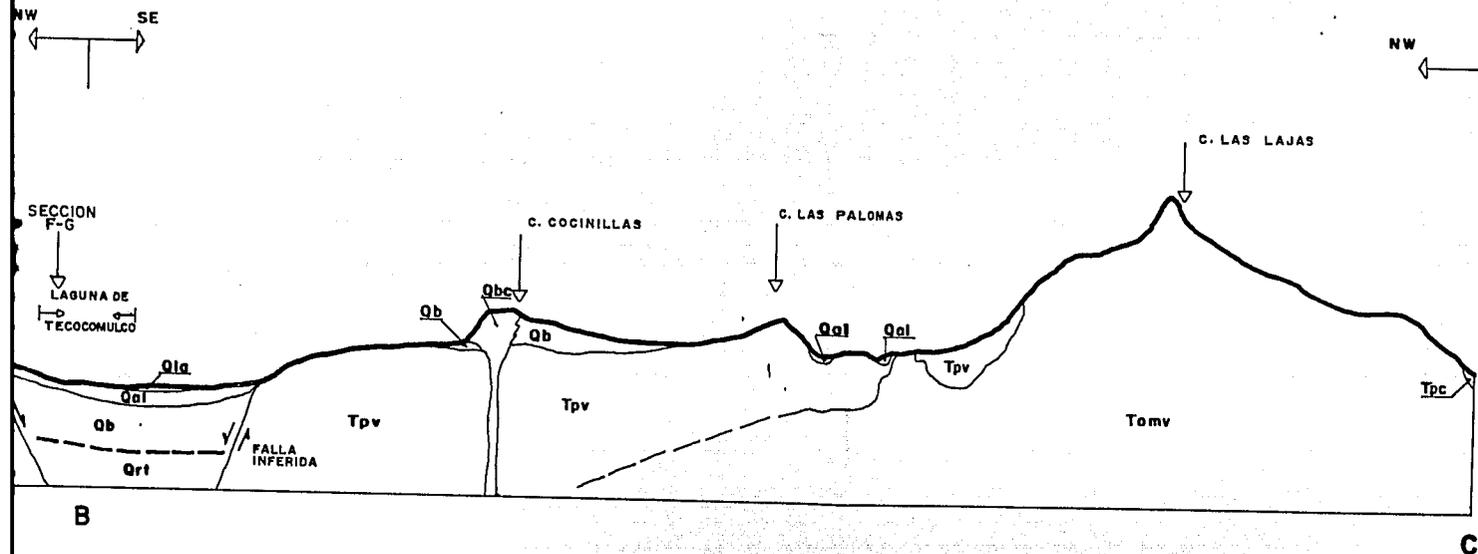
S.R.H., 1967, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, Estudio Geohidrológico preliminar de las Cuencas de Apan y El Oriental.

S.R.H., 1968, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, Plano General del Valle de México.

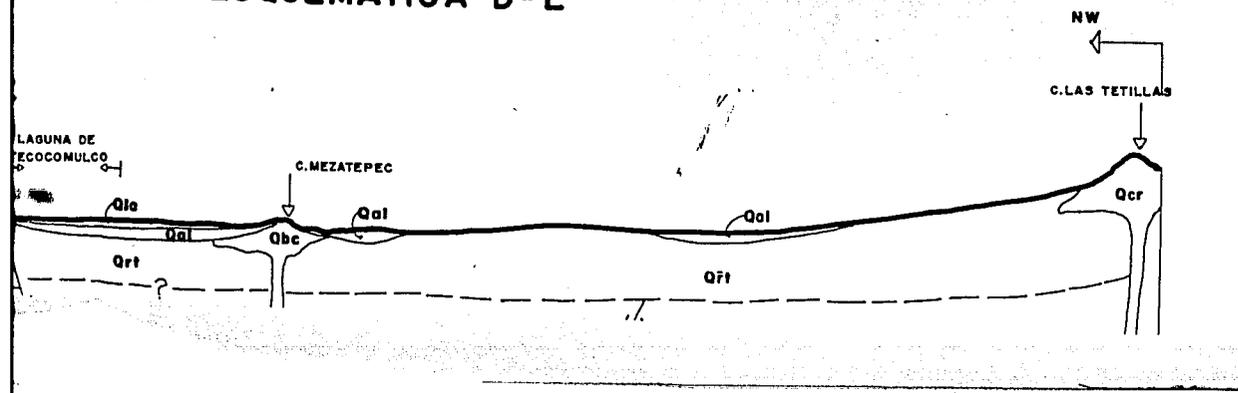
URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. y L. del CASTILLO G., 1977, Un modelo del Eje Volcánico Mexicano. Bol. Soc. Geol. Mex. 38 (1), p.18-28.

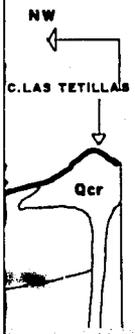
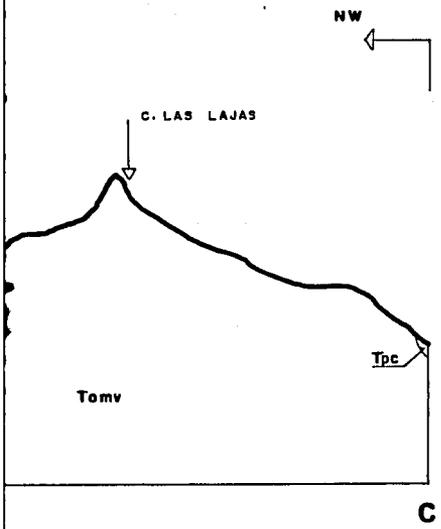
VIVAR, G., Estudio geológico del Valle de Tecocomulco, Publ.: Irrigación en México, vol. 6, pp. 513-531.

SECCION ESQUEMATICA A-B-C

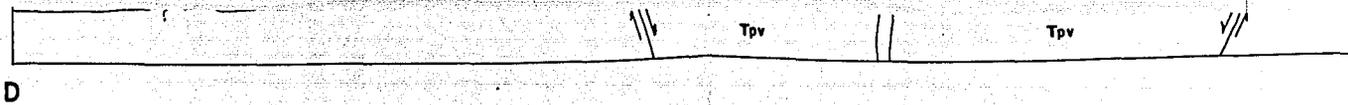


SECCION ESQUEMATICA D-E



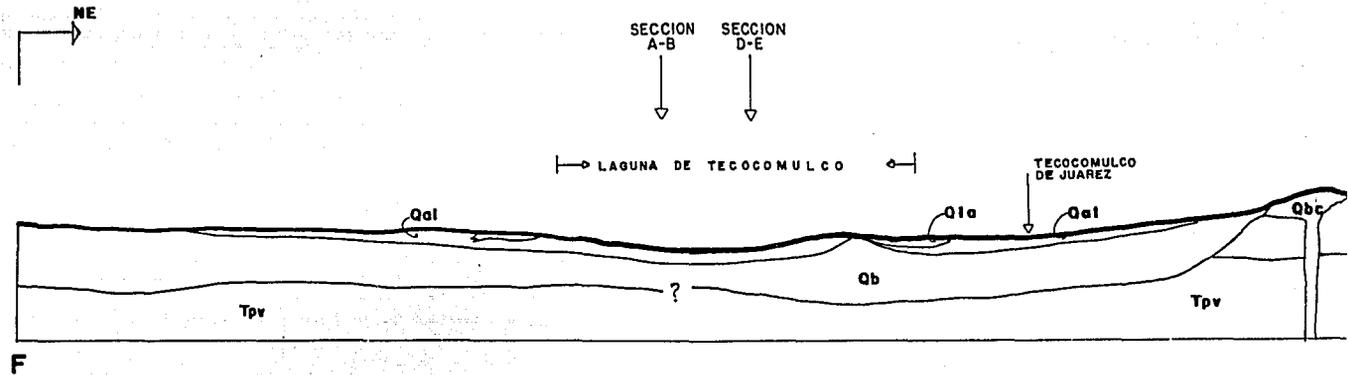


2300
2200
2100



SECCION ESQUEMATICA F-G

2800
2700
2600
2500
2400
2300
2200
2100

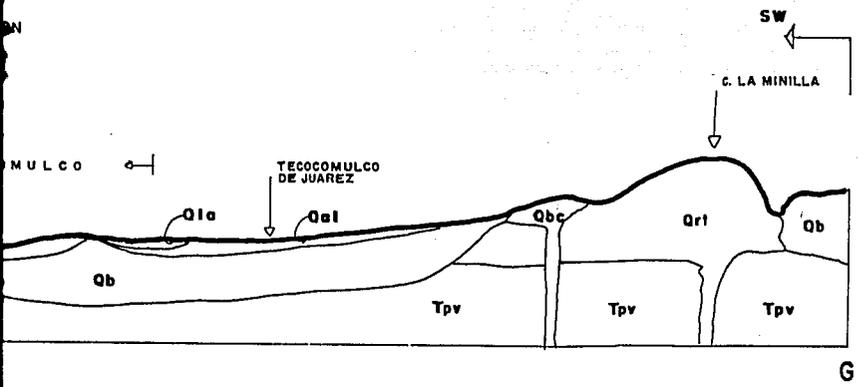


Tpv

Tpv

E

EMATICA F-G



Nota:

VER PLANO G

ESCALAS.

ESCALA VE

ESCALA HO

TESIS PROFESIONAL

RENE LAG

|||
E

Nota:

VER PLANO GEOLOGICO ANEXO.

ESCALAS.

ESCALA VERTICAL. 1: 20,000

ESCALA HORIZONTAL. 1: 100,000

LA

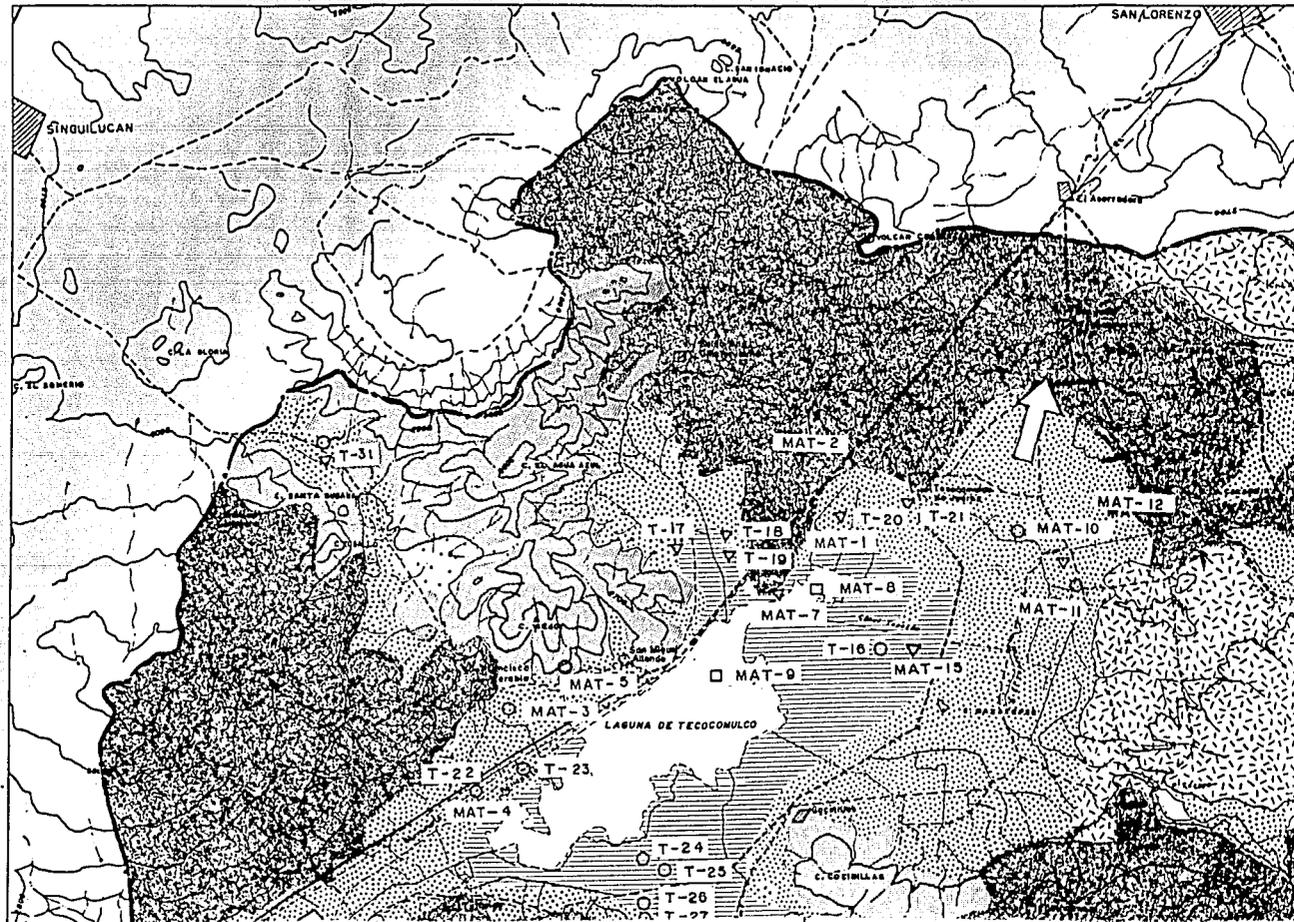
qb

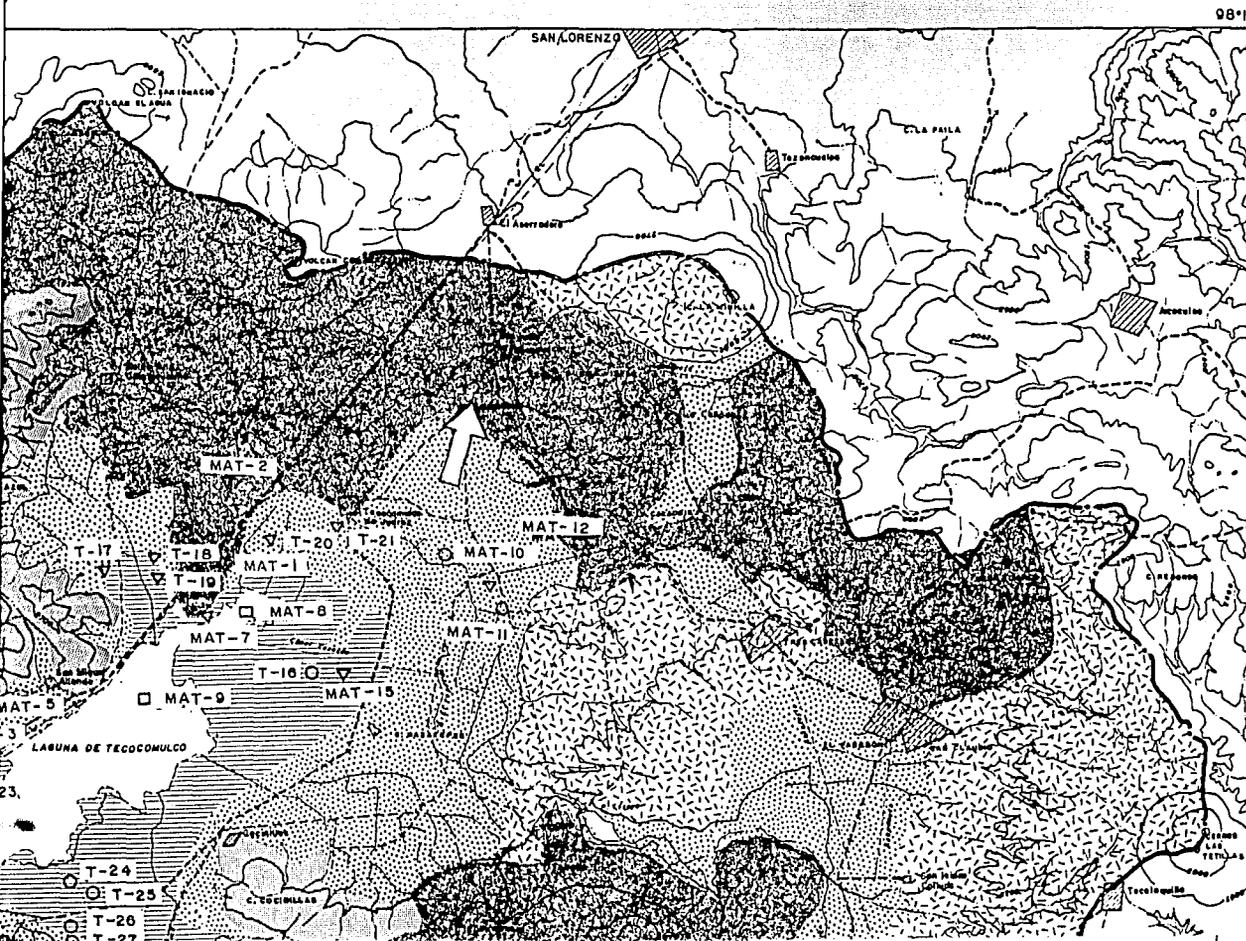
G

TESIS PROFESIONAL.

RENE LAGARDE SOTO

10°59' 98°31'





EXPLICACION

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

PERIODO	UNIDAD	DESCRIPCION
HOLOCENO	UNIDAD 7	Esta formada por depósitos lacustres, elevada porosidad y una permeabilidad casi nula. "espécimen natural del Lago de Tecococonulco y...
	UNIDAD 6	Esta compuesta por depósitos aluviales, porosidad y permeabilidad elevadas y funciona como...
PLEISTOCENO Y	UNIDAD 5	Esta conformada por basaltos, cenizas basálticas del Custerario, (Ob. QBC y QBD) y permeabilidad elevadas. Funciona como zona de recarga y como acuífero.
	UNIDAD 4	Esta constituida por la unidad denominada "Toba Tecoloquillo" (Lerdoña, 1966) principalmente Toba Puritocica y Puritocica porfirada y permeabilidad moderada. Funciona como Acuífero.
PLIOCENO	UNIDAD 3	Esta constituida por la unidad conformada por la formación Calapallan (PC), incluye cenizas volcánicas, tobas, (Ob. QD) y depósitos fluviales del Terciario. Presenta un al igual que su permeabilidad. Funciona principalmente de recarga. Tiene una escasa distribución en la zona.
	UNIDAD 2	Esta constituida por la unidad conformada por las tobas volcánicas de la zona (Lerdoña, 1966), presenta una permeabilidad moderada y una permeabilidad de baja a nula. Funciona como barrera impermeable.
OLIGOCENO	UNIDAD 1	Esta constituida por la unidad denominada "Andesita del Terciario" (Lerdoña, 1966) fracturamiento de material a sísmica y una permeabilidad moderada. Funciona como zona de recarga.

SIMBOLOS HIDROGEOLOGICOS

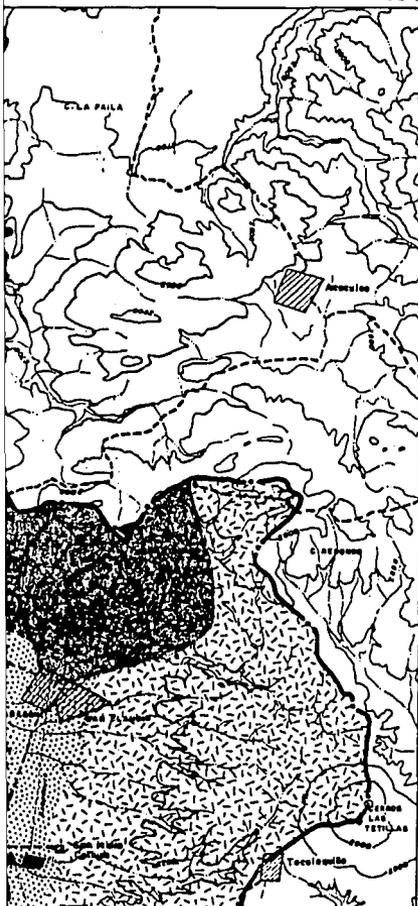
	POZO
	NORIA

EXPLICACION

UNIDADES

HIDROGEOLOGICAS

98°11' 19°59'



HOLOCENO



UNIDAD 7.-Esta formada por depósitos lacustres (Q1a), tiene una elevada porosidad y una permeabilidad casi nula. Funciona como el reservatorio natural del Lago de Tecocomulco y como acuífero.



UNIDAD 8.-Esta compuesta por depósitos aluviales (Qa1). Presenta porosidad y permeabilidad elevadas y funciona como Acuífero.



UNIDAD 5.-Esta conformada por basaltos, conos cónicos y cenizas basálticas del Cuaternario. (Qb, Qbc y Qc). Presenta una porosidad y permeabilidad elevadas. Funciona como importante zona de recarga y como acuífero.



UNIDAD 4.-Esta constituida por la unidad litostratigráfica denominada "Toba Tecolotepe" (Ledeza, 1985), que comprende principalmente tobas pumiciticas y piroclíticas. Presenta una porosidad y permeabilidad moderadas. Funciona como Z. de Recarga y como Acuífero.



UNIDAD 3.-Esta constituida por la unidad litostratigráfica conformada por la formación Calcutalpan (TDC), (Ledeza, 1985), que incluye cenizas volcánicas. Tobas, dep. de río de monte y depósitos fluviales del Terciario. Presenta una porosidad elevada al igual que su permeabilidad. Funciona principalmente como zona de recarga. Tiene una escasa distribución en la cuenca de estudio.



UNIDAD 2.-Esta constituida por la unidad litostratigráfica conformada por las secas volcánicas no diferenciadas del Terciario (T3), (Ledeza, 1985). Presenta una porosidad por fracturamiento moderada y una permeabilidad de baja a media. Funciona como zona de recarga y como barrera impermeable.



UNIDAD 1.-Esta constituida por la unidad litostratigráfica denominada "Andesita El Peñón" (T1mvi) (Ledeza, 1985), constituida principalmente por andesitas. Presenta una porosidad por fracturamiento de moderada a intensa y una permeabilidad media. Funciona como zona de recarga.

PLIOCENO
PLEISTOCENO Y
MIOCENO

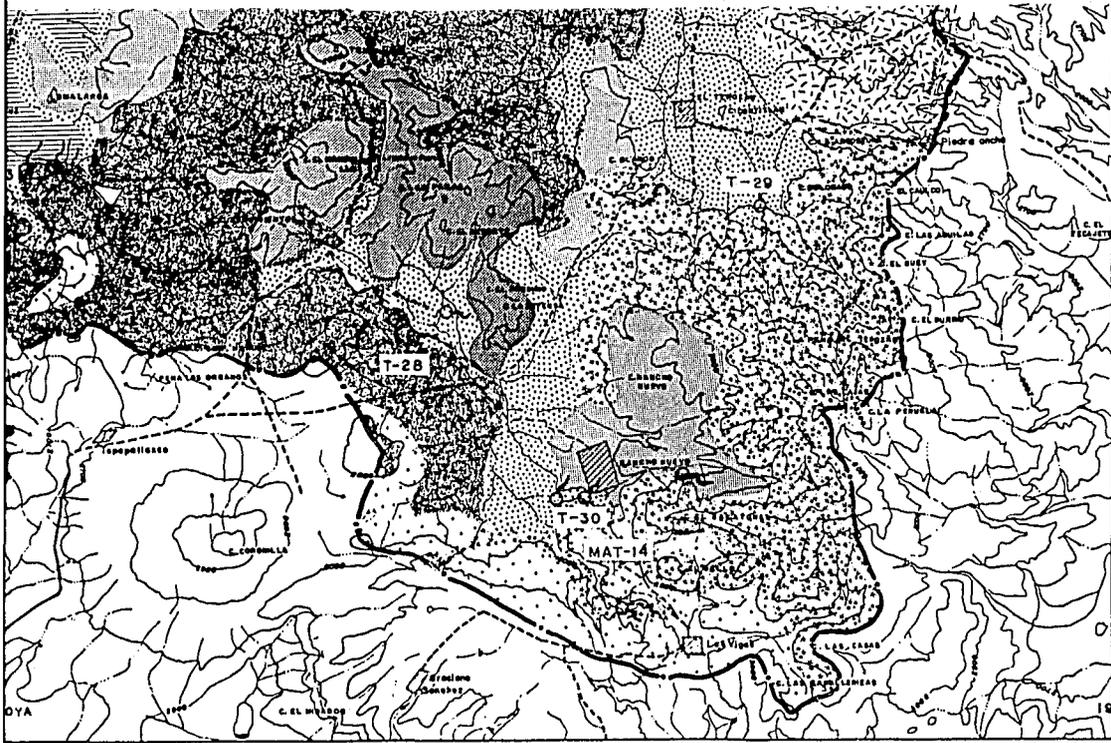
SIMBOLOS HIDROGEOLOGICOS



POZO



NORIA



- MANANTIAL
- MUESTRO DE AGUA DEL LAGO DE TECOCONULCO
- T-1 N° DE APROVECHAMIENTO
- MAT-2 N° DE APROVECHAMIENTO CON MUESTRA DE AGUA
- Dirección del flujo subterráneo

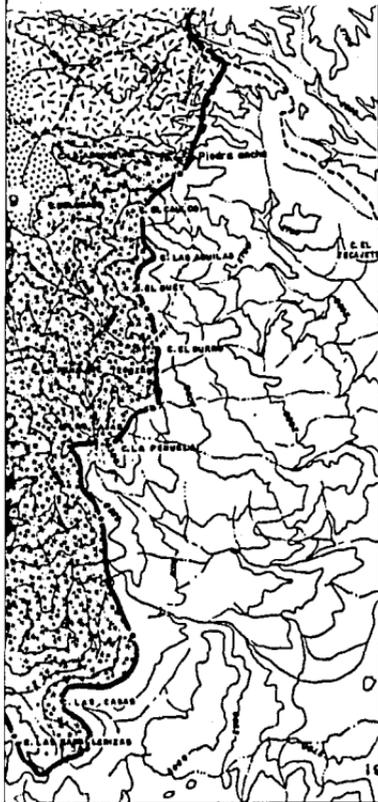
- SÍMBOLOS TOPOGRAFICOS**
- Poblado
 - Carretera pavimentada
 - Terracería
 - Brecha
 - Curva de nivel acot. en mts.
 - Línea eléctrica
 - Gaseoducto, Poliducto
 - Presa
 - Rio, Canal
 - Arroyo (intermitente), que desaparece
 - Laguna intermitente
 - Línea de partaguos



 UNAM	MAPA HIDROGEOLOGICO	
	TESIS Ing. Geol. René Lagarde Soto	Sep-1992

98°11'

19°50'



MANANTIAL



MUESTREO DE AGUA DEL LAGO DE TECOCONULCO

T-1

N° DE APROVECHAMIENTO

MAT - 2

N° DE APROVECHAMIENTO CON MUESTRA DE AGUA



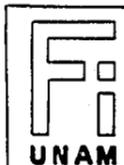
Dirección del flujo subterráneo

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

Poblado	_____	
Carretera pavimentada	_____	
Terracería	_____	
Brecha	_____	
Curva de nivel acot. en mts.	_____	
Línea eléctrica	_____	
Gaseoducto, Poliducto	_____	
Presá	_____	
Río, Canal	_____	
Arroyo (intermitente), que desaparece	_____	
Laguna intermitente	_____	
Línea de partaguas	_____	



ESCALA:

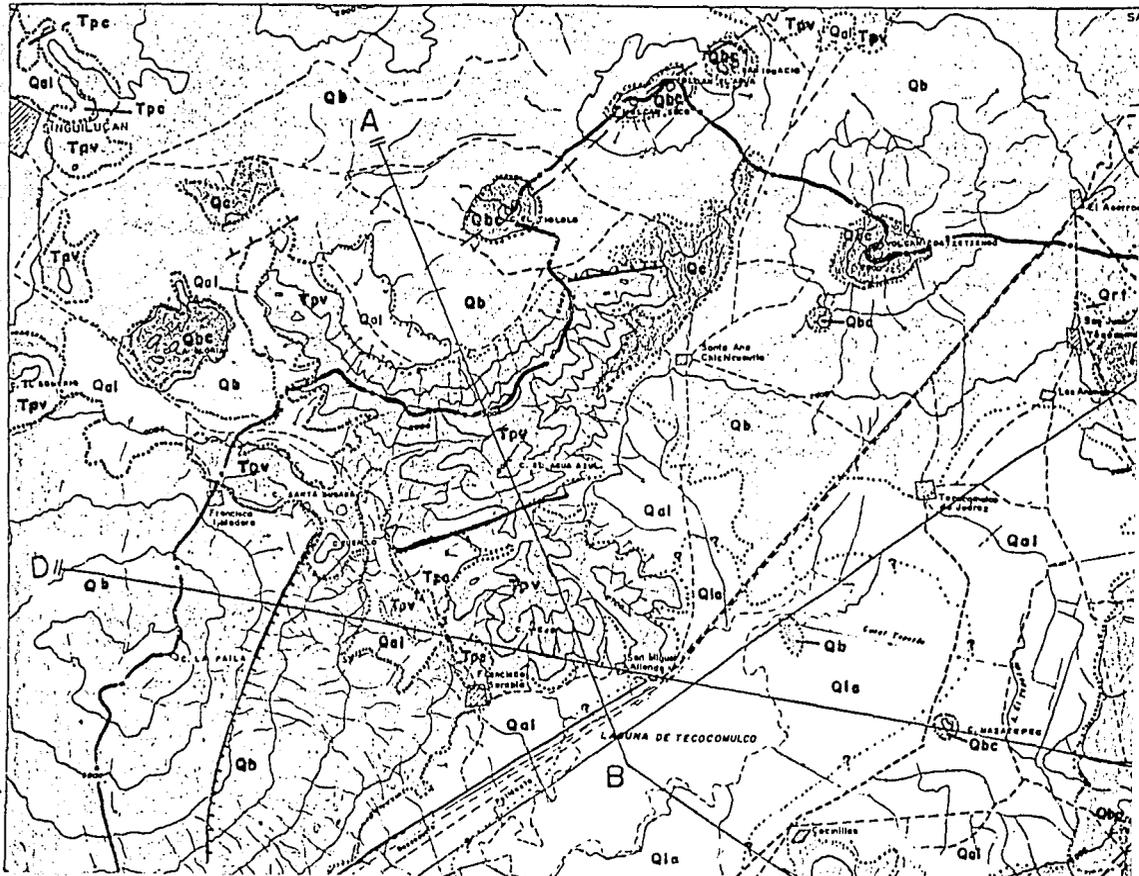


MAPA HIDROGEOLOGICO

TESIS Ing. Geol. René Lagarde Solo Sep -1992

98°11'

10°59' 98°31'



EXPLICACION

ROCAS VOLCANICAS

CUATERNARIO
Terciario
PLIOCENO
PLISTOCENO Y HOLOCENO

Qel Qlo

Qel-Aluvión Incluye clásticos gruesos a finos de roca ígnea, lentes delgadas de ceniza volcánica y caliche. Qlo-Dep. lacustres incluye clásticos gruesos a finos de roca ígnea, cenizas y piroclásticos depositados en ambiente acuoso.

Qb Qmp Qbc Qcr

Qb-Derrame de lava básica. Qmp-malpais. Qbc-cono cónico. Qcr-ceniza volcánica. Qcr-Riolita (formaciones cineríticas.)

Qrt

Qrt-"TUBA TEOLOQUILIA". Incluye toba riolitica interdigitada con conos cineríticos de composición ácida.

Tpv

Tps

Tpv-"FORMACION CALPULALPAN". Incluye grandes espesores de toba, material piroclástico y depósitos de pú de monte de composición andesítica. Tps-Rocas volcánicas no diferenciadas del terciario. Incluye rocas de composición riolitica andesítica, traquiandesítica y dacítica.

Tpch

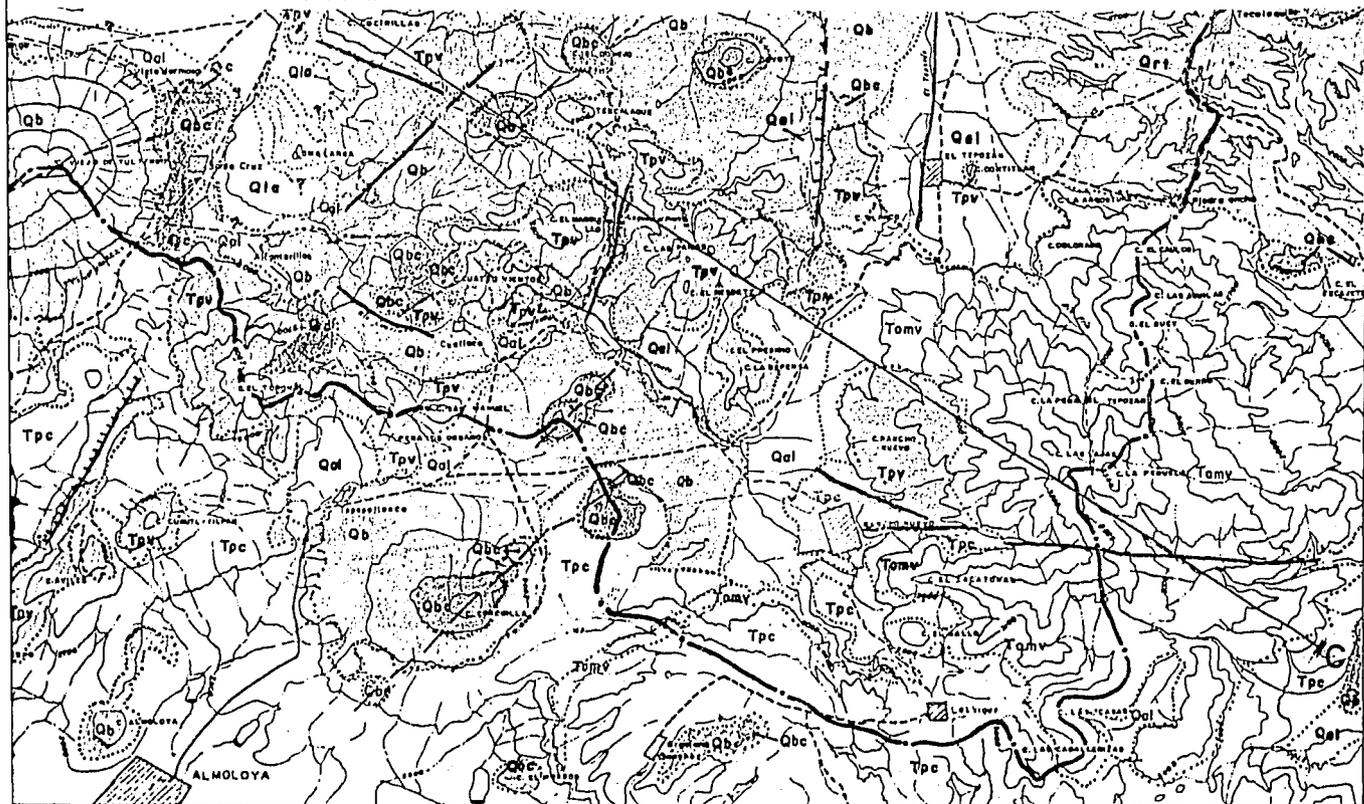
Tpch-"RIOLITA CHICHNAHAPAN" Incluye derrames de ríolita e hilitoamplita.

Tomv

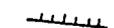
Tomv-"ANDESITA EL PERÓN" Incluye derrames de andesita.

SIMBOLOGIA





Contacto



Falla normal



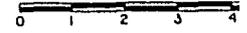
Fractura

A II

Línea de secc

- Poblado _____ |
- Carretera pavimentada _____ |
- Terracería _____ |
- Bracho _____ |
- Curva de nivel acot. en mfs. _____ |
- Línea eléctrica _____ |
- Gasoducto, Poliducto _____ |
- Preso _____ |
- Rfo, Canal _____ |
- Arroyo (intermitente), que desaparece _____ |
- Lago: _____ |
- Línea de porteoguas _____ |

ESCALA:



Equidistancia entre curvas de nivel: 100'

F

PLANO GEO

UNAM

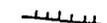
TESIS Ing. Geol. René Lagarr

98°11'

Plano modificado de Ledezma, 1985.



Contacto



Falla normal

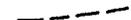


Fractura

Contacto inverso



Falla normal inversa



Fractura inversa

A ||-----|| B

Línea de sección

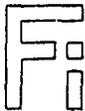
Poblado	
Carretera pavimentada	
Trochero	
Brecha	
Curvo de nivel ocol. en mts.	
Línea eléctrica	
Gaseoducto, Poliducto	
Preso	
Río, Canal	
Arroyo (intermitente), que desaparece	
Laguna	
Línea de porteoguas	



ESCALA:

0 1 2 3 4 5 Km.

Equidistancia entre curvas de nivel: 100 metros.



UNAM

PLANO GEOLOGICO

TESIS Ing. Geol. René Logarde Soto Sep-1992

Plano modificado de Ledezma, 1986.