

41  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES  
ACATLAN**

**"HIDROGEOQUIMICA DEL VALLE DE  
MEZQUITAL, HIDALGO"**

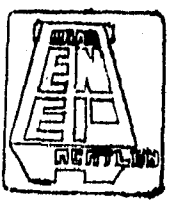
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

**BRAULIO FRANCISCO SILVA DE LA ROSA**

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. LUIS E. MARIN STILLMAN



ACATLAN, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIÓ CON EL APOYO DE  
LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MEXICO

Sr. BRAULIO FRANCISCO SILVA DE LA ROSA,  
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.  
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 29 DE MARZO DE 1995 ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE ES SIGUIENTE TEMA DE TESIS: "HIDROGEOQUIMICA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO." EL CUAL SE DESARROLLARA COMO SIGUE:

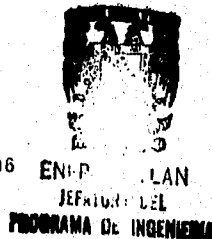
- I.- GENERALIDADES.
- II.- GEOLOGIA REGIONAL.
- III.- HIDROLOGIA.
- IV.- HIDROGEOQUIMICA.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL SR. ING. LUIS ERNESTO MARIN STILLMAN, PROFESOR DEL INSTITUTO DE GEOFISICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN CUMPLIMIENTO DE LO ESPECIFICADO EN LA LEY DE PROFESIONES, DEBERA PRESTAR SERVICIO SOCIAL DURANTE UN TIEMPO MINIMO DE SEIS MESES COMO REQUISITO BASICO PARA SUSTENTAR EXAMEN PROFESIONAL, ASI COMO DE LA DISPOSICION DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES EN EL SENTIDO DE QUE SE IMPRIMA EN LUGAR VISIBLE DE LOS EJEMPLARES DE LA TESIS, EL TITULO DE TRABAJO REALIZADO. ESTA COMUNICACION DEBERA IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA TESIS.

SIN MAS POR EL MOMENTO, RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 23 DE ENERO DE 1996



ING. CARLOS ROSALES AGUILAR  
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

## **A MIS PADRES.**

**El ser padre no es solamente el dar vida a un nuevo ser, el ser padre es ver por el bienestar del hijo, enseñarle, educarlo, guiarlo y sobre todo apoyarlo en toda decisión que tome el hijo.**

**Ustedes han hecho esto y más es por eso que quiero darles las gracias y dedicarles este trabajo que anhele durante mucho tiempo el cual lleva todo mi amor y cariño.**

**A tí Papá quiero darte las gracias por la confianza que depositaste en mí y por los grandes sacrificios que has hecho para que pudiera llegar a realizar una de mis ilusiones y principalmente por ser mi mejor amigo. A tí Mamá gracias por todas aquellas frases de aliento y sobre todo por el gran apoyo que siempre me brindas y por ser mi mejor amiga.**

**LOS QUIERE MUCHO**

**BRAULIO**

#### **A MIS HERMANAS**

**Por ese inmenso apoyo que he recibido de ustedes cuando más lo necesitaba recuerden que las quiero mucho.**

**Braulio**

#### **A MIS TIOS**

**Con mucho cariño ya que todos han contribuido de una u otra forma a la superación que he obtenido durante mi vida gracias por el inmenso apoyo que me han brindado.**

#### **A MIS AMIGOS**

**Ernesto, Juan Manuel, Luis, Gabriel y Rene por el gran apoyo que recibí dentro y fuera de la escuela así como los acontecimientos que pasamos juntos.**

**Gracias por su amistad. Braulio**

**A ELIZABETH Y MIRYAM**

Por esa gran amistad y sobre todo por el gran apoyo que me brindaron durante la carrera ya que sin su ayuda no hubiera podido culminar este trabajo de tesis.

Con cariño. Braulio

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr Luis E. Marín Stillman por haber aceptado dirigir esta tesis así como su orientación y consejos durante la elaboración de la misma, así también por la gran amistad que me brindo.

A la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua en esapecial al Ing. Oscar Escolero Fuentes, al Ing. Noel Hernández Laloth por todo el apoyo, sugerencias y comentarios realizados para llevar acabo la elaboración de estetrabajo da tesis.

Muy en espacial al Ing. Oscar León Vázquez por la gran amistad que me brindo así como enseñanzas, sugerencias, comentarios durante el tiempo que estuve trabajando con el.

Gracias por haber sido mi amigo. Braulio

**Al Ing. Jorge E. Athala Molano**

Por haberle dedicado tiempo, así como sus consejos y sugerencias al trabajo de tesis al igual aas palabras da aliento que recibí de usted-.

Gracias por su apoyo. Braulio

# HIDROGEOQUIMICA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

## INDICE

	Pagina
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>I.- GENERALIDADES</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1 Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Localización del área de estudio</b> .....	<b>4</b>
<b>I.3 Población y Actividades socioeconómicas</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4 Descripción del problema</b> .....	<b>7</b>
<b>II.- GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	<b>9</b>
<b>II.1 Marco Geológico</b> .....	<b>9</b>
<b>II.2 Fisiografía</b> .....	<b>9</b>
<b>II.3 Estratigrafía</b> .....	<b>10</b>
<b>II.4 Hidrogeología</b> .....	<b>12</b>
<b>III.- HIDROLOGIA</b>	
<b>III.1 HIDROLOGIA SUPERFICIAL</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Escurrimientos</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Climatología</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3 Sistema de canales</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4 Calidad de las aguas residuales</b> .....	<b>17</b>



**III.2 HIDROLOGIA SUBTERRANEA** ..... 18

2.1 Características hidráulicas del acuífero ..... 18  
2.2 Piezometría ..... 19  
    Profundidad y elevación del nivel estático ..... 21  
    Dirección del flujo subterráneo ..... 22  
2.3 Recarga y descarga del acuífero ..... 23

**IV.- HIDROGEOQUIMICA** ..... 24

IV.1 Muestreo y análisis del agua subterránea ..... 25  
IV.2 Características físico-químicas ..... 25  
IV.3 Características bacteriológicas ..... 31  
IV.4 Familias de aguas ..... 32  
IV.5 Calidad del agua ..... 33  
IV.6 Modelo geoquímico wateq ..... 37

**CONCLUSIONES** ..... 41

**RECOMENDACIONES** ..... 42

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXO**

## INDICE DE FIGURAS

### Figura

Localización del estado (zona de estudio).....	1
Vías de comunicación .....	1
División política del estado .....	2
Provincias fisiográficas .....	3
Regiones hidrológicas del estado .....	4
Principales escurrimientos .....	5
Diagrama hidrográfico de DDR 03 .....	6
Diagrama de Piper en aguas superficiales .....	7
Diagrama de Wilcox en aguas superficiales .....	8
Distribución de pozos y norias por profundidad de perforación .....	9
Distribución del agua subterránea .....	10
Propagación de enfermedades a través del agua .....	11
Diagrama de Piper en aguas subterráneas .....	12
Diagrama de Wilcox en aguas subterráneas .....	13
Condiciones de recarga y artesianismo en la zona de San Salvador. ....	14
Gráficas de temperatura, precipitación y evaporación en Mixquiahuala ....	15
Gráficas de temperatura, precipitación y evaporación en Actopan .....	16
Gráficas de temperatura, precipitación y evaporación en Ixmiquilpan. ....	17
Gráficas de temperatura, precipitación y evaporación en Tezontepac.....	18

\* Las gráficas de temperatura, precipitación y evaporación se encuentran en el anexo

## INDICE DE TABLAS

### Tabla

Municipios y población	1
Estaciones climatológicas	2
Temperatura promedio mensual	3
Temperatura promedio anual	3a
Precipitación promedio mensual	4
Precipitación promedio anual	4a
Evaporación promedio mensual	5
Evaporación promedio anual	5a
Sitios de monitoreo	6
Resultados de los análisis químicos de las aguas residuales	7
Resultados de las pruebas de bombeo	8
Clasificación de los aprovechamientos de agua subterránea por usos	9
Resultados de los análisis físico-químicos de las aguas subterráneas	10
Principales enfermedades Intestinales	11
Normas de calidad	12
Descripción de los subíndices C y S	13a y 13b
Límites máximos de STD para el ganado	14
Cultivos resistentes a la salinidad	15
Resultados del modelo (especiación)	16
Resultados del modelo (índices de saturación)	17

\*Las tablas de temperatura, precipitación y evaporación se encuentran en el anexo

## INDICE DE PLANOS

Profundidad al nivel estático	1
Esquema general del flujo subterráneo	2
Configuración de sólidos totales disueltos	3

## INTRODUCCION

El Valle del Mezquital, presenta una de las zonas de mayor importancia de la región, dado que en ella se ubica el principal polo de desarrollo agrícola e industrial. Este, para su proyección y desarrollo, requiere entre otros, del conocimiento de sus reservas de aguas subterráneas y de la disponibilidad de agua superficial.

En efecto, este valle reviste especial importancia económica y social ya que en él se encuentra el Distrito de Riego 03 del Río Tula, el cual ha estado recibiendo desde principios de siglo, aguas negras procedentes de la Ciudad de México, con las cuales se han estado irrigando grandes extensiones de tierras cultivables.

Esta actividad ha traído consigo perspectivas alentadoras al incorporar vastas extensiones de terrenos improductivos, al riego de gravedad, de tal manera que la utilización constante de esta práctica, llevada a cabo mediante un sistema de riego desde principios de la década de los cincuenta, ha propiciado que gran parte de los volúmenes recibidos y controlados por el Distrito de Riego 03, se estén infiltrando y provocando alteración en los acuíferos de la zona de estudio.

Los acuíferos de la zona así como los del estado de Hidalgo revisten gran importancia, porque son las fuentes que sustentan en mayor medida el desarrollo de sus sectores productivos y suministran casi la totalidad del agua destinada a consumo humano, así mismo, del almacenamiento subterráneo que abastece todos los desarrollos industriales y satisfacen la demanda de agua para usos público-urbano, doméstico y de abrevadero.

En el presente trabajo se desarrollan cuatro capítulos; el primer capítulo describe las generalidades de la zona, tal es el caso de la localización del área de estudio, vías de comunicación existentes, actividades socioeconómicas. En el segundo capítulo se define la Geología Regional la cual consta de la Fisiografía, Estratigrafía y la Hidrogeología.

El tercer capítulo llamado Hidrología se subdivide en dos partes; la primera en Hidrología Superficial la cual abarca desde la descripción de los principales escurrimientos, climatología, distribución del agua en el Distrito de Riego 03 (sistema de canales) así como la calidad del agua existente en ellos. La segunda parte llamada Hidrología Subterránea; donde se mencionan las características hidráulicas del acuífero, profundidades totales de las obras de captación ( pozos, norias ) así como la profundidad y elevación del nivel estático ( dirección del flujo subterráneo ), recarga y descarga del acuífero, así como su distribución.

En el último capítulo llamado Hidrogeoquímica se describen las características físico-químicas y bacteriológicas, familias y calidad de aguas existentes en la zona de estudio, para poder llegar a describir los parámetros mencionados de familia y calidad se utilizaron los diagramas de Piper y Wilcox. Una de las partes más importantes de este capítulo es la aplicación del modelo geoquímico mediante el cual obtendremos la especiación de algunos metales como lo son el plomo y zinc.

Por último se emiten las conclusiones ( interpretación de resultados ) y las recomendaciones.

Se espera que este trabajo de tesis ayude de alguna manera en la solución de problemas geoquímicos y sirva de apoyo para el impulso en otras zonas de la República Mexicana mediante la aplicación del modelo geoquímico WATEQ.

## **I.- GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Conforme el hombre ha ido evolucionando tanto en el aspecto económico como en el demográfico, se ha dedicado a explotar y degradar lo que la naturaleza depositó y guardó en el subsuelo por miles de años; tal es el caso de los recursos hidráulicos del país.

Gran parte de los acuíferos del país, han sufrido cambios perjudiciales que en muchos casos son irreversibles. Por ejemplo la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado fuertes descensos de los niveles del agua, y la intrusión de agua salada en acuíferos costeros. Aunado a esto ha habido alteración en la calidad del agua subterránea por la entrada de sustancias nocivas al sistema acuífero (descargas industriales, pesticidas, etc.).

Dentro de la zona del Mezquital se localiza el Distrito de Riego 03 del Río Tula, el cual utiliza las aguas negras que desecha la Ciudad de México; con estas aguas se han estado irrigando grandes extensiones de tierras cultivables generando una gran controversia en cuanto a contaminación superficial y subterránea, manejándose ya desde 1971 dos calidades del agua: las aguas para riego y las subterráneas.

Diversos estudios se han llevado a cabo en la zona del Mezquital ya sea para programar la utilización de las aguas negras, conocer la potencialidad de los acuíferos o para saber la influencia del agua de riego en las aguas subterráneas y por ende el grado de contaminación de estas.

1) La compañía Hidrotec, S.A. entre 1969 y 1970 fue la primera compañía a la que se le dio la tarea de definir la disponibilidad hidráulica y contaminación generada por el riego con aguas negras en la zona, "Informe final del estudio geohidrológico de la zona del Valle del Mezquital Hgo.", el estudio reveló la existencia de tres tipos de materiales (granulares, basaltos y calizas) donde se alojaban dos acuíferos (semi-confinado y confinado) los cuales podrían aportar un caudal del orden de los  $100 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/anuales. Igualmente se detectó un cierto grado de contaminación en los acuíferos, lo que bien podría deberse a la infiltración de las aguas de riego.

2) En 1981 la empresa Geocall con "Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle del Mezquital Hgo." se hizo cargo del proyecto concluyendo igualmente en la existencia de tres tipos de materiales (aluvión de origen fluvial; tobas, cenizas y derrames de basalto de la formación Tarango, y calizas de las formaciones Cuautla y el Doctor). Así mismo, en cuanto al contenido de sólidos totales disueltos en las aguas subterráneas no negó la posibilidad de una contaminación subterránea por las aguas de riego.

3) En 1983 Georesa se encargo de elaborar un estudio de factibilidad para incrementar el volumen de agua drenado a través del canal Xotho hacia el Distrito de Riego 100, ubicado en Ixmiquilpan. Concluyendo en que el acuífero de la zona Actopan-San Salvador se encuentra controlado hidráulicamente por un graben, del cual parten una serie de fallas escalonadas hacia el este. Además manifestó la incompatibilidad entre la calidad de las aguas negras y las aguas subterráneas, por lo tanto el concepto de contaminación, por lo menos en la zona de Actopan quedo desechado.

4) En 1985 a través de la Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos, la Comisión Federal de Electricidad, llevo a cabo "El Resumen de Investigaciones Hidrogeológicas" concluyendo que el acuífero no presentaba abatimiento alguno si no al contrario se observaba una recuperación en los niveles del agua subterránea bastante buena.

5) A nivel hidrogeoquímico, se han elaborado diversos estudios de entre los que destacan el estudio isotópico de las Aguas Subterráneas del Valle del Mezquital, elaborado por el Dr. Bryan Payne (1976), 6) así como el estudio Hidrogeoquímico de la porción centro - oriental del Valle efectuado por R. del Arenal (1982).

7) En 1990 los gobiernos Federal y Estatal a través de la Comisión Nacional del Agua por conducto de la Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, encomendó a la empresa Thorsa, Ingenieros Consultores y Constructores S.A de C.V la actualización del estudio geohidrológico del Valle Tula-Mezquital-Actopan en el estado de Hidalgo con el fin de conocer el estado dinámico actual en que se encuentran los acuíferos de la zona, dando como conclusión que en el área de Tula existe un volumen de descarga total de 193.4 Mm<sup>3</sup>/año y las recargas totales fueron de 231.7 Mm<sup>3</sup>/año, por lo que se deduce existe un excedente de 38.3 Mm<sup>3</sup>/año.

8) En 1991-1992 Ariel Consultores S.A. lleva a cabo la " Actualización del estudio Geohidrológico de San Salvador y Valle de Actopan " con fines de determinar la disponibilidad hidrológica para el proyecto Xotho; así como el aprovechamiento de agua potable concluyendo que la calidad del agua no es recomendable para abastecimiento de agua potable; para la agricultura también impone limitantes dada su mala calidad.

## **1.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**

El estado de Hidalgo se encuentra en la parte central del país al oeste de la Sierra Madre Oriental, al noroeste de la altiplanicie meridional y en el sur de la planicie costera nororiental. Limitando al norte con los estados de Veracruz y San Luis Potosí; al sur con el estado de México, al este con el estado de Puebla, al oeste con el estado de Querétaro y al sureste con el estado de Tlaxcala.

Tiene una superficie territorial de 20,987.5 Km<sup>2</sup> y representa el 1.03% del territorio nacional, con una longitud de 203 Km de este a oeste y de 164 Km de norte a sur. Está conformado por 84 municipios siendo Pachuca la capital del estado (Fig N° 1).

#### CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DEL ESTADO

En el estado pueden distinguirse cuatro regiones o provincias fisiográficas: la mesa central, la sierra madre oriental, la altiplanicie costera del golfo y el eje neovolcánico. La región representa numerosos valles localizados entre cerros y serranías aisladas; esta dividida en dos partes por la sierra de Tezontalpan que se ubica en la parte central del sur del estado, localizándose en el oeste la zona conocida como el Valle del Mezquital y al este los llanos de Apan, con relieve predominante plano excepto en el norte, donde se localiza la sierranía de Pachuca y otros cerros que forman parte del estado presentando un relieve francamente montañoso.

#### VALLE DEL MEZQUITAL

La zona del Mezquital se localiza en la parte sur-occidental del estado de Hidalgo y se extiende en una cuenca que colinda al sur con el Valle de México. Cuenta con una superficie aproximada de 2,365 Km<sup>2</sup> la cual queda comprendida entre los paralelos 19° 53'15" y 20° 27'12" de latitud norte y entre los meridianos 98° 52' 20" y 99° 27' 54" de longitud oeste, limitado al norte por el Valle de Ixmiquilpan, el poblado del mismo nombre y los cerros del Huadrí, El Ventorrillo, Pozuelos, El Aguila y Monte Noble; al este por el Valle y la Sierra de Actopan, al sur por los cerros Xicuco y el Gorrion y por los poblados Tlaxcoapan, Tetepango y Ajacuba, y por el oeste por la Sierra de Xithé.

#### 1.3 POBLACION Y ACTIVIDADES

Dentro del área de estudio, se ubican numerosos centros de población los cuales van desde rancherías con menos de 500 hab. hasta poblaciones con más de 15,000 hab. Los municipios que abarca la zona de estudio son: Actopan, Ajacuba, El Arenal, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Chilcuautila, Fco. I Madero, Mixquiahuala, Progreso de Obregón, San Salvador, Santiago de Anaya, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende (Fig N° 2).

La densidad de población en estos municipios, varía de acuerdo con la actividad que se realice. Según datos del censo de población realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática ( INEGI ) en el año de 1990 se tiene la siguiente información:



# LOCALIZACION DEL ESTADO DE HIDALGO



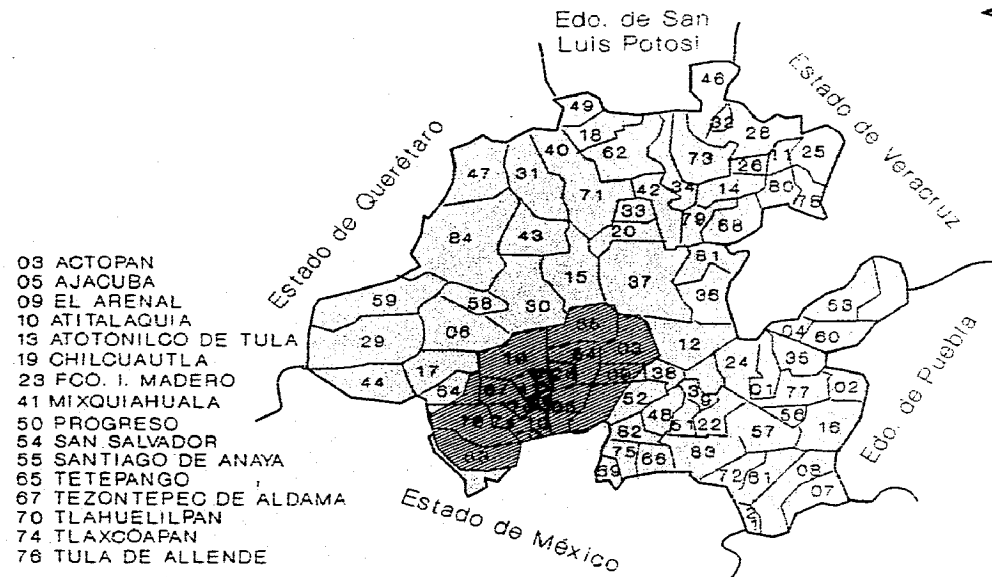
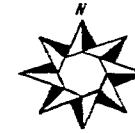
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ENEP - ACATLAN		
Hidrogequímica del Valle del Mezquital, Hgo.		I N G
BRAULIO FCO. SILVA DE LA ROSA		
Fig. N° 1	Tesis Profesional	

MUNICIPIO	POBLACION (N° DE HABITANTES)
ACTOPAN	40613
AJACUBA	12704
EL ARENAL	12761
ATITALAQUIA	17627
ATOTONILCO DE TULA	19327
CHILCUAUTLA	13697
FCO. I MADERO	25554
MIXQUIAHUALA	31137
PROGRESO DE OBREGON	17156
SAN SALVADOR	25674
SANTIAGO DE ANAYA	12457
TETEPANGO	6871
TEZONTEPEC DE ALDAMA	31651
TLAHUELILPAN	11508
TLAXCOAPAN	18264
TULA DE ALLENDE	73713

Tabla N° 1. Municipios que conforman al Distrito de Riego 03; La tasa de crecimiento anual con que se cuenta es del 2.1 % ( INEGI, 1990)

Existen dos actividades preponderantes que regulan a la población económicamente activa: la industria y la agricultura. La primera se desarrolla principalmente en la zona de Tula, donde se ubican industrias de transformación, extractivas, de construcción y maquiladoras, siendo las más importantes la Termoeléctrica, la Refinería de Tula, las Cementeras Cruz Azul y Tolteca donde mediante molienda, horneado, cribado y

# DIVISION MUNICIPAL



- 03 ACTOPAN
- 05 AJACUBA
- 09 EL ARENAL
- 10 ATITALAQUIA
- 13 ATOTONILCO DE TULA
- 19 CHILCUAUTLA
- 23 FCO. I. MADERO
- 41 MIXQUIAHUALA
- 50 PROGRESO
- 54 SAN SALVADOR
- 55 SANTIAGO DE ANAYA
- 65 TETEPANGO
- 67 TEZONTEPEC DE ALDAMA
- 70 TLAHUELILPAN
- 74 TLAXCOAPAN
- 76 TULA DE ALLENDE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ENEP - ACATLAN	
Hidrogeoquímica del Valle del Mezquital. Hgo.	I
BRAULIO FCO. SILVA DE LA ROSA	N
Fig. N° 2	G
TESIS PROFESIONAL	L

cribado y secado se producen importantes cantidades de cemento gris, blanco y la calhidra. En lo que respecta a la agricultura en gran parte de la zona del Mezquital se siembra maíz, alfalfa, cebada, frijol, chile, calabaza y avena siendo estos los cultivos primarios y como cultivos secundarios se tienen el tomate de cáscara, trigo, jitomate, avena forrajera, etc.

Para su riego se utilizan las aguas negras procedentes de la ciudad de México y el agua subterránea obtenida por medio de pozos profundos. El volumen anual utilizado para dicha actividad es de aproximadamente 1577,920 miles m<sup>3</sup>/año para regar una superficie de 45,214.52 has.

Existen otras actividades complementarias de menor importancia como la fruticultura de durazno, vid, tuna y maguey. En lo que se refiere a la ganadería la zona no destaca en esta actividad, excepto quizás en bovinos de carnes y leche, porcino, caprino y aves de corral. Así mismo, en la zona de manantiales de San Salvador existe una incipiente acuicultura.

#### **VIAS DE COMUNICACION**

El acceso a la zona de estudio se lleva a cabo a través de la carretera federal No.85 México - Laredo, que une a los poblados de El Arenal-Actopan, Caxuxi, Lagunilla, Patria Nueva, Yolotepe e Ixmiquilpan, y hacia el sur permite la comunicación con la cd. de Pachuca y la C. de México. Hacia el poniente permiten comunicación con la ciudad de Tula. Por otro lado la carretera estatal No.19 comunica a los poblados de Actopan, Tepatepec, Progreso y Mixquiahuala, antes de entroncar con la autopista México-Querétaro; existen también ramales, pavimentados, que comunican otras poblaciones tales como Caxuxi y San Salvador, Actopan y Chicavasco, Santa Ma. Amajac, San Antonio, Actopan, La Estancia, Lagunilla y Santiago de Anaya, entre otros, además de terracerías que entrelazan poblados y rancherías de menor importancia (Fig N° 1). Actopan cuenta con un modesto aeropuerto, que permite la comunicación con cualquier centro de significación en el estado de Hidalgo e incluso con estados vecinos.

Por otra parte se tiene el ferrocarril que une a la cd. de Pachuca con Tula y corre por la ladera septentrional del cordón de sierras que separa el Valle del Mezquital de la Cuenca de México; su función principal es la carga de cemento y minerales.

#### **I.4 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

El valle del Mezquital representa una de las zonas de mayor importancia de la región, dado que en ella se ubica el principal centro de desarrollo agrícola e industrial. Este, para su proyección y desarrollo, requiere del conocimiento de sus reservas de aguas subterráneas y de la disponibilidad del agua superficial.

**Este valle reviste especial importancia económica y social ya que en él se encuentra ubicado el Distrito de Riego 03 del río Tula, uno de los más importantes en el país. Este distrito ha estado recibiendo desde principios de siglo aguas negras procedentes de la ciudad de México, con las cuales se han estado irrigando grandes extensiones de tierras cultivables.**

**Esto ha traído efectos benéficos a la región como son: 1) incorporación de vastas extensiones de terrenos improductivos; 2) halagadores rendimientos, debido al alto contenido de material orgánico y elementos nutritivos que transportan dichas aguas depositandolos en suelos empobrecidos, volviéndolos más fértiles; 3) infiltraciones, que constituyen una importante fuente de recarga para los acuíferos alojados en el valle. Por otro lado, la utilización de aguas negras en el riego ha preocupado intensamente a la comunidad en general por el peligro potencial que implica su infiltración y futura contaminación de las aguas subterráneas.**

## II.- GEOLOGIA REGIONAL

### II.1 MARCO GEOLOGICO

La información geológica fue recabada de diversos estudios: (Sinopsis del estado de Hidalgo, 1993), (Hidrotec, 1969), (Geocalli, 1981), (Thorsa, 1992) así como del Estudio Hidrogeoquímico de la porción centro oriental del Valle del Mezquital; del Arenal, 1982.

Dentro del área de estudio se encuentran rocas de tipo sedimentario, siendo las más antiguas las del Cretácico inferior y superior; las rocas de este período cuentan con una edad aproximada de 138 millones de años y se encuentra representada por las formaciones: Doctor, Soyatal y Mexcala. Las rocas que representan estas formaciones afloran en la parte norte del área de estudio y están constituidas por calizas, nódulos de pedernal, y por lutitas, limolitas y areniscas.

El siguiente estrato de rocas pertenece a la era Cenozoica dentro de la cual presentan dos períodos: Terciario y Cuaternario; dentro del período Terciario la edad de las rocas varía de los 53.5 a los 5 millones de años. Este período se encuentra representado por el Grupo El Morro, Grupo Pachuca y la Formación Tarango. Afloran en la parte sur así como en los poblados de Chilcuautla, San Salvador, Progreso, Topatepec, Mixquiahuala, están constituidas principalmente por rocas volcánicas, derrames de lavas, tobas, riolitas y basaltos. Dentro del período Cuaternario se encuentra el material más reciente con una edad de 1.8 millones de años, constituida por aluviones de origen fluvial, laves, cenizas volcánicas, calizas lacustres y yeso; los afloramientos se encuentran cerca de los ríos Actopen y Tule así como en Ixmiquilpan.

### II.2 FISIOGRAFIA

Fisiográficamente el área de estudio está ubicada en la transición de las provincias del Eje Neovolcánico y Sierra Madre Oriental (Fig N° 3) según Rainz (1964). La provincia de la Sierra Madre Oriental abarca principalmente las porciones norte y centro de estado pertenece a la subprovincia de Sierras Altas, representa alrededor del 50% de su superficie. Los rasgos característicos de esta provincia fisiográfica consiste de sierras altas que se encuentran ampliamente distribuidas con orientación NW-SE y presentan una topografía muy abrupta, la diferencia de elevaciones varía de 2000 a 600 msnm (metros sobre el nivel del mar). El sistema de drenaje se encuentra representado por los Ríos Amajec, Claro y Atlapexco que tienen una desembocadura al Río Pánuco y este finalmente desemboca al Golfo de México. La parte sur del estado se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, representa alrededor de un 40% de su superficie estatal. Esta provincia constituye una faja volcánica que presenta una gran variedad de rocas, compuestas principalmente por andesitas, riolitas, material piroclástico, etc.



Otras características presentadas en esta provincia es la presencia de estructuras volcánicas, así como una topografía menos abrupta que la expuesta en la Sierra Madre Oriental ya que la diferencia de elevaciones en esta provincia es de aproximadamente de 400 m

La red de drenaje superficial esta representado por los Ríos Tepeji Tula, San Juan del Río y Moctezuma los cuales desembocan al Río Pánuco y este a su vez al Golfo de México. Dentro de la zona del Mezquital se encuentra el Valle Tula-Actopan que es la planicie principal del Valle del Mezquital, abarcando casi la totalidad de la zona de riego. Se inicia en la ciudad de Tula, con 2030 m de altura, descendiendo suavemente hasta el poblado de Mixquiahuala con 1999 m. Se encuentra limitado al norte por la Sierra de San Miguel de la Cal con una elevación de 2800 m, al oeste por la Sierra de Xinthé con 2700 m de elevación, al este por la Sierra Pachuca, al sureste por la Sierra de Chicavasco y al sur por los lomeríos de Tepeji del Río.

### **II.3 ESTRATIGRAFIA**

Las características litológicas de las diversas formaciones que afloran en el área de estudio son:

#### **MESOZOICO**

##### **SISTEMA CRETACICO INFERIOR: FORMACION EL DOCTOR**

Calizas el Doctor (kid) nombre con que se les ha designado a las rocas sedimentarias de origen marino. Los afloramientos de estas rocas se hallan ampliamente distribuidas en la parte norte del área, consistentes en calcilutitas de color crema y blanquecino, cuyas fracturas generalmente están rellenas por calcita. En algunos escarpes se aprecian cavidades de dimensiones importantes, formadas por disolución de las rocas, que en el subsuelo también deben presentarse formando cavernas de longitud considerable. Algunas de ellas coinciden con alineamientos de fracturas y fallas. Estas calizas forman estratos masivos, pero debido a su alteración superficial resulta difícil identificar los planos de estratificación; estas calizas están ampliamente distribuidas en el área, limitadas lateralmente o cubiertas por sedimentos del Cretácico superior o rocas más recientes de origen ígneo.

##### **SISTEMA CRETACICO SUPERIOR: FORMACION MEXCALA**

Sedimentos marinos (ksm).- Estas rocas de origen marino constituyen la formación Maxcala, que descansa sobre la formación el Doctor. En superficie forman capas de sedimentos de grano variable, con intercalaciones de limonitas, lutitas, calizas y areniscas; ya hacia una parte superior las calizas son escasas, predominando las areniscas con colores variables que van del negro al gris oscuro, pasando por el amarillento y verdoso.



Por lo general forman lomeríos cuyas partes superiores están redondeadas; al descender forman escarpes de erosión con infinidad de huellas de drenaje donde resulta más fácil apreciar los estratos. Sus afloramientos se encuentran en las proximidades de Mixquiahuala.

**FORMACION SOYATAL.(kss).**- Sobreyace a la formación el Doctor y aflora en la parte N-NW de la zona de estudio y se encuentra constituida por calizas en capas gruesas y bastantes compactas con intercalaciones de arcilla y nódulos de pedernales.

#### **CENOZOICO**

##### **SISTEMA TERCIARIO: ROCAS SEDIMENTARIAS CONTINENTALES.**

Se trata de sedimentos continentales que constituyen el grupo el Morro. Tuvieron lugar en el área a mediados del Terciario específicamente durante el Eoceno-Oligoceno como producto de erosión de las rocas Cretácicas y de detritos de composición ígnea, que forman cuerpos de poco espesor y extensión reducida en localidades aisladas. Sus componentes clásticos presentan buena cementación, con estructura masiva y alta consistencia que por efectos del intemperismo han adquirido un color rojizo que a veces se torna café oscuro.

##### **GRUPO PACHUCA**

Son rocas ígneas extrusivas que han llegado a constituirse en tobas, formadas por una secuencia de emisiones piroclásticas de composición andesítica principalmente compuesta por arenas cementadas de grano grueso a mediano. Alternan con pseudo capas de arenas volcánicas bien cementadas en posición generalmente horizontal lo cual las hace más difíciles de erosionar. Las tobas andesíticas de la Sierra de Actopan presentan fracturamiento abundante pero a escasa profundidad, razón por la cual el agua de lluvia penetra a través de ellas, y dada las fuertes pendientes, estas infiltraciones se traducen en escurrimientos superficiales y ocasionalmente en pequeños y efímeros manantiales. Las rocas andesíticas forman los cerros y lomeríos bajos con desniveles suaves que se localizan en la zona norte del Valle de Actopan. Estos son afloramientos constituidos por lava de andesita; presenta fracturamiento, mismo que se considera desarrollado a profundidad; la coloración de estas lavas varía del gris oscuro al claro y en algunos sitios adquiere un color rojizo debido al contenido de ferromagnesianos y a la presencia del agua.

##### **FORMACION TARANGO**

Esta representada principalmente por materiales clásticos con lentes locales de ceniza volcánica y derrames de lava. Se le encuentra dispersa en la mayor parte del área.

## PLEISTOCENO RECIENTE

Las rocas del pleistoceno se encuentran representados por aluviones de origen fluvial, aluviones con material clástico, lentes locales de ceniza volcánica y calizas lacustres. Sus afloramientos se encuentran a lo largo del río Actopan y en ciertos tramos del cauce del río Tula, así como en las proximidades del poblado de Ixmiquilpan.

## II.4 HIDROGEOLOGIA

"Las características hidrogeológicas de los grupos y formaciones se pueden resumir de la siguiente manera y en forma cronológica:

Calizas de origen marino, lentes y nódulos de pedernal, y capas dolomíticas de edad Cretácica temprana, con una permeabilidad media, también se cuenta con calizas que tienen intercalaciones de arcilla, nódulos de pedernal y capas interestratificadas de lutita, limolita, areniscas, y calizas de origen marino de edad Cretácica tardía con permeabilidad baja; le siguen los conglomerados de caliza y derrame de lava y tobas de edad Eocénica de permeabilidad media, aflorando en la parte central del valle. Posteriormente se encuentran rocas volcánicas representadas por riolitas, basaltos, andesitas y rocas volcánicas no diferenciadas del Mioceno y Oligoceno, de permeabilidad muy baja.

Por último se halla material clástico, lentes de caliza lacustre y cenizas volcánicas, derrames de lava, brechas y cenizas asociadas, así como relaciones entre estos materiales de edad pliocénica; con una permeabilidad variable así también Aluviones, lavas, cenizas volcánicas, derrames laváticos, brechas, calizas lacustres, yesos e interdigitaciones desordenadas de los materiales de edad Pleistocénica y del Oligoceno con una permeabilidad alta." (del Arenal, 1978)

## ACUIFEROS

En esta área existen tres acuíferos:

El primero es somero y de profundidad variable, localizado irregularmente en los aluviones Cuaternarios de origen fluvial cuya recarga proviene principalmente de las infiltraciones del agua de lluvias, de las aguas de riego (aguas negras), y del flujo del agua subterránea. A este acuífero se le considera libre. La mayor contribución de las aguas negras se realiza con mayor intensidad en la parte suroccidental de la zona.

El segundo acuífero está localizado principalmente en los basaltos y constituye el acuífero principal del valle. El agua de este acuífero se encuentra mezclados con aguas provenientes del riego lo cual hace que se piense que la inclusión de las aguas residuales en el acuífero basáltico se debe a la infiltración a través del acuífero somero. El tercer acuífero se localiza en las calizas Cretácicas. (del Arenal, 1982)

## **III.- HIDROLOGIA**

### **III.1 HIDROLOGIA SUPERFICIAL**

"El Valle del Mezquital se encuentra dentro de la Subcuenca del Río Tula, zona a la que denomina la SARH del Alto Pánuco (Fig N° 4). Colinda al norte con la Cuenca del Bajo Pánuco, al sur con la Cuenca del Valle de México, al sureste con la Cuenca del Río Lerma, al poniente con la Subcuenca del Río San Juan del Río y al noreste con la Subcuenca del Río Amajac y de la laguna de Meztlán" (Thorsa, 1991)

#### **III.1.1 ESCURRIMIENTOS**

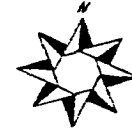
Existen tres corrientes de régimen perenne que cruzan a la zona con una dirección preponderante de sur a norte y son: 1) Río Tula, 2) Río Actopan (Río Chicavasco), 3) Río Salado (Fig N° 5).

El Río Tula nace en la Sierra la Catedral e inicia su recorrido con una dirección de N-NW bajo el nombre del Río San Jerónimo; cuando llega a la Presa Taxhlmay cambia el rumbo y nombre, modificándose a N-NE y Río Tepeji respectivamente. Aguas abajo es interceptado por la presa Requena con el fin de controlar las descargas, a partir de este punto cambia de nombre definitivamente por el de Río Tula. En las inmediaciones de la Cd. de Tula, el río descarga sus aguas a la Presa Endhó; a partir de aquí toma una dirección N-NE hasta llegar a Mixquiahuala en donde empieza un comportamiento irregular en su travesía, debido a que pasa por una región topográficamente abrupta. A lo largo de su recorrido recibe aportaciones entre las que se cuentan las del Río Salado.

Río Actopan (Chicavasco) se origina a 9 Km al norte de la Cd. de Pachuca. Inicia con un curso SE hasta llegar a la Presa el Durazno; aguas abajo, se le une el Arroyo Las Cajas, cerca ya de la localidad nombrada como Chicavasco; a partir de aquí toma el nombre de arroyo Chicavasco. En las inmediaciones de la Cd. de Actopan se le rebautiza ahora con el nombre de Río Actopan. A partir de este punto prosigue con un rumbo NW; pocos kilómetros aguas abajo se une al canal Xotho el cual cruza el parteaguas de los Valles de Actopan-Ixmiquilpan hasta desembocar a la Presa Debodhé.

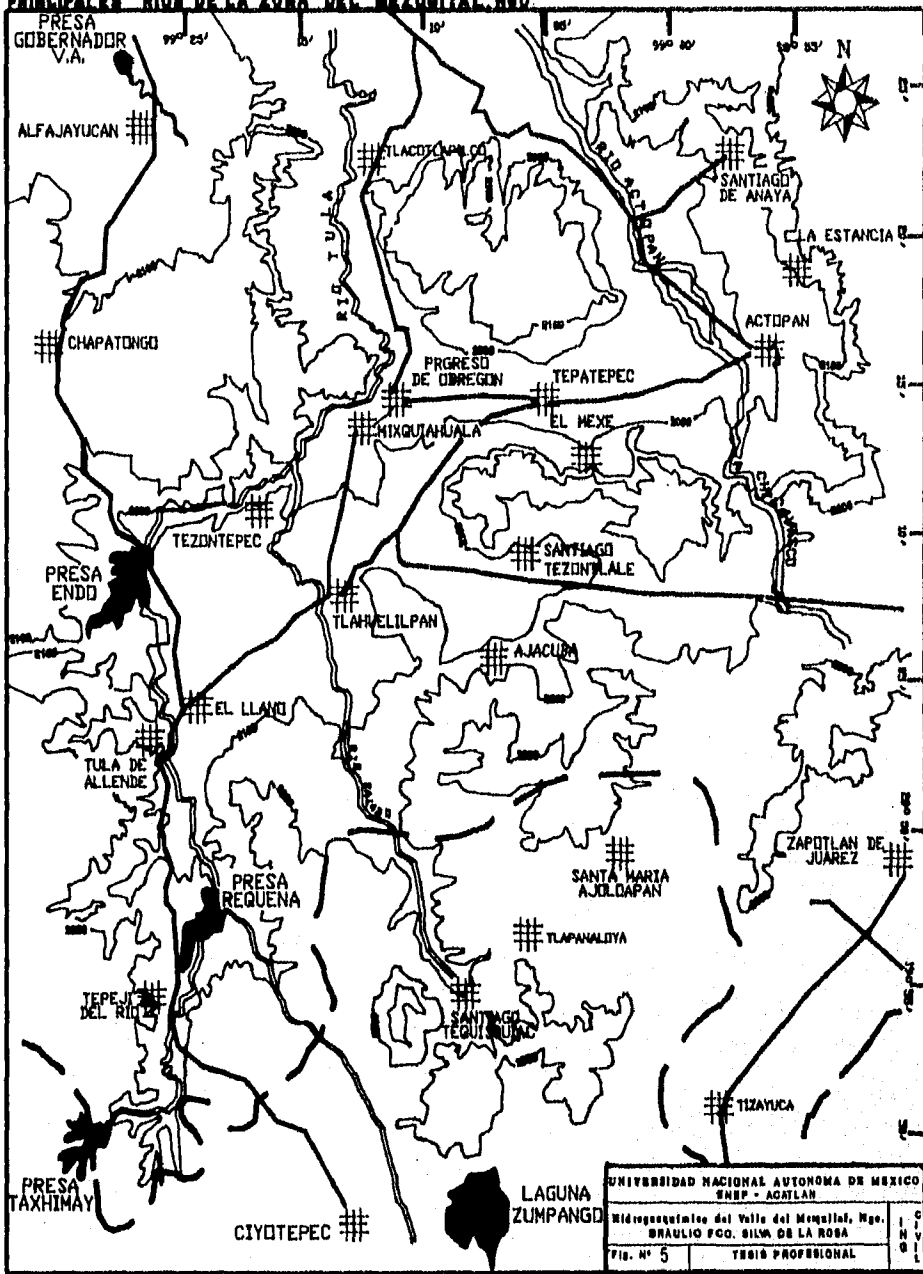
Río Salado se origina en el cerro El Epazote con el nombre de arroyo Tenguedó. Presenta varias direcciones en su recorrido a lo largo del cual toma también distintos nombres al pasar por la población de Hueyoptla, toma el nombre de este hasta que llega a la confluencia con el antiguo túnel de Tequixquiac en donde cambia a Río Salado. Adelante, recibe aportaciones del nuevo túnel de Tequixquiac (aguas negras) y continúa hasta Atitalaquia en donde se derivan parte de sus aguas hacia el Distrito de Riego 03. Aguas abajo descarga al Río Tula a la altura de la localidad Mangas.

# REGIONES HIDROLOGICAS ESTADO DE HIDALGO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ENEP - ACATLAN		
Hidrogequímica del Valle del Mezquital, Ego.	I	C
BRAULIO FCO. SILVA DE LA ROSA	N	V
Fig. N° 4	TESIS PROFESIONAL	G
		L

PRINCIPALES RIOS DE LA ZONA DEL MEZQUITAL, HGO.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ENEP - AOTLAN	
Hidrogeología del Valle del Mezquital, Hgo.	
BRAULIO FCO. SILVA DE LA ROSA	
Fig. N° 5	TRABAJO PROFESIONAL

El Río El Salto es uno de los afluentes principales del Río Tula que llegan a afectar la calidad de las aguas del Río Tula y son introducidas al Valle del Mezquital. Se inicia cerca de Santiago Tlaltepaxco como continuación del Tajo de Nochistongo, obra que es utilizada para dar salida a las aguas negras provenientes del sector poniente y de las aguas superficiales de los Ríos Hondo y Cuautitlán, de la Cd. de México. Aguas abajo de la Presa Requena, descarga su contenido al río Tula.

### III.1.2 CLIMATOLOGIA

La información se recopiló del Atlas Nacional del Medio Físico y estudios realizados con anterioridad (Geocalli, 1981), (Ariel, 1992) así como de las estaciones climatológicas mencionadas posteriormente.

Las características hidrológicas de una región están determinadas por factores geológicos, geográficos y en forma dominante por su clima. Entre los factores climatológicos están la cantidad y distribución de la precipitación, la temperatura y la evaporación. El estudio y análisis detallado de dichos factores permite comprender las interrelaciones existentes entre los componentes del ciclo hidrológico.

Actopan noroeste	Mixquiahuala centro
Ixmiquilpan	Tezontepec

Tabla N° 2 Estaciones climatológicas localizadas en el área de estudio.

#### 1.- Clasificación del Clima

"Según la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García en el área estudiada prevalece un clima BS1 Kw (w) que quiere decir que está clasificado en el grupo de climas semisecos (BS1), caracterizado por tener lluvias en verano y escasas a lo largo del otoño; Templado Kw (w), con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5 y con condición de canícula, o sea una pequeña temporada menos lluviosa dentro de la estación de lluvias llamada también sequía de verano". (Ariel, 1992)

#### 2.- Precipitación Pluvial

La precipitación pluvial media anual es de unos 450 mm al año para la zona Mixquiahuala, Actopan; pero hacia la parte del sur las precipitaciones son mayores, ligeramente arriba de los 500 mm; para la zona de Ixmiquilpan la precipitación disminuye a 400 mm, correspondiendo a los valles del área estudiada.

En las tablas N° 4 y 4a se presenta la distribución durante el año de la precipitación y la evaporación potencial, en función de sus valores medios mensuales. Respecto a la precipitación se observa que la temporada de lluvias comprende los meses de mayo a septiembre siendo los meses con mayor precipitación junio y julio, excepción hecha de la estación Ixmiquilpan, donde los meses mas lluviosos son junio y septiembre.

También es posible ver (gráficas del anexo) que la evaporación potencial supera por mucho a la precipitación durante todo el año, déficit hídrico que para la agricultura intensiva regional se cubre principalmente con las aguas negras provenientes de la Cd. de México.

### 3.- Temperatura

Para la zona de estudio la temperatura media anual prevaleciente es del orden de 17° a 20° C en las planicies, en tanto que en las partes altas de las serranías es un poco más frío, del orden de 14° C. En la tabla N° 3 y 3a así como en las gráficas de las cuatro estaciones se consigna su distribución en el año, mediante los valores medios mensuales en el periodo de observaciones. Abril y Mayo son los meses mas calientes del año que corresponden a nuestra primavera, mientras que los meses más fríos son enero y febrero, las temperaturas medias bajan hasta los 13° C.

"En la zona de estudio la evaporación potencial alcanza un máximo valor medio de 2005 mm anuales en Actopan, y un mínimo de 1431 mm/año en Ixmiquilpan pudiendo considerarse unos 1775 como promedio en el área estudiada." (Ariel, 1992)

### III.1.3 SISTEMA DE CANALES

El sistema de canales en el Valle del Mezquital se inicia con la recepción de las aguas negras provenientes de la Cd. de México. Inicialmente en la porción sur del área en cuestión, utilizando los interceptores Poniente, Central y Oriente, así como el Gran Canal de Desagüe y el Dren general del Valle de México (Fig N° 6). Posteriormente esta red es conectada mediante tajos y túneles a las principales corrientes superficiales que drenan la porción suroccidental del área siendo estas los Ríos El Salto, Actopan, Tula y Salado los cuales distribuyen, mediante cuatro principales sistemas de riego. El funcionamiento de estos sistemas, esta gobernado por las presas almacenadoras y derivadoras existentes en la zona.

#### SISTEMA DEL RIO EL SALTO

Este Río, formador del Río Tula lleva su nombre desde la salida artificial del Tajo de Nochistongo, el cual introduce las aguas negras provenientes del área occidental de la Cd. de México mediante el interceptor poniente y los escurrimientos superficiales de agua captados por el Río Hondo. Posteriormente este Río vierte su carga total al Río Tula, inmediatamente aguas abajo de la presa Requena.

Como parte de este sistema, se considera también los volúmenes de agua aportados por el Emisor Central el cual sigue una dirección sensiblemente paralela al Río Salado, desplazado unos cuantos kilómetros hacia el suroeste. Este emisor es alimentado por los interceptores Oriente y Central, localizados al sur de la Laguna de Zumpango.

#### SISTEMA REQUENA

Tiene como función principal llevar agua para riego al Distrito de Riego 03 la cual proviene del suroeste y oeste del área, mezclada en ocasiones con los desechos vertidos por el sistema el río el Salto. De esta presa parte el Canal Principal Requena, el cual recorre toda el área en la porción central de la misma, con una dirección SW-NE, hasta salir del área de estudio por la margen derecha del río Chicavasco, al noroste de Actopan. La presa Requena se utiliza para administrar el agua proveniente principalmente del río Tepeji, aguas abajo de la presa Taxhimay en algunas ocasiones sus aguas eran mezcladas con los excedentes del sistema de riego del río el Salto. Actualmente esto ya no se realiza con el fin de evitar la contaminación masiva de la presa y por ende se destina al canal Requena.

#### SISTEMA ENDHO

Recibe aguas directamente de los dos sistemas anteriores, así como de los Ríos Tlautla y Rosas que descargan al Río Tula, el cual conecta a la presa Requena con la Endhó. El canal principal Endhó lleva sus aguas en una dirección similar a la del canal principal Requena y mediante este sistema se derivan volúmenes al Distrito de Riego N° 100 Alfajayucan, ubicado al norte de la presa Endhó. Esta aportación se lleva a cabo mediante un canal lateral que parte del canal principal Endhó.

#### SISTEMA DEL RIO SALADO

Este sistema es alimentado por los túneles de Tequilquiac, que conducen gran parte de las aguas negras provenientes de la Cd. México, las cuales son transportadas por el Gran Canal del Desagüe. Descarga además en este, las aguas residuales vertidas por el Dren General de Valle de México. En su curso aguas abajo el Río distribuye su carga mediante unas presas derivadoras y canales principales; dos canales principales son los que componen este sistema de distribución: el Canal Juandhó y Dendhó. Finalmente este río vierte sus demasías al Río Tula a la altura del poblado de Tezontepec de Aldama. Una presa que se sitúa en el recorrido de este Río es la presa Tlamaco que deriva aguas negras por el Canal Tlamaco-Juandhó para generar energía en la termoeléctrica Juandhó. Finalmente y como parte del manejo del agua en este distrito, se encuentra la cuenca del Río Chicavasco, en donde se asienta la población de Actopan. Los escurrimientos superficiales originados dentro de la cuenca hidrográfica, así como las demasías vertidas por los principales canales y algunos drenes secundarios, son captados por el río Chicavasco y conducidos fuera del área.



Los canales que en su totalidad están contruidos de tierra, son el canal principal Tlamaco-Juandhó y el canal Dendhó lo cual ocasiona que exista una mayor infiltración de aguas negras.

El canal principal Requena en su mayoría está construido de tierra aunque en su tramo principal y al final de este se encuentra revestido. El canal Dendhó se encuentra revestido desde el principio hasta la altura del poblado de Mixquiahuala posteriormente es de tierra hasta entroncarse con el Río Actopan (Río Chicavasco).

### III.1.4 CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

Con el objeto de conocer las características fisico-químicas del agua residual se realizaron muestreos en los diferentes sitios de monitoreo mostrados en la Fig N° 6. Los sitios de muestreo se presentan en la Tabla N° 6

DIAGRAMA DE PIPER Y STIFF°	SITIO DE MUESTREO	NOMBRE	LOCALIZACION
1	C1	Emisor Central	( salida )
2	C2	Túnel de Tequixquiac	( salida )
3	C3	Canal Tlamaco-Juandho	( 3+564 )
4	C4	Presa Requena	( toma )
5	C5	Presa Endho	( toma )
6	C6	Canal Ppal. Dendhó	( 12+915 )
7	C7	Canal Ppal. Requena	( 21+627 )
8	C8	Canal Ppal. Requena	( 32+896 )
9	C9	Canal Ppal. Requena	( 35+085 )
A	C10	Canal Ppal. Requena	( 69+623 )
B	C11	Canal Ppal. Endhó	( 23+000 )
C	C12	Canal Ppal. Endhó	( 27+000 )
D	C13	Canal Ppal. Requena	( 38+480 )

E	C14	Canal Ppal. Requena	( 85 + 249 )
F	S1	Cerro Colorado manantial	
G	S2	Pozo San Salvador	
H	S3	Pozo Bondho	
I	D1	Dren Ppal. Tapa-Lagunilla	( 12 + 000 )
J	D2	Rfo Chicavasco	( 4 + 380 )
K	D3	Dren lateral	( 20 + 537 )
L	D4	Dren lateral	
M	D5	Dren Ppal. Tapa-Lagunilla	( 21 + 000 )
N	D6	Dren Tlaxcoapan-Tlahuelilpan	

Tabla N° 6 Sitios de Monitoreo

En la Tabla N° 7 se presentan los resultados de los análisis físico-químicos.

Para agrupar la composición química de las aguas se utilizaron los diagramas de Piper y Wilcox (Figuras 7 y 8). Los métodos se describen en los puntos (IV.4 y IV.5)

## III.2 HIDROLOGIA SUBTERRANEA

### III.2.1 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ACUIFERO

Con el propósito de conocer las características hidráulicas de los acuíferos localizados en la zona de estudio se reinterpretaron un total de seis pruebas de bombeo tanto en sus etapas de recuperación como de abatimiento. La duración de estas dependió del comportamiento del nivel del agua. Los datos fueron recabados de estudios previos realizados para la SARH, los cuales sirvieron para conocer la transmisividad de los materiales que constituyen los acuíferos en diferentes puntos. ( Geocali, 1981 )

Para la interpretación de las pruebas de bombeo, se utilizaron: los métodos de Jacob y Hantush para acuíferos semiconfinados, en la Tabla N° 8 se muestran los resultados.

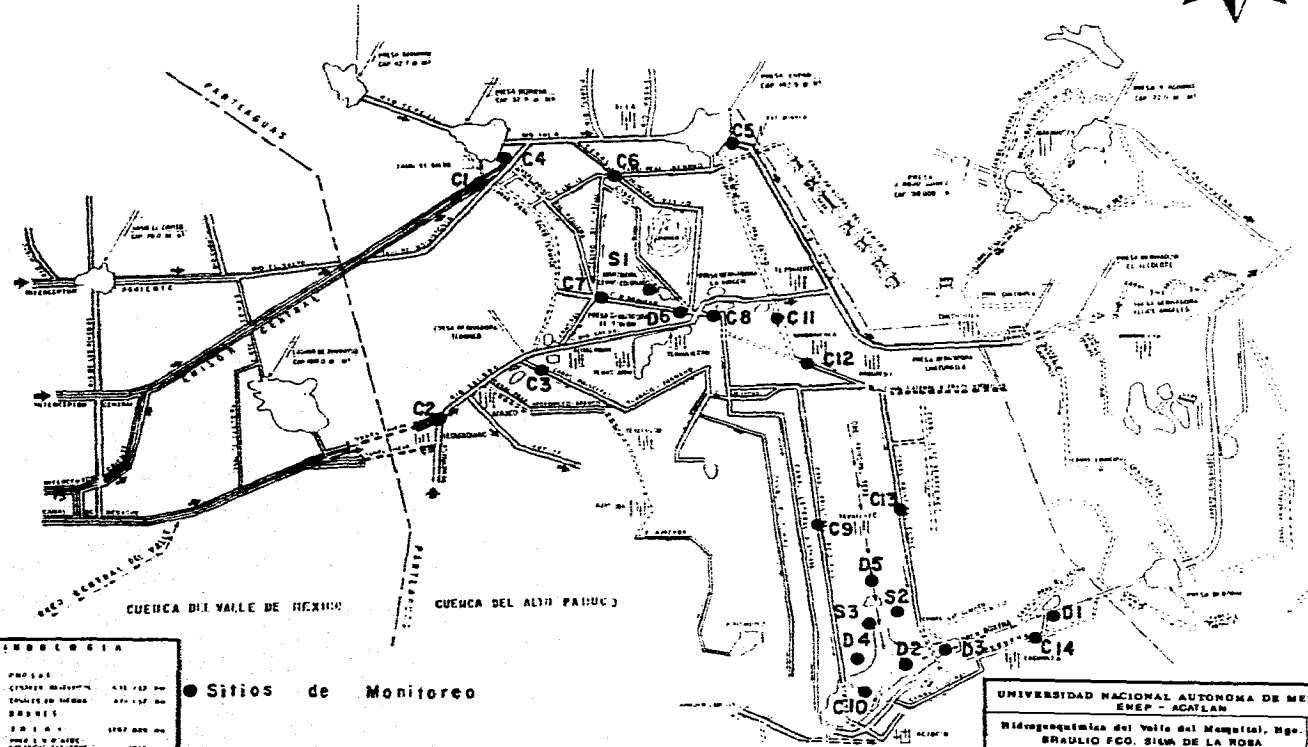
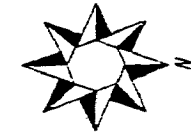
### PRUEBAS DE BOMBEO

POZO N°	T d	T d	N.E	N.D	Ta * 10-3	Tr * 10-3	INTERPRETACION
	Abat.	Recup			m2/seg	m2/seg	
G-36	4.5		40.18	41.23			NO INTERPRETABLE
G-36		2.5	40.18	40.35			NO INTERPRETABLE
G-66	5		18.3	20.79	0.72		JACOB
G-66	4		18.31	20.79		0.379	HANTUSH
G-110	2		27.51	39.83			NO INTERPRETABLE
G-110		10	27.51	39.83		0.17	HANTUSH
G-137	7		43.3	45.31			NO INTERPRETABLE
G-137		7	43.3	45.31		1.4	HANTUSH
G-251	2.5		43.69	54.24	0.59		JACOB
G-251		4	43.69	58.32		2.1	HANTUSH
G-268	6		55.75	58.32	9.9		JACOB
G-268		7	55.75	58.32		34.3	JACOB

T d = tiempo de duración

Tabla N° 8

# DIAGRAMA HIDROGRAFICO



**SEMBOLICIA**

	CANAL	1:50,000
	RIVEROS	1:50,000
	REPRESA	1:50,000
	ESTACION	1:50,000

● Sitios de Monitoreo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ENEP - ACATELAN

Hidroquímica del Valle del Mezquital, Mgo.  
BRADLIO FCO. SILVA DE LA ROSA

Fig. N° 6 TESIS PROFESIONAL

ANALISIS FISICO-QUIMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

	Ca		Mg		Na		K		Cationes
	(PPM)	(Meq/l)	(PPM)	(Meq/l)	(PPM)	(Meq/l)	(PPM)	(Meq/l)	(Meq/l)
01	62.32	3.109768	21.88	1.799849	117.7	5.11995	18.38	0.469977	10.4995434
02	72.14	3.599786	25.89	2.129711	205.97	8.959695	31.67	0.809802	15.4989943
03	64.53	3.220047	24.06	1.979176	235.4	10.2399	33.55	0.857873	16.2969961
04	39.48	1.970052	11.67	0.959974	73.1	3.17985	10.17	0.260047	6.3699231
05	70.34	3.509966	32.1	2.640546	109.88	4.77978	19.55	0.499894	11.4301855
06	60.32	3.009968	31.12	2.559931	153.79	6.689865	33.22	0.849435	13.1091996
07	59.22	2.955078	20.64	1.697846	142.02	6.17787	23.82	0.609077	11.4398718
08	70.94	3.539906	28.81	2.369911	185.26	8.05881	32.45	0.829747	14.7983731
09	72.34	3.609766	32.03	2.634788	220.04	9.57174	32.26	0.824888	16.641182
10	73.74	3.679626	29.17	2.399524	208.74	9.08019	30.54	0.780908	15.940248
11	61.32	3.059868	27.35	2.249811	125.52	5.46012	19.94	0.509866	11.2796648
12	63.73	3.180127	27.47	2.259682	155.2	6.7512	23.86	0.6101	12.8011094
13	62.98	3.142702	28.31	2.328781	154.37	6.715095	23.97	0.612913	12.7994905
14	83.76	4.179624	34.4	2.829744	243.7	10.60095	23.89	0.610867	18.2211853
15	100.4	5.00996	37.32	3.069943	154.9	6.73815	24.63	0.629789	15.4478423
16	100.4	5.00996	39.38	3.239399	179.54	7.80999	12.51	0.319881	16.3792295
17	107.41	5.359759	41.94	3.449984	181.83	7.909605	17.2	0.439804	17.1591524
18	92.66	4.623734	36.72	3.020587	235.32	10.23642	20.44	0.522651	18.403392
19	103.26	5.152674	34.68	2.852777	205.97	8.959695	16.81	0.429832	17.3949775
20	176.57	8.810843	51.1	4.203486	224.66	9.77271	9.03	0.230897	23.0179361
21	88.85	4.433615	40.31	3.315901	266.87	11.60885	14.22	0.363605	19.721966
22	83.87	4.185113	34.04	2.80013	239.91	10.43609	24.78	0.633625	18.054953
23	78.81	3.932619	33.68	2.770517	236.78	10.29993	27.94	0.714426	17.7174916

Tabla N° 7 (1/2)

**ANALISIS FISICO-QUIMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

	CO3		HC03		SO4		Cl		Aniones	pH	C.E.
	(PPM)	(Meq/l)	(PPM)	(Meq/l)	(PPM)	(Meq/l)	(PPM)	(Meq/l)	(Meq/l)		/ cm2
C1	43.8	1.45854	223.3	3.659887	40.82	0.849872	155.85	4.396529	10.36483	7.45	1047
C2	87.6	2.91708	291.03	4.769982	44.66	0.929821	364.5	10.28255	18.89943	7.67	1627
C3	89.76	2.989008	307.2	5.035008	42.41	0.882976	259.09	7.308929	16.21592	7.64	1631.8
C4	27.6	0.91908	178.76	2.929876	16.33	0.339991	95	2.67995	6.868897	6.85	666
C5	60.6	2.01798	224.53	3.680047	47.1	0.980622	151	4.25971	10.93836	7.66	1062
C6	71.7	2.38761	216.59	3.54991	75.87	1.579613	224.74	6.339915	13.85705	7.64	1326
C7	59.01	1.965033	228.06	3.737903	31.89	0.66395	181.6	5.122936	11.48982	7.61	1143.6
C8	89.11	2.967363	275.73	4.519215	46.11	0.96001	247.78	6.989874	15.43646	7.69	1549
C9	97.5	3.24675	287.55	4.712945	49.47	1.029965	269.3	7.596953	16.58661	7.72	1571.1
C10	91.8	3.05694	288.59	4.72999	44.65	0.929613	258.06	7.279873	15.99642	7.75	1603.6
C11	74.4	2.47752	236.73	3.880005	41.77	0.869651	152.78	4.309924	11.5371	7.61	1158
C12	76.21	2.537793	242.2	3.969658	37.46	0.779917	194.25	5.479793	12.76716	7.63	1275
C13	76.8	2.55744	247.71	4.059967	41.54	0.864863	183.23	5.168918	12.65119	7.67	1278.2
C14	105.01	3.496833	309.33	5.069919	79.23	1.649569	283.23	7.989918	18.20624	7.73	1830
S1	82.51	2.747583	235.5	3.859845	64.84	1.349969	190	5.3599	13.3173	7.51	1518
S2	67.7	2.25441	212.32	3.479925	48.99	1.019972	250.62	7.06999	13.8243	7.54	1643.6
S3	72.9	2.42757	209.27	3.429935	52.35	1.089927	254.16	7.169854	14.11729	7.53	1655
D1	97.26	3.238758	272.12	4.460047	66.33	1.380991	265.31	7.484395	16.56419	7.68	1841
D2	112.24	3.737592	297.3	4.872747	67.76	1.410763	271.11	7.648013	17.66912	7.65	1918
D3	86.35	2.875455	316.98	5.195302	75.23	1.566289	469.62	13.24798	22.88503	7.44	2363.6
D4	111.14	3.700962	293.36	4.80817	99.77	2.077211	285.07	8.041825	18.62817	7.59	2004.5
D5	98.387	3.276287	273.49	4.482501	62.13	1.293547	240.3	6.778863	15.8312	7.66	1800
D6	105.94	3.5278	291.25	4.773588	48.55	1.010811	279.72	7.890901	17.2031	7.81	1772.7

Tabla N° 7 (22)

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO  
Project : tesis  
Organization : CIAA-UNAM

### VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

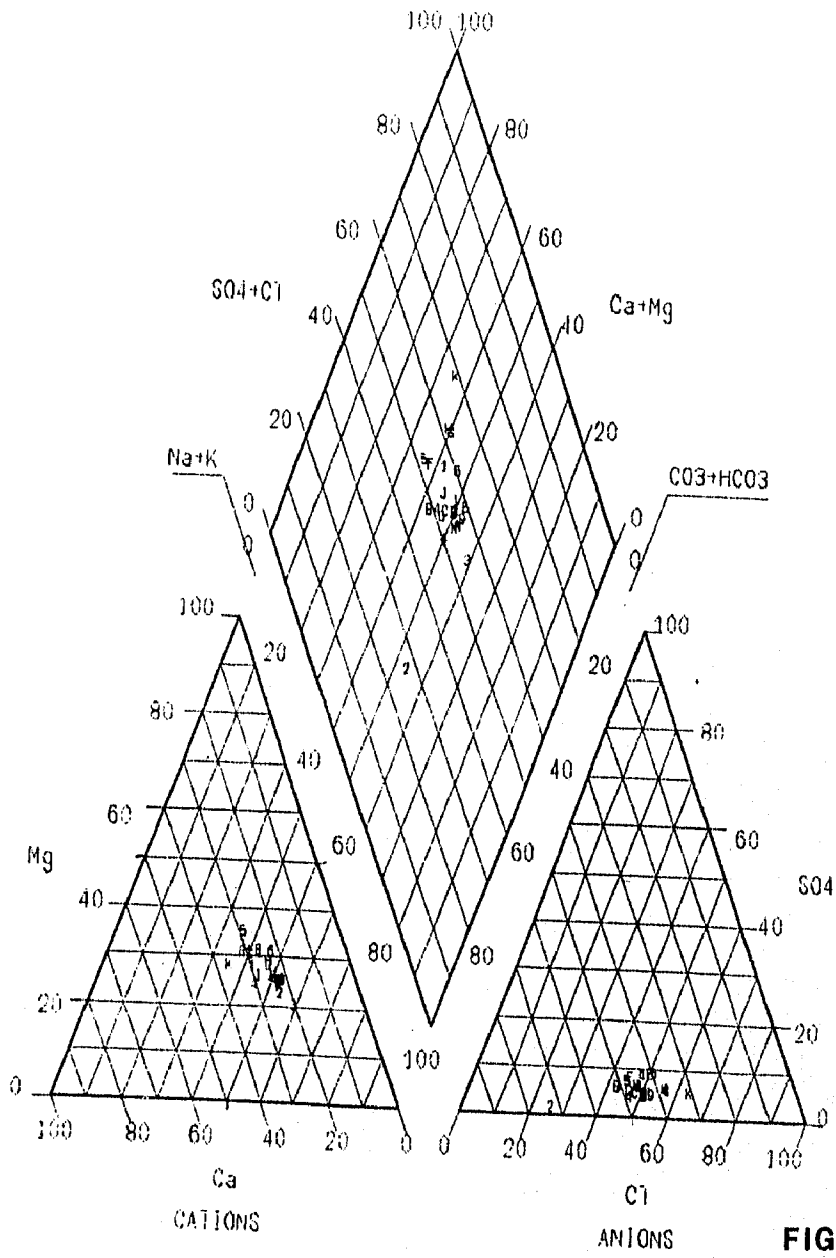
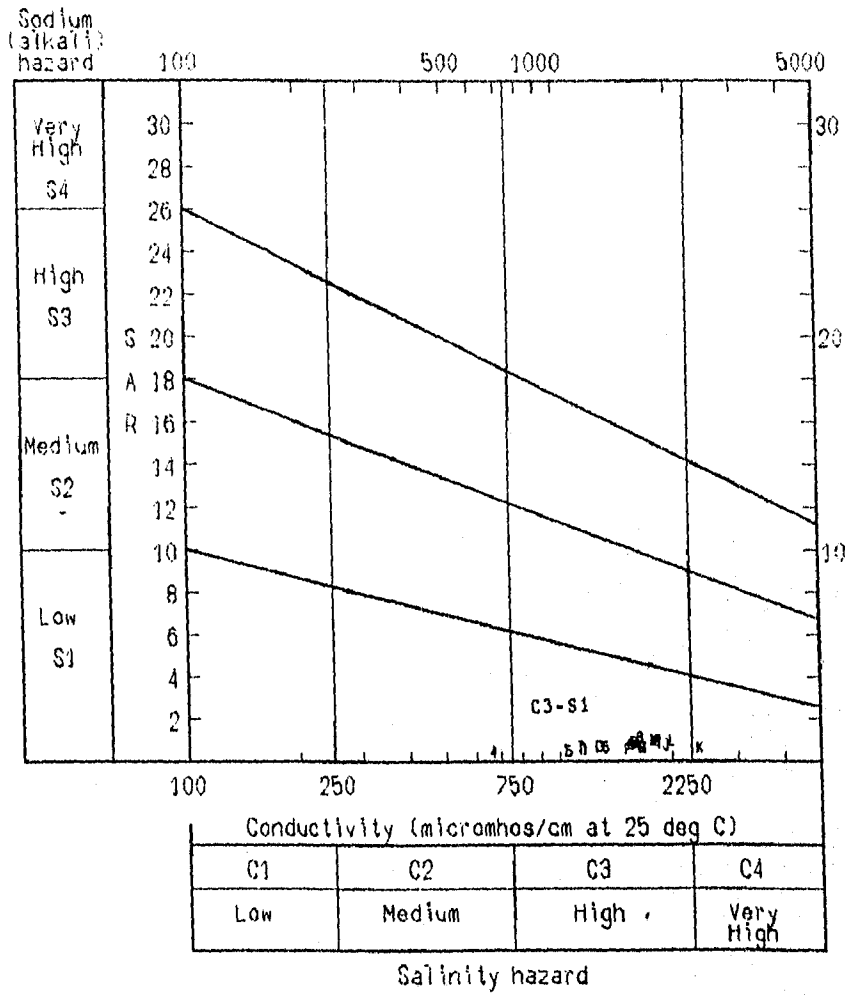


FIG N°7

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO  
 Project : tesis  
 Organization : CNA/UNAM

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO



VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO FIG N°8



El método de Jacob, derivado del método de Theis consiste en ajustar una recta a los puntos de la gráfica del abatimiento (ó recuperación), calculando el coeficiente de transmisividad mediante la expresión siguiente:

$$T = \frac{0.183 * Q}{S}$$

Donde: T = Transmisividad en m<sup>2</sup>/seg.  
Q = Caudal de extracción constante en m<sup>3</sup>/seg.  
S = Pendiente de la recta de ajuste en m.

En casi todas las pruebas realizadas en la zona de Tula, el nivel dinámico se estabilizó o mostraba una clara tendencia a ello, sugiriendo un semiconfinamiento del acuífero; en dicha zona propiamente, el valor de la transmisividad media obtenida fue de  $1.43 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg}$ . La presencia de depósitos lacustres reducen considerablemente su permeabilidad al intercalarse continuamente estratos arcillosos con los conglomerados de arenas. En el área ubicada al norte de este valle y en los alrededores de la población de Tepatepec, la transmisividad media es de  $4.9 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg}$ . Comportándose el acuífero como libre, el cual se encuentra contenido en rocas basálticas. Por último en el valle de Actopan - San Salvador, se calculó un valor de transmisividad relativamente homogéneo con variaciones locales relacionadas con la presencia de estratos mas arcillosos o compactos; la transmisividad calculada para esta área es de  $3.78 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg}$ .

En ella pueden observarse dos áreas localizadas inmediatamente al sur de Actopan y al noreste de San Salvador donde caen los valores más bajos, mientras que más al norte de San Salvador, los valores oscilan entre  $5.4$  y  $7.3 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg}$ . Dicha distribución de valores más uniformes, se cree que es debida a la homogeneidad del acuífero, siendo que en esta área el Grupo Pachuca ( material piroclástico alternando con tobas, arenas y colados basálticos ) ocupa y representa una gran extensión del acuífero explotado.

### III.2.2 PIEZOMETRIA

La historia piezométrica en el Valle del Mezquital, Hidalgo se inicia en 1966, año en que la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México efectuó el censo de pozos y la correspondiente lectura de sus niveles estáticos. En Diciembre de 1967, la Dirección de Aguas Subterráneas con residencia en Hidalgo se encargó de efectuar una segunda lectura; Posteriormente en 1969-1970, se realizó el primer estudio Geohidrológico del Valle del Mezquital.

Con la necesidad de seguir conociendo la piezometría se llevaron a cabo mediciones hasta fines de 1974 suspendiéndose por razones desconocidas hasta el año de 1979. En febrero de 1980 se tomaron datos solo del área de Actopan-San Salvador y en el año de 1981 se llevó a cabo el segundo estudio geohidrológico de la zona del Mezquital, denominado "Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle del Mezquital, Hidalgo". En 1983 se inició el estudio de factibilidad para el proyecto Xotho llevándose a cabo la medición de los niveles de agua en la zona de Actopan. Por otro lado en el año de 1991 se realiza la piezometría en los valles Tula - Actopan durante los meses de febrero y mayo obteniéndose datos de 175 obras de los cuales 160 son pozos, 5 norias y 10 manantiales. Con ayuda de los estudios y la Gerencia Estatal de Hidalgo se ha logrado tener en el último censo 1992, un total de 221 aprovechamientos de aguas subterráneas de donde se deriva que existen 152 aprovechamientos activos, es decir, en servicio y 69 inactivos por causas como el azolvamiento, reparación de equipo de bombeo, mantenimiento del pozo, etc. Del total de aprovechamientos, 158 son pozos profundos, 56 son norias excavadas a cielo abierto y 7 corresponden a manantiales. Referente a las norias, existe un buen número adicional a las ya censadas, principalmente en el área urbana y semiurbana de Actopan, donde no es exageración decir que existe una noria por casa.

En la tabla N° 9 se presenta la clasificación de los aprovechamientos censados de acuerdo al uso a que se destinan las aguas, destacando por su número el uso agrícola con 92 aprovechamientos; le sigue en importancia numérica el casillero sin clasificar con 45 aprovechamientos; con 43 son destinados al uso doméstico y 26 al uso municipal.

Los usos siguientes agrupan a los restantes 15 aprovechamientos y se refieren al ganadero, industrial, estudios y usos combinados como agrícola-ganadero, agrícola-doméstico, agrícola-industrial y agrícola-recreativo; el volumen extraído en estos últimos usos es más importante que el que se le dedica a la agricultura.

#### PROFUNDIDAD TOTAL DE LAS OBRAS DE CAPTACION

Norias.- la profundidad total varía de los tres a los 40 m para la zona de Tula y en la región de Actopan va de los tres a 30 m; la mayoría de estas captaciones están distribuidas en el Valle de Tula-Apasco y en los estrechamientos de Tezontlalpe y Tepatopéc; en menor proporción se localizan en el Valle de San Salvador-Actopan en los alrededores de el Arenal. En general las norias se encuentran ubicadas en las márgenes de los ríos Tula y Salado, así como en algunos arroyos y tributarios.

Por lo que respecta a la profundidad de los pozos, ésta solo fue posible obtenerla para 85 pozos. Aunque esta cantidad equivale al 55% aproximadamente del total, la información así recabada puede tomarse como un muestreo representativo de estas captaciones en el Valle.

**CLASIFICACION DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUA  
SUBTERRANEA POR USOS**

USO	Nº POZOS	Nº NORIAS	Nº MANANTIALES	TOTALES
AGRICOLA	87	3	2	92
DOMESTICO	5	38	0	43
MUNICIPAL	24	1	1	26
GANADERO	4	0	0	4
AGRICOLA- GANADERO	1	0	0	1
AGRICOLA- DOMESTICO	1	0	0	1
AGRICOLA- INDUSTRIAL	1	0	1	2
AGRICOLA- RECREATIVO	1	0	3	4
INDUSTRIAL	0	2	0	2
ESTUDIO	1	0	0	1
SIN CLASIFICAR	33	12	0	45
<b>TOTALES</b>	<b>158</b>	<b>56</b>	<b>7</b>	<b>221</b>

Tabla Nº 9

# DISTRIBUCION DE POZOS Y NORIAS POR PROFUNDIDAD DE PERFORACION

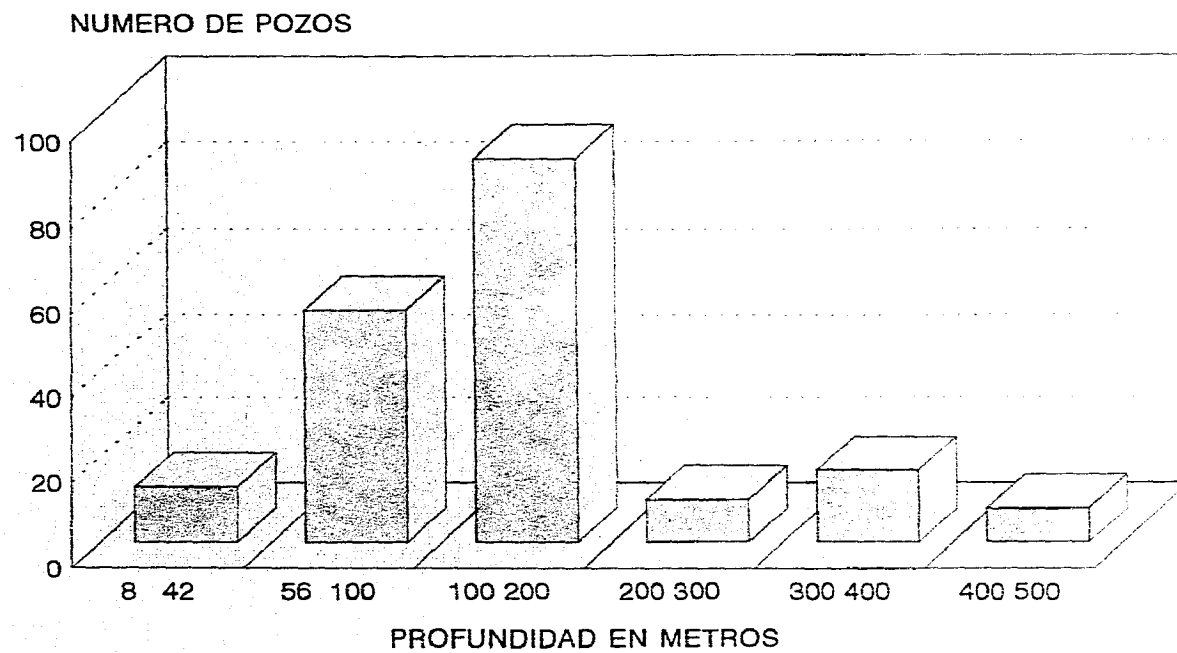


Figura N° 9

De dicha información se desprende que el 60% de los pozos tienen profundidades entre 100 y 200 m; un 20% entre 50 y 100 m; y el 20% restante entre 200 y 450 m (Fig N° 9). De manera muy general la profundidad total para la zona de Tula se encuentra entre 80 y 438 m y para la zona de Actopan varía de 90 y 180 m.

#### PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

La zona de Tula - Apasco, guarda el siguiente esquema: al occidente del estrechamiento Apasco - Atotonilco se tienen profundidades entre 50 y 70 m; al oriente del estrechamiento y sobre la margen derecha del río Salado la profundidad es de 90 m. Sobre las vegas del río Salado en las zonas del estrechamiento y aledañas las norias tienen profundidades entre 22 y 25 m, misma que disminuye al sur de Atotonilco y entre el poblado de Atotonilco y el de Atitlaquia se manifiestan profundidades que van de 12 a 18 m. Hacia el occidente de la porción anterior, en la margen derecha del río Tula y en los alrededores del Salto hay norias con profundidades de 45 y 50 m. También en esta área hay norias con profundidades someras de 10 m.

Entre la presa Requena y Tepeji del Río las norias tienen una profundidad de 45 m. En esta misma área existen dos norias cuyas profundidades al nivel del agua varían de cuatro a nueve m. A lo largo del río Tula y entre las presas Requena y Endhó, la profundidad al nivel del agua oscila, de 20 m en la porción de la margen derecha a 40 m en las vecindades del cauce. En la zona de Tlaxcoapan hacia las estribaciones de la sierra Tezontlalpan las profundidades aumentan desde 20 a 40 m. En el área de Mangas la presencia de cuatro pozos brotantes permiten delinear en su entorno, la curva cero, mientras que alrededor de Mangas, se tienen puntos con profundidades de 10 en las proximidades de Mangas, de 40 al sur de Huitel y de 60 en las áreas de Mixquiahuala y Progreso de Obregón. En los poblados de Santiago Tezontlale - Zaragoza se tienen profundidades de 25 a 90 m y de ocho y nueve m en las norias de Ajacuba. plano N° 1

En la parte sur del Valle de Actopan, en los alrededores del Arenal, hay profundidades que van de los 40 a los 70 m, mismas que decrecen hacia Actopan donde se tienen profundidades de 10 m. En la zona de San Salvador, existen pozos brotantes que delimitan la curva cero. Al norte del área de los poblados de Caxuxi, Lagunilla, La Estancia y Santiago de Anaya, las profundidades se incrementan hasta los 80 m.

En el corredor que une el Valle de Progreso de Obregon y Mixquiahuala con el de Actopan - San Salvador, las norias tienen profundidades de 60 a diez m decreciendo estas de poniente a oriente.

## DIRECCION DEL FLUJO SUBTERRANEO

"En las configuraciones de elevaciones del nivel estático la influencia de la topografía es eliminada, ya que la posición de los niveles del agua es llevada a un mismo nivel de referencia, como el nivel medio del mar." (Geocalli, 1981)

De esta forma, el trazo de curvas de igual elevación a los niveles del agua y de líneas de corriente, conforman un esquema de flujo subterráneo cuya interpretación permite inferir direcciones preferenciales de flujo, zonas de recarga y descarga y en forma cualitativa las condiciones de explotación que guarda un acuífero determinado.

La configuración de elevación del nivel del agua, fue preparada con apoyo en las observaciones realizadas en todos los aprovechamientos del valle en que fue posible tomar la lectura del nivel estático. Por tanto se realiza el esquema del flujo subterráneo del valle estudiado y parcialmente de la zona norte de Zumpango que se encuentra fuera de los límites del área en estudio.

En el Valle Tula - Apasco, el sentido del flujo subterráneo es de sur hacia el suroeste, desde las cercanías de Atotonilco con una elevación de 2150 m, hasta la zona comprendida entre Tlahuelliapan de Ocampo y la vía del ferrocarril México - Tepeji sobre las equipotenciales de 2020 y 2030 m.

Las lecturas realizadas del nivel del agua, permitieron delinear la configuración de elevaciones del nivel piezométrico en la margen izquierda del río Tula, en el área comprendida entre Tepeji del Río y Tula. El esquema del flujo en esta área muestra una circulación del agua subterránea hacia el cauce del río desde la elevación 2100 a la 2050 m. El esquema de flujo subterráneo en el Valle de Tula - Apasco, no muestra deformaciones por sobreexplotación, a pesar de encontrarse en esa zona los pozos de Pemex y Comisión Federal de Electricidad.

Hacia el norte del área donde se lleva a cabo la explotación de agua para fines industriales, el flujo del agua subterránea se bifurca; una pequeña porción se dirige hacia el río Tula sobre la zona de salida de la presa Endiño y la porción restante, se dirige hacia la zona de Mixquiahuala siguiendo la misma dirección del escurrimiento superficial de los ríos Tula y Salado. El flujo se establece desde la curva 2010 m hasta la curva 1950 m

El manantial Cerro Colorado situado en el límite norte del Valle de Tula - Apasco se encuentra situado topográficamente en las proximidades de la cota 2040 m; sobre dicho manantial se define la elevación del nivel piezométrico 2040, lo que indica que el manantial es una descarga representativa del flujo subterráneo.

La elevación 1950 entre Mixquiahuala - Tezontepac y la Colonia Veracruz indica que el agua subterránea sigue una dirección hacia el norte, siguiendo la dirección del

escurrimiento del río Tula, habiéndose delineado la de 1930 m alrededor del poblado de Xochitlán. En los alrededores del poblado de Tepetepéc ya que en la porción centro - oriental de la zona, se define un parteaguas dinámico definido por la equipotencial 1950 m. En esta zona una pequeña fracción de dicho flujo se dirige hacia la zona de Jagüey Blanco y la mayor parte hacia el valle de Actopan - San Salvador, donde fue delineada con la equipotencial de 1930 m. plano N° 2

### III.2.3 RECARGA Y DESCARGA DEL SISTEMA ACUIFERO

La recarga natural de los acuíferos en el Valle del Mezquital se da por diversos procesos que son la infiltración producto de la precipitación que captan las rocas que presentan un intenso fracturamiento, las cuales se encuentran expuestas en sierras y lomeríos, entradas horizontales provenientes de otros estados; además de presentar recarga inducida a partir de la infiltración de los excedentes del agua de riego del Distrito de Riego 03 siendo esta la más importante, de los escurrimientos superficiales de los ríos Tula y Salado en el lado sur, y del arroyo Chicavasco y río Actopan en la porción noreste; así como de los cuerpos de agua como lo son presas y lagunas.

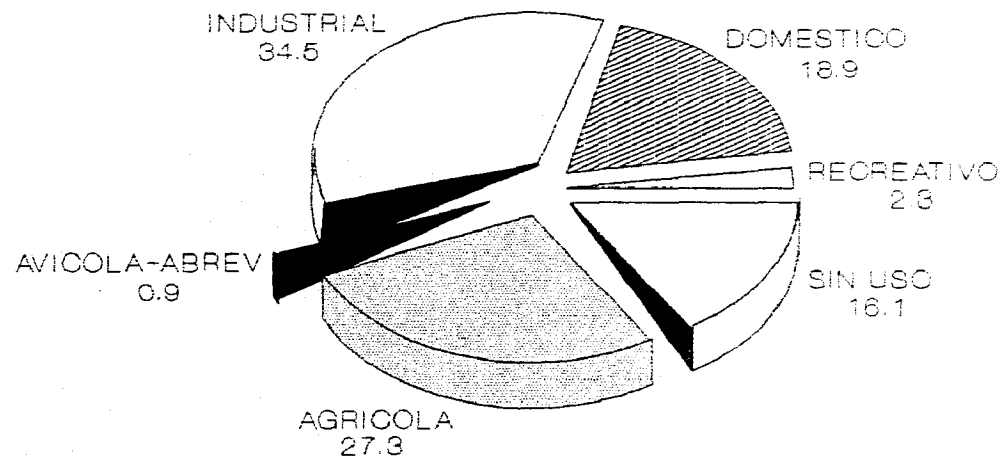
La descarga de los acuíferos se encuentra compuesta por las salidas horizontales hacia otros estados. Pero además como el área se encuentra afectada especialmente en la zona de Mangas-Tlahuellián-San Salvador por la presencia de niveles de aguas someras en estas áreas la evapotranspiración es muy fuerte. Otra fuente de descarga la presentan los manantiales de los cuales el más importante es el Cerro Colorado. El área de Actopan se encuentra además afectada por descargas subterráneas con rumbo a Ixmiquilpan.

Otra forma de descarga del acuífero, es la extracción por bombeo en las zonas sur y noreste, la extracción por bombeo es relativamente menor en comparación con el centro de la zona de estudio que es mucho mayor.

### DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA

La distribución del agua subterránea se presenta en la (Fig N° 10), la cual nos indica que el mayor porcentaje de utilización de agua subterránea es para el uso industrial con un 34.5%, en segundo término el riego agrícola tiene un 27.3%, el tercer lugar lo ocupa el uso doméstico con 18.9% y el cuarto lugar lo ocupa el volumen sin uso, producto de los manantiales 16.1%; ya por último se tiene el recreativo y el de abrevadero con 2.3% y 0.9% respectivamente. La cantidad mencionada de "sin uso" es aquella que no se puede controlar el gasto de salida de los manantiales, lo cual provoca un desperdicio del agua.

## USO DEL AGUA SUBTERRANEA VALLE DEL MEZQUITAL, HGO.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		I C I V I L
ENEP - ACATLAN		
Hidrogequímica del Valle del Mezquital, Hgo		N G
BRAULIO FCO. SILVA DE LA ROSA		
FIG. N° 10	TESIS PROFESIONAL	



## **IV.- HIDROGEOQUIMICA**

### **GENERALIDADES**

La hidrogeoquímica puede apoyar a los estudios hidrogeológicos y tiene dos aplicaciones prácticas principales: la primera consiste en ayudar a conocer en una forma cuantitativa, el funcionamiento de los acuíferos y la segunda en poner de manifiesto la calidad del agua de los mismos. La composición química del agua está en íntima relación con el funcionamiento general del acuífero, ya que la concentración, tanto de sales totales como de cada elemento, dependen del tipo de material a través del cual circula; de la permeabilidad y porosidad del medio, del tiempo de residencia de las aguas subterráneas que juega un papel muy importante permitiendo, cuando es lenta, un mayor enriquecimiento en la composición química de las aguas por el mayor contacto con la roca por donde transita y de la longitud del recorrido.

Por otra parte, cuando la composición química del agua que alimenta o recarga a los acuíferos está mezclada con algunas soluciones, sales minerales, compuestos orgánicos o desechos industriales, el comportamiento hidrogeoquímico de los acuíferos se puede alterar, ya que dichos compuestos pueden modificar la composición del agua.

### **CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA**

Esto ocurre cuando los contaminantes se infiltran hasta las aguas subterráneas, y comúnmente está causada por una descarga no controlada en la superficie. Pueden ocurrir problemas serios persistentes y aun irreversibles en los acuíferos y deterioros en la calidad de los abastecimientos de agua ya que nadie puede ver lo que está sucediendo debajo de la tierra.

Las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos contienen altas concentraciones de organismos fecales, de materia orgánica y de compuestos de nitrógeno. Si se descargan o se infiltran en el subsuelo, el agua subterránea puede contaminarse por patógenos bacteriales y virales incluyendo aquellos que causan diarrea, tifoidea y hepatitis. Estos pueden convertir el agua en no potable en base a su peligro sobre la salud.

Numerosas industrias producen desechos líquidos, conocidos como efluentes, con concentraciones elevadas de compuestos orgánicos peligrosos y metales pesados. Aún en muy bajas concentraciones algunas de estas sustancias químicas son tóxicas, carcinogénicas o mutagénicas, dichos efluentes penetran en el agua subterránea por infiltración de las lagunas, ríos y fracturas en el suelo o roca.

## IV.1 MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA

Se tomaron 36 muestras de agua en la zona de estudio.

En dichos aprovechamientos se efectuaron pruebas de campo como: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), y oxígeno disuelto. En las pruebas de laboratorio se obtuvieron la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, dureza total y alcalinidad total. Así mismo los iones de calcio, magnesio, sodio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y potasio; también se determinaron algunos metales pesados. Los resultados se muestran en la Tabla N° 10

De las muestras obtenidas, parte de ellas fueron analizadas en el laboratorio de la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua ( CNA ) en Pachuca, Hgo; y parte fueron enviadas a Inglaterra para su análisis como parte del convenio firmado entre la CNA y el British Geological Survey ( BGS ) para la elaboración del proyecto del Valle del Mazquital.

## IV.2 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

### TEMPERATURA

Las aguas muestreadas registraron valores de temperatura poco variables entre los 21 y 24 ° C; también se encontraron temperaturas bajas las cuales oscilan entre los 18 y 19 ° C y las temperaturas mas altas son de 28 y 31 ° C respectivamente.

### CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ( C.E. )

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad y representa el método más rápido, sencillo y económico para estimar su calidad química, ya que es proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua. En las muestras analizadas se puede observar que al haber un incremento en los STD también lo hay en la conductividad. La unidad de medida es el mhos/cm, recíproco del ohm el cual se utiliza para medir la propiedad inversa: la resistividad; sin embargo se usa el micromho debido al hecho de que la mayoría de las aguas naturales tienen conductividades inferiores a 1 mhos/cm. El agua químicamente pura tiene una C.E. muy baja, aproximadamente 0.055, el agua destilada varía de 0.5 a 5, el agua de lluvia entre 5 y 30, y el agua subterránea de 30 a 5000 micromhos/cm.

Los valores de baja conductividad pueden indicar fuentes de alimentación a los acuíferos, mientras que los valores de mayor conductividad indican zonas con bajas permeabilidades en la cual existe una mayor rapidez del agua residual al infiltrarse y también se debe a una mayor lentitud de circulación del agua subterránea.

### POTENCIAL DE HIDROGENO ( pH )

Para determinar el caracter de acidez o alcalinidad del agua se realiza la medición del pH, que al igual que las dos propiedades anteriores, su lectura se lleva a cabo en campo, al momento de la toma de la muestra. Los valores de pH menores de 7.0 indicaran la presencia de aguas ácidas y cuando sobrepasan dicho valor se consideraran aguas alcalinas.

Los valores del pH en la zona de estudio en su mayoría sobrepasan el valor de 7.0 lo cual nos indicaría que predomina agua alcalina; se cuentan con 11 muestras que tienen valores iguales y menores de 7.0; 4 de estas muestras indican presencia de aguas ácidas y las 7 restantes son de aguas neutras.

A continuación se presentan algunos factores que hacen que afecten o varíe el pH :  
Mayor de 8.5 se asocian con aguas carbonatadas y sódico bicarbonatadas .  
De 8.5 a 7.1 se asocian con aguas de gran concentración de bicarbonatos.  
De 7.0 a 4.0 se asocian con pequeñas concentraciones de minerales ácidos de fuentes sulfurosas o con ácidos orgánicos.  
Menores de 4.0 se asocian con aguas de ácidos libres.

### SOLIDOS TOTALES DISUELTOS ( STD )

Son las sustancias que se encuentran disueltas en el agua como resultado de la disolución de los minerales que constituyen las rocas y suelos por los que esta circula. Aunque representan el residuo que queda al evaporar el agua, no siempre son indicativos de la suma total de todas las concentraciones iónicas analizadas, ya que durante el proceso de evaporación se pierden los iones volátiles y los bicarbonatos se transforman en carbonatos.

En ese sentido, su valor proporciona un índice del ataque del agua sobre las rocas y de la solubilidad y facilidad de remoción de las sales minerales del subsuelo.

De cualquier manera como los elementos volátiles se encuentran en concentraciones muy bajas, el valor de STD se considera representativo de la suma de los iones disueltos en el agua. La determinación de esta propiedad es de utilidad práctica, ya que de ella depende el uso apropiado que se le dará al recurso.

Los valores más bajos de STD se presentan en los aprovechamientos localizados cerca o en las partes altas de los valles, de donde proviene la recarga, incrementándose hacia el centro de los mismos por mayor distancia recorrida y en las partes bajas de las cuencas por efecto de la evaporación, e influenciadas por la trayectoria preferencial del flujo subterráneo. plano N° 3

En la zona de estudio contamos con dos tipos de agua debido al contenido de STD. De las 36 muestras, 13 de ellas muestran agua de tipo dulce debido a que no exceden las 1000 ppm; las 23 restantes cuentan con aguas de tipo salobre las cuales sobrepasan las 1000 ppm permisibles.

## CATIONES

### ION SODIO ( $\text{Na}^+$ )

El sodio proviene del agua de mar y por la disolución de rocas; esta presente en minerales evaporíticos, por feldespatos, y otros silicatos contenidos en rocas ígneas, del lavado de sedimentos de origen marino, de la mezcla con el agua de mar y por contaminación urbano - industrial. Tiene alta solubilidad y difícilmente precipita como el calcio y el magnesio; generalmente se encuentra asociado al ión cloruro (  $\text{Cl}^-$  ); aunque no siempre sucede así.

Las aguas dulces varían entre 1 y 150 ppm no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores hasta varios miles de ppm. El agua de mar tiene alrededor de 10000 ppm, la salmuera naturales pueden llegar a tener 100000 ppm, siendo un límite que rara vez se sobrepasa el de 500 meq/l ( aprox. 110000 ppm ).

Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas porque reducen la permeabilidad de los suelos y son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas.

### ION CALCIO ( $\text{Ca}^{2+}$ )

El calcio es un constituyente importante de las rocas por lo que es común encontrarlo disuelto en las aguas subterráneas, presentándose en forma disociada como ion bivalente  $\text{Ca}^{++}$ . Es muy soluble y precipita fácilmente como  $\text{CaCO}_3$  cuando hay variaciones en el pH o la presión de  $\text{CO}_2$ . Junto con el magnesio (  $\text{Mg}$  ) contribuye a la dureza del agua.

En aguas dulces se tienen concentraciones entre 10 y 250 ppm, pudiendo llegar a 600 ppm en aguas sulfatadas ( alto contenido de sulfatos ). El agua de mar contiene alrededor de 400 ppm; en el agua de lluvia se presentan concentraciones menores de 1 ppm.

Procede principalmente de la disolución de las rocas carbonatadas como la caliza y la dolomía, del yeso y la anhidrita, así como de las rocas detríticas que tienen como cementante al  $\text{CaCO}_3$ . En menor proporción se origina del ataque de los feldespatos y otros silicatos cálcicos y de la concentración del agua de lluvia.

### **ION MAGNESIO ( $Mg^{++}$ )**

Es un componente importante en las rocas ígneas y de algunas rocas carbonatadas como las dolomías. Su presencia en las aguas subterráneas se debe a diferentes causas; disolución de dolomías y calizas dolomíticas, ataque sobre los silicatos magnésicos y ferromagnesianos; así como por contaminación industrial y minera.

Es más soluble que el calcio y es más difícil de precipitar; el magnesio junto con el ion calcio son los principales responsables de la dureza del agua. En aguas dulces se tienen concentraciones entre 1 y 100 ppm pudiendo llegar a veces a algunos miles de ppm en aguas salinas o salmueras. El agua de mar contiene 1200 ppm. Cuenta con propiedades laxantes y de sabor amargo al agua de bebida si hay algunos centenares de ppm.

### **ANIONES**

#### **ION CLORURO ( $Cl^-$ )**

Generalmente se asocia al ion sodio ( Na ), en especial a las aguas muy salinas. Las concentraciones varían entre 10 y 250 ppm en aguas dulces, no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores, hasta varios miles de ppm, el agua de mar llega alcanzar hasta 21000 ppm. Cuando se tiene una concentración de más de 300 ppm en el agua esta adquiere un sabor salado, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm.

La mayor parte del cloruro presente en el agua subterránea se debe al lavado de sedimentos de origen marino; mezcla con el agua de mar en las zonas costeras; disolución de la sal común y de los minerales de las rocas evaporíticas, ya en menor proporción procede de algunos minerales que constituyen las rocas ígneas y metamórficas y por contaminación urbana e industrial.

#### **ION SULFATO ( $SO_4^{-2}$ )**

El ion sulfato proviene de la disolución de rocas evaporíticas como son el yeso y la anhidrita; del lavado de materiales formados en un ambiente marino; de la concentración del agua de lluvia en el suelo; oxidación de los sulfuros que contienen las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias; y por contaminación urbana, industrial y agrícola.

La mayoría de los compuestos sulfatados se disuelven fácilmente en el agua. Entre los compuestos más comunes que se encuentran en la naturaleza, el sulfato de bario es el menos soluble. Las aguas selenitosas ( alto contenido en sulfatos ) no quitan la sed y tienen un sabor poco agradable y amargo. Por sí mismo o si va asociado a Mg o Na en cantidades importantes puede comunicar propiedades laxantes.

De manera muy general los valores más bajos están en los aprovechamientos localizados en las partes topográficamente más altas, donde tiene lugar la recarga, y va en aumento hacia el centro (partes más bajas)

#### IONES BICARBONATO Y CARBONATO ( $\text{HCO}_3^-$ ) Y ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

Existe una profunda relación entre el  $\text{CO}_2$  gas,  $\text{CO}_2$  disuelto,  $\text{HCO}_3^-$  y pH; se puede precipitar con mucha facilidad como  $\text{CaCO}_3$

Los bicarbonatos y carbonatos provienen de la incorporación del dióxido de carbono en el agua y de la disolución de rocas carbonatadas como lo son las calizas y las dolomías. Los bicarbonatos son solubles mientras que los carbonatos son insolubles con excepción de los carbonatos de sodio, potasio y amonio.

El ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) tiene concentraciones entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 ppm. El agua de mar tiene alrededor de 100 ppm. El ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) está en concentraciones mucho menores que el  $\text{HCO}_3^-$ . El agua de mar tiene menos de 1 ppm. Las aguas bicarbonatadas son malas para el riego, debido a la fijación del Na en el terreno y la creación de un medio alcalino.

#### METALES PESADOS

Los estudios realizados al respecto, revelan que la mayor contaminación en suelos se presenta en los primeros 30 cm y que están afectados principalmente por Cromo, Cobre, Hierro, Plomo, Zinc, Cadmio y Boro, los cuales se incrementan continuamente, además de que las aguas residuales para riego presentan altos contenidos de salinidad y alcalinidad.

A continuación se mencionan algunos elementos con sus repercusiones en la actividad humana.

#### ZINC

El zinc es un metal, el cual parece ser un elemento traza crítico nutriente reconocido como tal desde 1930. Los síntomas por deficiencia de zinc pueden presentarse de diferentes formas, incluyendo enanismo, dermatitis, pérdida de la sensibilidad del gusto, lenta recuperación de las heridas. El consumo óptimo de zinc debería ser de 5-40 mg/día. En una dosis aproximada de 150 mg/día puede causar anemia; una cantidad de aproximadamente 6000 mg/día es letal para el ser humano.

## **COBRE**

El cobre es un nutriente esencial para los animales y es crítico para actividades tan diversas como la síntesis del grupo hemo, el metabolismo del tejido conjuntivo, el desarrollo óseo y la función nerviosa. La concentración promedio de cobre en el ser humano adulto es de 1.5 a 2.5 ug por gramo de tejido libre de grasa; el elemento se concentra en el hígado, corazón, cerebro, riñones y pelo.

En diversas enfermedades agudas y crónicas se encuentran concentraciones elevadas de cobre en suero, las cuales parecen ser una manifestación o respuesta a la tensión. El envenenamiento agudo debido a ingestión de cobre metálico se manifiesta con náuseas, vómito, hematemesis y melena, y puede acompañarse de necrosis hepática. La rápida absorción cutánea del sulfato de cobre, como el empleado en el tratamiento de las quemaduras o en algunos equipos de diálisis, ha causado anemia hemolítica aguda. La acumulación exagerada de cobre se observa en la enfermedad de Wilson, en la cirrosis biliar primaria y en la absorción crónica oxtahopática de los conductos biliares.

## **CADMIO**

La intoxicación se presenta después de la ingestión de alimentos ácidos preparados en recipientes cubiertos de cadmio. El ejemplo clásico es la limonada servida en recipientes de metal. Casi 10 minutos después de la ingestión se presentan los síntomas de náuseas, vómito, diarrea y postración. En general los síntomas desaparecen en un plazo de 24 horas. En la industria, la inhalación de vapores de cadmio produce neumonitis aguda sumamente grave.

## **PLOMO**

El envenenamiento por plomo resulta de la inhalación de humos procedentes de acumuladores quemados, soldadura, pinturas en aerosol o procesos que requieren la mezcla de plomo. En adultos es menos importante la ingestión de materiales que contengan plomo como pintura o agua que se haya almacenado en pipas de plomo, etc. El whisky contaminado con soldadura de plomo en las tuberías de los alambiques ha sido responsable de muchos casos de envenenamiento.

En la actualidad, la forma de envenenamiento más comúnmente encontrada es la intoxicación en niños que ingieren pinturas para exteriores que contienen plomo. Estas pinturas con frecuencia se utilizan en interiores de casas. El plomo también se encuentra en la soldadura utilizada para unir las tuberías hidráulicas. La mayor parte del plomo absorbido se deposita en los huesos; la sangre, la orina y en las materias fecales solo contienen pequeñas cantidades.

ANALISIS QUIMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS REALIZADOS EN JUNIO DE 1994

NUM SEC	SITIO MUESTREADO	TEMP °C	PH	STD mg/l	NA mg/l	K meq/l			CA mg/l		MG mg/l		Cationes meq/l		HCO3 mg/l	
1	SI TEPAL DEL BHO	24	6.39	335.30	37.4	1.6	8.0	0.2	27.9	1.4	14.1	1.16	4.38	221	3.62	
2	SI TEPAL DEL BHO	21	7.05	582.40	103.0	4.5	21.8	0.6	25.2	1.3	15.4	1.27	7.56	377	6.18	
3	SI TEPAL DEL BHO	25	7.26	455.60	52.6	2.3	20.6	0.5	40.5	2.0	18.8	1.55	6.38	250	4.10	
4	SI TEPAL DEL BHO 2	24	6.85	2609.70	139.0	6.0	33.5	0.9	451.0	22.5	99.2	8.16	37.57	447	7.33	
5	SI TEPAL DEL BHO	19	7.92	937.30	115.0	5.0	38.6	1.0	90.9	4.5	24.3	2.00	12.52	439	7.20	
6	SI TEPAL DEL BHO	24	7.41	2008.50	142.0	6.2	39.0	1.0	301.0	15.0	86.5	7.12	29.31	354	5.80	
7	SI TEPAL DEL BHO	18	7.96	1221.30	209.0	9.1	36.2	0.9	88.5	4.4	32.6	2.68	17.11	561	9.19	
8	SI TEPAL DEL BHO	18	7.94	1307.40	228.0	9.9	39.9	1.0	91.4	4.6	38.1	3.13	18.63	561	9.19	
9	SI TEPAL DEL BHO	24	7.50	667.60	101.0	4.4	24.4	0.6	34.1	1.7	38.0	3.13	9.84	306	5.02	
10	SI TEPAL DEL BHO	23	7.20	1317.10	191.0	8.3	50.8	1.3	78.2	3.5	81.1	6.67	19.78	545	8.93	
11	SI TEPAL DEL BHO	31	7.05	1036.60	268.0	11.7	18.3	0.5	16.7	0.8	21.6	1.78	14.74	431	7.06	
12	SI TEPAL DEL BHO	26	7.06	1246.90	353.0	15.4	15.2	0.4	17.9	0.9	10.8	0.89	17.53	522	8.56	
13	SI TEPAL DEL BHO	21	7.31	854.90	131.0	5.7	19.7	0.5	69.6	3.5	27.1	2.23	11.90	423	6.93	
14	SI TEPAL DEL BHO	20	7.06	1245.90	191.0	8.3	32.7	0.8	79.2	4.0	61.0	5.02	18.11	541	8.87	
15	SI TEPAL DEL BHO	19	7.20	1625.20	331.0	14.4	26.8	0.7	55.2	2.8	69.2	5.69	23.53	779	12.77	
16	SI TEPAL DEL BHO	22	7.03	1211.90	161.0	7.0	31.0	0.8	135.0	6.7	36.9	3.04	17.57	373	6.11	
17	SI TEPAL DEL BHO	19	7.06	1895.70	393.0	17.1	13.4	0.3	111.0	5.5	51.3	4.22	27.20	832	13.64	
18	SI TEPAL DEL BHO	21	7.05	1396.50	263.0	11.4	19.0	0.5	115.0	5.7	41.5	3.41	21.08	539	8.83	
19	SI TEPAL DEL BHO	19	7.16	1718.10	287.0	12.5	20.1	0.5	132.0	6.6	49.0	4.03	23.62	797	13.66	
20	SI TEPAL DEL BHO	23	7.03	954.30	120.0	5.2	17.4	0.4	109.0	5.4	37.3	3.07	14.17	393	6.44	
21	SI TEPAL DEL BHO	26	7.84	614.30	28.5	1.2	2.0	0.1	59.7	3.0	46.3	3.81	8.08	348	7.34	
22	SI TEPAL DEL BHO	25	7.80	617.20	71.6	3.1	8.8	0.2	40.1	2.0	41.6	3.42	8.76	333	5.46	
23	SI TEPAL DEL BHO	27	7.20	1091.04	305.0	13.3	2.1	0.1	3.2	0.2	2.1	0.17	13.66	733	12.01	
24	SI TEPAL DEL BHO	21	7.23	1933.90	461.0	20.1	41.1	1.1	104.0	5.2	36.8	3.03	29.32	433	7.10	
25	SI TEPAL DEL BHO	27.6	7.00	439.60	55.0	2.4	14.7	0.4	25.2	1.3	22.0	1.81	5.84	276	4.51	
26	SI TEPAL DEL BHO	27.8	7.00	917.40	118.0	5.1	23.9	0.6	49.3	2.5	43.5	3.58	11.79	551	9.03	
27	SI TEPAL DEL BHO	23	7.60	884.80	78.2	3.4	17.9	0.5	129.0	6.4	32.3	2.66	12.95	415	6.80	
28	SI TEPAL DEL BHO	23.6	6.50	1230.10	193.0	8.4	32.5	0.8	111.0	5.5	41.9	3.45	18.21	506	8.29	
29	SI TEPAL DEL BHO	23	7.00	1709.80	344.0	15.0	36.3	0.9	104.0	5.2	46.5	3.83	24.91	696	11.41	
30	SI TEPAL DEL BHO	22.6	7.00	1295.00	252.0	11.0	16.1	0.4	101.0	5.0	30.9	2.54	18.96	493	8.08	
31	SI TEPAL DEL BHO	23.4	6.50	1299.90	145.0	6.3	38.9	1.0	149.0	7.4	37.4	3.08	17.81	491	8.05	
32	SI TEPAL DEL BHO	22.5	7.00	1663.90	293.0	12.7	25.2	0.6	69.8	3.5	29.9	2.46	19.33	824	13.51	
33	SI TEPAL DEL BHO	20	7.60	1282.60	201.0	8.7	28.3	0.7	83.3	4.2	57.6	4.69	18.31	551	9.03	
34	SI TEPAL DEL BHO	20	7.35	1400.40	225.0	9.8	32.3	0.8	71.9	3.6	78.2	6.43	20.63	606	9.93	
35	SI TEPAL DEL BHO	21	8.70	479.20	123.0	5.4	1.2	0.0	4.0	0.2	2.2	0.18	5.76	314	5.15	
36	SI TEPAL DEL BHO	24	7.70	1657.30	289.0	12.6	40.2	1.0	97.2	4.9	82.9	6.82	25.37	556	9.11	

Tabla N° 10 (1/4)



ANALISIS QUIMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS REALIZADOS EN JUNIO DE 1994

NUM. SEC	SITIO MUESTREADO	SO4		CL		NO3-N		[amonios meq/l]	Si	Sr	Ba	B	Fe total	F	P total
		mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l								
1	57 TEPALI DEL RIO	9.9	0.2	17.0	0.5	0.3	0.0	4.3	39.1	0.25	0.029	0.66	<.02	0.21	<.5
2	1129 EL SALTO	22.2	0.5	17.8	0.5	3.0	0.0	7.2	34.8	0.413	0.053	0.33	<.02	0.48	<.5
3	1148 TULA	62.6	1.3	10.5	0.3	3.6	0.1	5.8	35.1	0.566	0.056	0.10	<.02	0.72	<.5
4	1154 EL LLANO 2	1360.0	28.3	80.0	2.3	3.5	0.1	38.0	20.2	8.13	0.023	1.36	<.02	1.99	<.5
5	1148 MONTECILLOS	168.0	3.5	61.5	1.7	5.2	0.1	12.5	30.7	3.54	0.067	0.78	<.02	1.69	<.5
6	600 CFE TROCALCO	986.0	20.5	100.0	2.8	4.9	0.1	29.2	35.3	6.77	0.020	1.17	<.02	1.10	<.5
7	774 FENIX 9	115.0	2.4	179.0	5.0	11.5	0.2	16.8	29.0	2.16	0.097	0.67	<.02	0.55	<.5
8	1186 CERRO COLORADO	167.0	3.5	182.0	5.1	11.9	0.2	18.0	29.9	2.41	0.099	0.83	<.02	0.86	<.5
9	1160 EL MEJIL	60.1	1.3	104.0	2.9	5.2	0.1	9.3	31.2	0.698	0.043	0.12	<.02	0.50	<.5
10	74 TEPATEPEC	142.0	3.0	237.0	6.7	10.6	0.2	18.7	31.8	1.78	0.078	0.57	<.02	0.51	<.5
11	69210 JUAREZ	129.0	2.7	152.0	4.3	6.6	0.1	14.1	31.9	0.483	0.052	0.52	<.02	0.80	<.5
12	1162 XOCCHILAN	133.0	2.8	195.0	5.5	8.5	0.1	17.0	32.6	0.372	0.071	0.59	<.02	0.68	<.5
13	1167 CHILCUAUTLA	105.0	2.2	79.5	2.2	5.4	0.1	11.4	31.3	0.875	0.117	0.34	<.02	0.60	<.5
14	1184 EL PUERTO TEZONTEPEC	160.0	3.3	181.0	5.1	10.0	0.2	17.5	33.1	2.19	0.079	0.75	<.02	0.99	<.5
15	1184 MANGAS LA CERRITA	140.0	2.9	224.0	6.3	14.4	0.2	22.2	36.9	2.05	0.033	1.66	<.02	1.71	1.2
16	606 SAN FRANCISCO BOJAY	368.0	7.7	107.0	3.0	7.1	0.1	16.9	36.1	3.32	0.049	0.79	<.02	1.29	<.5
17	71 POZO GRANDE	209.0	4.4	286.0	8.1	16.2	0.3	26.3	29.7	1.59	0.147	1.65	<.02	0.30	<.5
18	606 SAN SALVADOR	115.0	2.4	304.0	8.6	13.9	0.2	20.0	29.0	1.28	0.078	0.88	<.02	0.10	<.5
19	606 CHICAVASCO	140.0	2.9	293.0	8.3	13.2	0.2	24.5	28.5	1.6	0.058	0.86	<.02	0.05	<.5
20	704 BOTRI BAJI	99.6	2.1	178.0	5.0	10.6	0.2	13.7	26.1	1.15	0.110	0.89	<.02	0.15	<.5
21	22 LA ESTANCIA	19.3	0.4	10.5	0.3	6.5	0.1	8.1	29.2	0.603	0.085	<.03	<.02	0.35	<.5
22	58 DAN EBHI	82.1	1.7	40.0	1.1	8.8	0.1	8.4	25.2	0.663	0.079	0.66	<.02	0.39	<.5
23	1176 BOLAXNI	30.3	0.6	15.3	0.4	0.3	0.0	13.1	23.9	0.128	0.023	0.31	<.02	0.61	<.5
24	606 CAKUNI	322.0	6.7	536.0	15.1	17.7	0.3	29.2	23.7	1.12	0.062	0.16	<.02	0.22	<.5
25	1122 CUANQUITAPILCO	22.2	0.5	25.5	0.7	2.7	0.0	5.7	33.0	0.3	0.016	0.07	<.02	0.41	<.5
26	112 ATACUBA	87.7	1.8	44.0	1.2	2.6	0.0	12.1	43.0	0.528	0.038	0.60	<.02	0.29	<.5
27	71 TEPANGO	78.4	1.6	134.0	3.8	9.6	0.2	12.4	32.6	1.7	0.244	0.28	<.02	0.49	<.5
28	620 TLAXCOAPAN	50.7	1.1	295.0	8.3	11.8	0.2	17.9	31.2	1.65	0.229	0.22	<.02	0.40	<.5
29	1180 TLAMINULFA	190.0	4.0	293.0	8.3	14.0	0.2	23.9	27.5	2.99	0.028	1.03	<.02	0.94	<.5
30	1180 SAN JOSE	158.0	3.3	244.0	6.9	8.1	0.1	18.4	30.1	2.13	0.260	0.52	<.02	1.16	<.5
31	1182 ATOTONILCO	351.0	7.3	87.6	2.5	2.6	0.0	17.9	35.2	2.7	0.026	0.74	<.02	1.10	<.5
32	788 CFE	191.0	4.0	231.0	6.5	11.8	0.2	24.2	31.3	1.7	0.031	1.16	<.02	0.69	<.5
33	1180 RANO GRANDE	146.0	3.0	216.0	6.1	10.4	0.2	18.3	34.9	1.92	0.064	1.08	<.02	0.58	<.5
34	EL OJITO PROGRESO	147.0	3.1	240.0	6.8	13.6	0.2	20.0	32.4	1.96	0.065	1.24	<.02	0.60	<.5
35	EL RINCON EL TABLON	24.1	0.5	11.3	0.3	0.4	0.0	6.0	14.9	0.091	0.004	0.08	<.02	0.47	<.5
36	EL BOJA	270.0	5.6	322.0	9.1	19.3	0.3	24.1	25.0	1.58	0.145	0.25	<.02	0.23	<.5

Tabla N° 10 (2/4)

ANALISIS QUIMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS REALIZADOS EN JUNIO DE 1994

NUM. SEC.	STIO MUESTREADO	V	O2	CE	Li	Be	Al	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge
1	37 TEPAL DEL SUR	<0.02	3.4	420	151	<0.30	<0.40	2.59	0.78	0.15	2.02	28.36	2.8	<0.10	0.81
2	1123 EL SALTO	0.04	1.8	710	24.1	<0.30	<0.40	2.20	<0.30	<0.20	0.63	1.83	0.36	<0.10	0.24
3	1144 TULA	0.02	1.9	610	42.8	<0.30	<0.40	1.57	<0.30	<0.20	1.04	1.40	0.11	<0.10	0.31
4	1184 EL LLANO	<0.02	2.0	2860	394	<0.30	<0.40	0.86	0.57	0.42	5.91	1.36	0.75	<0.10	1.07
5	1146 MONTECILLOS	0.08	2.6	1180	132	<0.30	<0.40	1.37	<0.30	0.40	3.39	1.85	<0.48	<0.10	0.36
6	888 CFE TLACALCO	0.02	2.0	2450	336	<0.30	<0.40	1.00	0.64	0.31	7.03	1.74	0.23	<0.10	0.63
7	174 PEMEX S	0.02	2.7	1670	116	<0.30	<0.40	2.01	<0.30	0.21	2.25	1.36	<0.48	<0.10	0.16
8	1186 CERRO COLORADO	0.02	2.4	1780	85.2	<0.30	<0.40	2.13	<0.30	0.31	2.43	3.12	<0.48	<0.10	0.20
9	1148 EL MEQUE	0.04	2.4	960	20.9	<0.30	<0.40	3.63	<0.30	<0.20	0.71	1.88	0.87	<0.10	0.23
10	24 TEPATEPEC	0.03	2.3	1730	52.2	<0.30	<0.40	3.15	<0.30	<0.20	1.46	2.23	<0.48	<0.10	0.16
11	1820 JUAREZ	0.09	2.2	1430	23.7	<0.30	<0.40	4.56	0.56	<0.20	0.35	2.14	<0.48	<0.10	0.13
12	1145 XOCBITLAN	0.08	1.1	1690	25.4	<0.30	<0.40	2.47	<0.30	<0.20	<0.25	2.82	<0.48	<0.10	0.15
13	1147 CHICUAUTLA	0.04	1.2	1140	29.3	<0.30	<0.40	1.49	0.32	<0.20	1.92	3.56	<0.48	<0.10	<0.04
14	1711 EL PUENTE TEZONTEPEC	0.04	2.0	1710	56.9	<0.30	<0.40	2.32	<0.30	0.20	1.95	2.86	<0.48	<0.10	0.07
15	DIANQUIS LA CERRERA	0.06	2.1	2170	18.3	<0.30	<0.40	3.18	<0.30	0.34	3.19	5.31	<0.48	<0.10	0.13
16	688 SAN FRANCISCO BOJAY	0.04	2.5	1670	192	<0.30	<0.40	1.56	1.12	0.33	2.48	3.18	0.06	<0.10	0.34
17	78 POZO GRANDE	0.06	1.8	2580	4.20	<0.30	<0.40	2.34	4.00	0.58	7.35	3.93	<0.48	<0.10	0.05
18	684 SAN SALVADOR	<0.02	2.0	2040	16.7	<0.30	<0.40	2.43	<0.30	<0.20	1.24	3.25	<0.48	<0.10	0.09
19	852 CHICAVASCO	<0.02	2.2	2370	6.26	<0.30	<0.40	1.51	<0.30	<0.20	0.69	2.48	<0.48	<0.10	0.14
20	824 BOTEH BAJI	<0.02	2.4	1360	7.67	<0.30	<0.40	1.70	<0.30	<0.20	0.64	1.68	9.99	<0.10	0.24
21	822 LA ESTANCIA	0.04	2.4	770	1.15	<0.30	<0.40	2.04	<0.30	<0.20	0.87	2.52	7.96	<0.10	<0.04
22	88 BAJI EDRI	0.04	2.7	840	2.84	<0.30	<0.40	3.33	<0.30	<0.20	<0.25	0.73	<0.48	<0.10	0.15
23	1170 BOKAXNI	<0.02	2.0	1190	60.7	<0.30	<0.40	2.06	0.57	<0.20	<0.25	1.32	<0.48	<0.10	0.62
24	689 CAXUY	<0.02	2.4	3000	17.1	<0.30	<0.40	6.52	0.34	<0.20	0.99	2.64	<0.48	<0.10	0.12
25	1123 CUENQUITAPILCO	0.05	2.0	525	30.5	<0.30	1.91	4.62	1.48	<0.20	1.06	6.71	7.36	<0.10	0.73
26	1122 AJACUBA	0.04	1.8	1070	158	<0.30	<0.40	2.26	0.32	<0.20	0.70	1.74	<0.48	<0.10	0.36
27	1121 TETEPANGO	0.02	2.6	1230	128	<0.30	<0.40	1.25	<0.30	<0.20	1.62	1.37	<0.48	<0.10	0.24
28	820 TLAXCOAPAN	0.02	2.7	1830	20.4	<0.30	<0.40	1.25	<0.30	<0.20	1.15	1.20	<0.48	<0.10	0.19
29	1149 TLAMINULPA	0.02	2.6	2240	304	<0.30	<0.40	1.81	<0.30	<0.20	1.13	2.07	<0.48	<0.10	0.31
30	1189 SAN JOSE	0.06	2.5	1810	59.9	<0.30	<0.40	1.72	<0.30	<0.20	0.95	2.95	<0.48	<0.10	0.29
31	1102 ATOTONILCO	0.02	2.2	1600	262	<0.30	<0.40	1.62	<0.30	<0.20	0.90	1.51	<0.48	<0.10	0.54
32	788 CFE	0.02	2.7	1980	70.5	<0.30	<0.40	1.68	<0.30	<0.20	0.83	1.93	<0.48	<0.10	0.11
33	1140 BANO GRANDE	0.03	2.3	2420	152.0	<0.30	<0.40	1.86	<0.30	<0.20	0.97	2.86	<0.48	<0.10	0.19
34	EL OJITO PROGRESO	0.04	2.2	2710	49.6	<0.30	<0.40	2.18	<0.30	<0.20	1.46	3.01	<0.48	<0.10	0.19
35	EL RINCON EL TARBON	<0.02	2.0	970	4.93	<0.30	<0.40	0.35	<0.30	<0.20	<0.25	1.80	<0.48	<0.10	1.19
36	EL BOJA	0.02	2.4	3150	28.0	<0.30	<0.40	4.21	<0.30	<0.20	0.99	2.19	<0.48	<0.10	0.23

\*\* Unidades de micromhos/cm  
\* Unidades de microgramos por litro

Tabla N° 10 (3.4)

ANALISIS QUIMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS REALIZADOS EN JUNIO DE 1994

NUM. SEC.	SITIO MUESTREADO	Pb	Y	Zn	Mo	Cd	Sb	Cr	Li	Et	Pb	Bi	Tb	COLF. TOT. NMP/100ml	COLF. F. NMP/100ml
1	EL BARRIO DEL NIDO	30.8	<0.30	0.39	0.62	<0.46	0.15	0.23	0.20	0.13	0.21	<0.03	<0.18	296	NEG
2	EL BALTO	16.3	<0.30	0.28	7.59	<0.46	0.25	0.49	<0.07	0.10	0.28	<0.03	<0.18	NEG	NEG
3	EL BARRIO	21.8	<0.30	0.13	1.29	<0.46	0.15	0.65	<0.07	0.04	0.13	<0.03	<0.18	NEG	NEG
4	EL BARRIO	62.8	<0.30	1.00	8.00	<0.46	4.60	58.6	<0.07	2.99	0.40	<0.03	<0.18	NEG	NEG
5	EL BARRIO	30.9	<0.30	0.31	12.1	<0.46	1.24	6.91	<0.07	0.13	0.17	<0.03	<0.18	NEG	NEG
6	EL BARRIO	82.5	<0.30	0.39	4.82	<0.46	0.31	55.2	<0.07	0.13	1.38	<0.03	<0.18	NEG	NEG
7	EL BARRIO	34.0	<0.30	0.62	3.19	<0.46	0.10	0.89	<0.07	0.08	0.66	<0.03	<0.18	NEG	NEG
8	EL BARRIO	35.6	<0.30	1.15	3.86	<0.46	0.23	0.50	<0.07	0.06	0.73	<0.03	<0.18	1078	100
9	EL BARRIO	15.5	<0.30	<0.13	2.52	<0.46	0.11	0.41	<0.07	0.05	0.35	<0.03	<0.18	NEG	NEG
10	EL BARRIO	29.2	<0.30	1.02	4.09	<0.46	<0.06	0.67	<0.07	0.05	0.95	<0.03	<0.18	10	NEG
11	EL BARRIO	9.83	<0.30	0.29	4.62	<0.46	0.12	0.55	<0.07	0.05	0.65	<0.03	<0.18	4	NEG
12	EL BARRIO	10.1	<0.30	0.26	2.40	<0.46	0.20	0.29	<0.07	0.04	0.84	<0.03	<0.18	NEG	NEG
13	EL BARRIO	7.88	<0.30	0.29	4.96	<0.46	0.44	0.09	<0.07	0.04	0.21	<0.03	<0.18	13000	318
14	EL BARRIO	27.0	<0.30	0.80	3.07	<0.46	0.11	0.33	<0.07	<0.02	0.77	<0.03	<0.18	26	NEG
15	EL BARRIO	21.6	<0.30	2.51	8.69	<0.46	0.29	0.23	<0.07	<0.02	1.12	<0.03	<0.18	21000	244
16	EL BARRIO	52.4	<0.30	0.30	6.52	<0.46	0.86	28.2	<0.07	0.03	0.30	<0.03	<0.18	NEG	NEG
17	EL BARRIO	5.44	<0.30	1.98	7.36	<0.46	<0.06	0.29	0.14	0.07	1.37	<0.03	<0.18	NEG	NEG
18	EL BARRIO	13.8	<0.30	0.47	2.08	<0.46	0.15	0.22	<0.07	0.03	0.95	<0.03	<0.18	2000	20
19	EL BARRIO	12.9	<0.30	0.33	0.70	<0.46	0.09	0.08	<0.07	0.04	1.44	<0.03	<0.18	563	NEG
20	EL BARRIO	10.4	<0.30	0.37	1.26	<0.46	0.08	0.23	0.12	<0.02	0.81	<0.03	<0.18	78	NEG
21	EL BARRIO	1.67	<0.30	0.46	1.28	<0.46	<0.06	0.06	0.08	<0.02	0.49	<0.03	<0.18	126	NEG
22	EL BARRIO	4.28	<0.30	0.17	1.67	<0.46	<0.06	0.13	0.09	0.03	0.26	<0.03	<0.18	42	NEG
23	EL BARRIO	1.71	<0.30	0.81	11.6	<0.46	<0.06	1.42	<0.07	<0.02	0.50	<0.03	<0.18	256	NEG
24	EL BARRIO	13.3	<0.30	0.34	5.45	<0.46	<0.06	0.21	<0.07	0.04	1.21	<0.03	<0.18	22000	NEG
25	EL BARRIO	41.2	<0.30	<0.13	2.72	<0.46	0.17	0.71	<0.07	<0.02	0.23	<0.03	<0.18	NEG	NEG
26	EL BARRIO	26.0	<0.30	0.22	2.54	<0.46	<0.06	0.41	<0.07	<0.02	0.52	<0.03	<0.18	24900	NEG
27	EL BARRIO	34.0	<0.30	0.15	1.75	<0.46	0.20	9.78	0.23	<0.02	0.65	<0.03	<0.18	76	NEG
28	EL BARRIO	21.4	<0.30	0.19	1.96	<0.46	<0.06	0.16	0.18	<0.02	0.95	<0.03	<0.18	10	NEG
29	EL BARRIO	37.6	<0.30	0.95	4.09	<0.46	0.21	19.3	<0.07	0.03	1.11	<0.03	<0.18	50	NEG
30	EL BARRIO	25.4	<0.30	0.32	3.34	<0.46	0.07	14.8	0.13	<0.02	0.94	<0.03	<0.18	6	NEG
31	EL BARRIO	31.4	<0.30	0.22	4.33	<0.46	0.16	1.08	<0.07	<0.02	0.46	<0.03	<0.18	124	NEG
32	EL BARRIO	23.9	<0.30	0.29	1.92	<0.46	0.15	2.18	<0.07	<0.02	0.67	<0.03	<0.18	4	NEG
33	EL BARRIO	26.0	<0.30	0.23	2.51	<0.46	<0.06	0.66	<0.07	<0.02	0.61	<0.03	<0.18	300	14
34	EL BARRIO	30.4	<0.30	0.97	4.33	<0.46	0.15	0.98	<0.07	<0.02	0.86	<0.03	<0.18	62	NEG
35	EL BARRIO	1.41	<0.30	<0.13	3.29	<0.46	0.10	0.31	<0.07	<0.02	0.38	<0.03	<0.18	16	NEG
36	EL BARRIO	25.7	<0.30	0.57	3.44	<0.46	<0.06	0.85	0.10	<0.02	0.90	<0.03	<0.18	105	NEG

\* Unidades de microgramos por litro  
NEG = Resultado negativo

Tabla N° 10 (4/4)

### IV.3 CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS

El análisis bacteriológico del suelo realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA) detectó coliformes fecales, helmintos, Salmonella spp, shigella spp, y Giardia. Estas bacterias estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo, observándose una disminución en la concentración después de 12 días de efectuado el riego, lo cual indica resistencia a las condiciones ambientales. La Secretaría de Recursos Hidráulicos (1974), en estudios relacionados con la calidad bacteriológica de las aguas residuales, reporta que en estaciones muestreadas se tiene altas concentraciones de coliformes fecales, con valores de  $4 \times 10$  NMP/100 ml. Estas concentraciones se incrementan por aportaciones frescas de aguas residuales de poblaciones y establos vecinos a los canales de riego.

#### DAÑOS A LA SALUD

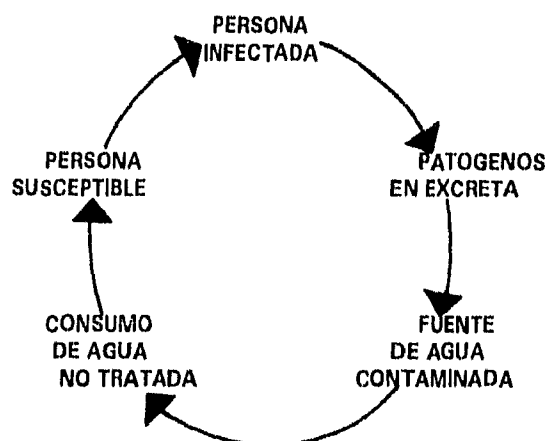
Las aguas residuales del valle, que originalmente contenían desechos orgánicos se transformaron más complejas debido al alto contenido de metales pesados, resultado del crecimiento industrial de la Cd. de México. Los análisis bacteriológicos del agua subterránea, muestran la presencia de bacteriófagos, coliformes fecales mientras que el análisis de suelo reporta la presencia de coliformes fecales, helmintos, salmonella, shigella.

En relación a la presencia de salmonella spp esta se detectó en un 57% de las muestras de jitomate y en el 33% de las muestras de lechuga. Algunos quistes que se detectaron en aguas de riego pueden llegar al ser humano por ingestión de aguas y hortalizas contaminadas por el agua de riego; sin embargo, la principal ruta de infección es la ingestión y no el simple contacto. El riesgo sigue siendo mayor para los consumidores.

Para el año de 1980 se revisaron expedientes clínicos de pacientes atendidos en el centro de salud, S.S.A de Tula, Hgo. en el período de 1975-1979. En dicho estudio se observó que el aumento en el reuso de aguas residuales en Tula, provocó un aumento en la incidencia de enfermedades gastrointestinales y amibiasis. Para el período de 1988 al primer semestre de 1993 se encontró información sobre las principales enfermedades reportadas en el área; la institución mencionada con anterioridad es la que brinda servicios médicos a casi todo el valle.

De todos los casos atendidos entre 1988 y 1993 aproximadamente un 25% en promedio corresponde a enfermedades gastrointestinales. Dentro de este grupo destacan en orden de importancia; las enfermedades intestinales y mal definidas, enteritis y enfermedades diarreicas y parasitosis (amibiasis, ascariasis y oxiriasis).

En general, el porcentaje de padecimientos intestinales ha disminuido, en relación con el total de casos pasando de un 31% en el año de 1988, a un 24% en el primer semestre de 1993. Sin embargo las enfermedades intestinales y las originadas por parásitos continúan teniendo una alta incidencia para el número total de casos.



(Figura N° 11) Esquema de como se propagan las enfermedades a través de la contaminación del agua por las heces y orinas humanas.

#### IV.4 FAMILIAS DE AGUAS

Para la interpretación de los resultados de los análisis químicos se utilizaron los diagramas de Piper, con el propósito de clasificar las muestras de agua de acuerdo a los aniones y cationes predominantes.

Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros en la parte inferior y un rombo central superior. Tanto los triángulos como el rombo central se encuentran divididos en partes iguales, siendo representados los valores de reacción en por ciento. La suma total de todos los cationes se toma como el 100 % y a partir de ello se calculan los porcentajes de cada uno de ellos, haciendo lo mismo para con los aniones. En el triángulo izquierdo se grafican los cationes y en el derecho los aniones. Los puntos se proyectan sobre el rombo central intersectándose en un tercer punto que representa al carácter químico del agua. (Fig N° 12)

Actualmente, se dispone de paquetes de cómputo que ahorran todo este trabajo, como por ejemplo, el Ground Water en el que se introducen directamente las concentraciones de los iones principales y aparece en forma conjunta la representación puntual de cada una de ellas; con ayuda de este paquete de cómputo se realizaron los diagramas de Piper y Wilcox.

Nº DE IDENTIFICACION PARA PIPER Y STIFF	NUMERO SEC	SITIO DONDE SE TOMO LA MUESTRA
1	1	POZO TEPEJI DEL RIO 37
2	2	POZO EL SALTO 1123
3	3	POZO TULA 1340
4	4	POZO EL LLANO2 1154
5	5	POZO MONTECILLOS 1140
6	6	POZO CFE TEOCALCO 603
7	7	POZO PEMEX 9 774
8	8	MANANTIAL CERRO COLORADO 1156
9	9	POZO EL MEXE 1168
A	10	POZO TEPATEPEC 74
B	11	POZO BENITO JUAREZ
C	12	POZO XOCHITLAN 1162
D	13	MANANTIAL CHILCUAUTLA 1167
E	14	MANATIAL EL PUEDEHE TEZON, 1184
F	15	POZO MANGAS LA CHIRIPA
G	16	POZO SAN FRANCISCO BOJAY 608
H	17	POZO GRANDE ACTOPAN 73
I	18	POZO SAN SALVADOR 693
J	19	POZO CHICAVASCO 932
K	20	POZO BOTHI BAJI 926
L	21	POZO LA ESTANCIA 22
M	22	POZO DAJ EDIII 30
N	23	POZO BOXAXNI 1170
P	24	POZO CAXUXI 609
Q	25	POZO ITZCULNQUITAPILCO
R	26	POZO AJACUBA 132
S	27	POZO TETEPANGO
T	28	POZO TLAXCOAPAN 620
U	29	POZO TLALMINULPA
V	30	POZO SAN JOSE 1189
W	31	POZO ATOTONILCO 102
X	32	POZO CFE 788
Y	33	MANANTIAL BAÑO GRANDE
Z	34	MANANTIAL EL OJITO
a	35	POZO EL RINCON EL TABLON
b	36	POZO EL BOJA

Anexo a las figuras 12 y 13

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO  
 Project : tesis  
 Organization : CNA/UNAM

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

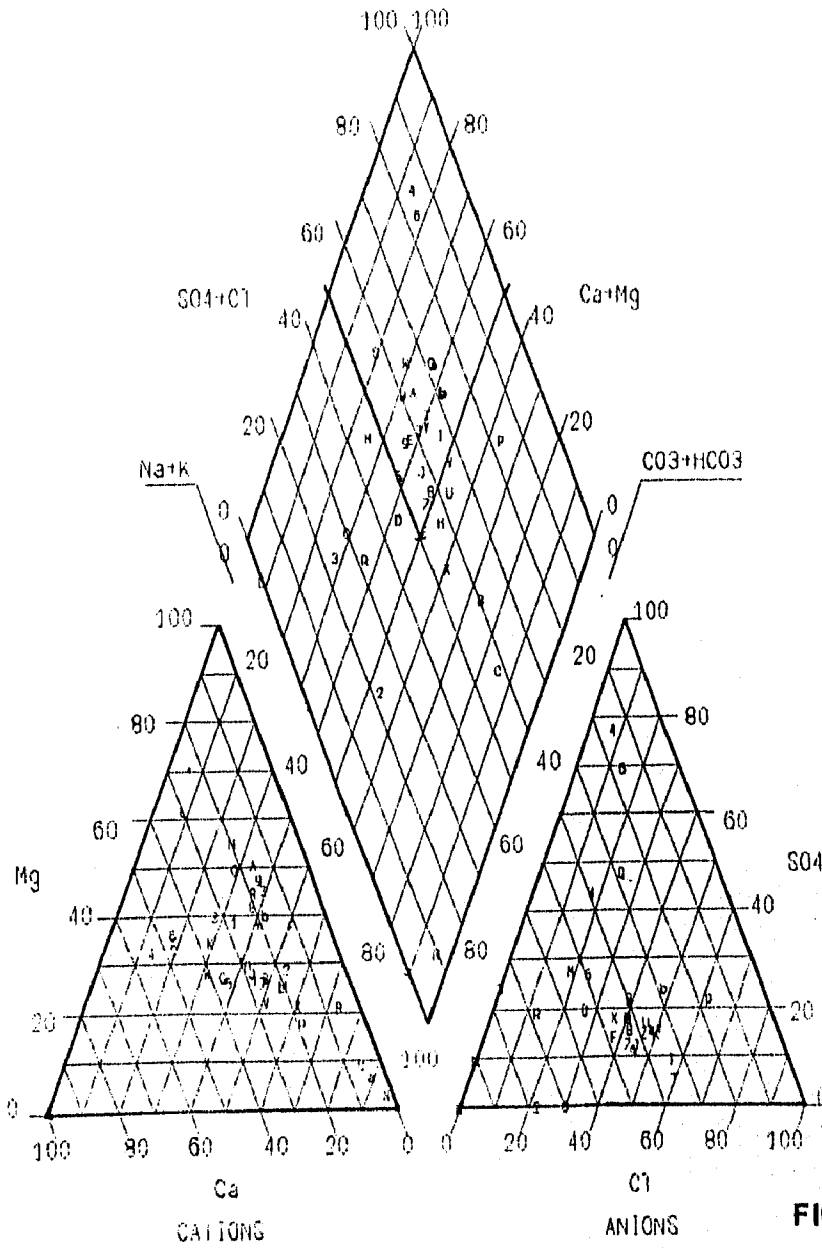


FIG N° 12

**ENFERMEDADES INTESTINALES EN EL VALLE DEL MEZQUITAL**

<b>ENFERMEDADES</b>	<b>PORCENTAJE ANUAL PROMEDIO 1988 - 1993 (c) %</b>
<b>OTRAS ENFERMEDADES INTESTINAL Y MAL DEFINIDAS</b>	12
<b>INFECCIONES INTESTINALES ( b )</b>	12
<b>AMIBIASIS</b>	8
<b>ASCARIASIS ( d )</b>	2.5
<b>OXIURIASIS ( c )</b>	1
<b>GIARDIASIS ( d )</b>	1

- a) Porcentaje en relación con el total de enfermedades padecidas
- b) Periodo 1988 y 1990
- c) Periodo 1989-90 y 1992-93
- d) Periodo 1989-93

Tabla N° 11



#### IV.5 CALIDAD DEL AGUA

El agua que se destina a los diferentes usos debe cumplir con normas de calidad en cuanto a sus características físicoquímicas y bacteriológicas. De esta manera, al comparar los resultados de los análisis químicos con las normas de calidad se le puede asignar un uso apropiado al agua subterránea.

##### AGUA POTABLE

Las normas de calidad en cuanto al agua potable destinada al consumo humano son fijadas por la Organización Mundial de la Salud ( OMS ) y en México por la Secretaría de Salud ( SSA ). Estas se muestran en la tabla N° 12 y son generales ya que únicamente se refieren al contenido de STD y a las concentraciones de los iones más comunes, pero pueden ser ajustadas según sean los requerimientos de cada uso y las características particulares de cada región.

##### AGUA PARA RIEGO

Con el propósito de determinar la calidad del agua para riego se utilizaron los diagramas de Wilcox ( 1948 ), en los que se grafican los parámetros de conductividad eléctrica y la relación de adsorción del sodio RAS, éste último se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{((\text{Ca} + \text{Mg})/2)^{1/2}}$$

DONDE: RAS = Relación de adsorción del sodio

Na = Ión sodio

Ca = Ión calcio

Mg = Ión magnesio

Las unidades de la conductividad eléctrica son micromhos/cm y de los iones del RAS, miliequivalentes por litro ( meq/l ). Este tipo de diagramas cuenta con cuatro tipos diferentes de conductividad y cuatro de concentración de sodio que van de muy baja a muy alta, ( C1-S1, C1-S2, C1-S3, C1-S4, etc ) al combinarse entre sí resultan 16 campos distintos. Por ejemplo C1-S2 representa un agua de baja salinidad y concentración media de sodio.

**NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA ( en ppm )**

CARACTERÍSTICAS PARA POTABLE	O M S		S S A
	ACEPTABLE	PERMISIBLE	PERMISIBLE
COLESTEROL	500	1500	1000
AMONÍACO	20	175	-----
FOSFÓRICO	75	200	-----
MANGANÉSICO	50	150	125
BICARBONATO (CO <sub>3</sub> )	350	800	-----
CLORURO (Cl)	200	600	250
SULFATO (SO <sub>4</sub> )	200	400	250
SUREA	-----	-----	300
pH	7 8.5	6.5 9.2	0
NITRATO (NO <sub>3</sub> )	-----	45	5
hierro (Fe)	0.3	1	0.3

EL pH ES ADIMENSIONAL

PARÁMETRO MICROBIOLÓGICO	A AGUA POTABLE	RECREATIVO	RIEGO AGRICOLA
COLIFORMES TOTALES NMP/100 ML	1000	200	1000

FUENTE: Criterios Ecológicos de calidad del agua publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Diciembre de 1989

Tabla N° 12

En función del campo en que se ubiquen las muestras, se podrá asignar el agua para el riego de cultivos específicos, según sean sus características de tolerancia respecto al contenido de sales. Esto es con el objeto de prevenir los efectos nocivos, tanto en los suelos como en las plantas, que pueden ocasionar la utilización de aguas con cierto contenido de sales, y las medidas que deben tomarse para su cultivo.

Con los datos de C.E y las concentraciones de calcio, magnesio y sodio para las muestras del valle, en el paquete Ground Water se calculó directamente el RAS y posteriormente mostró la ubicación de los puntos en el nomograma (Fig N° 13) y así se pudo obtener la clase de agua, la cual está definida por los parámetros C y S con subíndices en cada uno de ellos.

<b>C<sub>1</sub> BAJA SALINIDAD</b>	Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas, con pocas posibilidades de que aumente la salinidad.
<b>C<sub>2</sub> SALINIDAD MEDIA</b>	Puede usarse si se realizan lavados moderados, se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales en la mayoría de los casos sin efectuar prácticas especiales para el control de la salinidad.
<b>C<sub>3</sub> ALTAMENTE SALINA</b>	No puede usarse en suelos de drenaje deficiente, aun con drenaje adecuado se requiere un manejo especial para el control de la salinidad además de seleccionar plantas que sean bastantes tolerantes a las sales.
<b>C<sub>4</sub> MUY ALTAMENTE SALINA</b>	No es apropiado para riego bajo condiciones ordinarias aunque puede usarse en ocasiones, bajo circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, el agua para riego debe aplicarse en exceso con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte, las plantas que se seleccionan deben ser muy tolerantes a las sales.

Tabla N° 13a. Descripción del subíndice C

<b>S<sub>1</sub> CON POCO SODIO</b>	Puede usarse en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiable llegue a niveles perjudiciales.
<b>S<sub>2</sub> CON CONTENIDO MEDIO</b>	Es peligroso en suelos de textura fina y en aquellos que contenga una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavados de lavas a menos que haya yeso en el suelo. Estas sales pueden usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.
<b>S<sub>3</sub> CON ALTO CONTENIDO</b>	Conducirá a niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos por lo cual se requiere de un manejo especial, lavados fuertes y adicionales de materia orgánica. Los suelos yesíferos no desarrollarán niveles perjudiciales de sodio intercambiable, excepto en el caso de que no sea factible el uso de mejoradores en aguas de muy alta salinidad.
<b>S<sub>4</sub> CON MUY ALTO CONTENIDO</b>	Generalmente no es apropiado para el riego excepto en casos de baja y quizá de media salinidad, donde la solución de calco del suelo o del empleo de yeso u otros mejoradores, hagan factible el uso de esta agua.

Tabla N° 13b. Descripción del subíndice S

#### AGUA PARA ABREVADERO

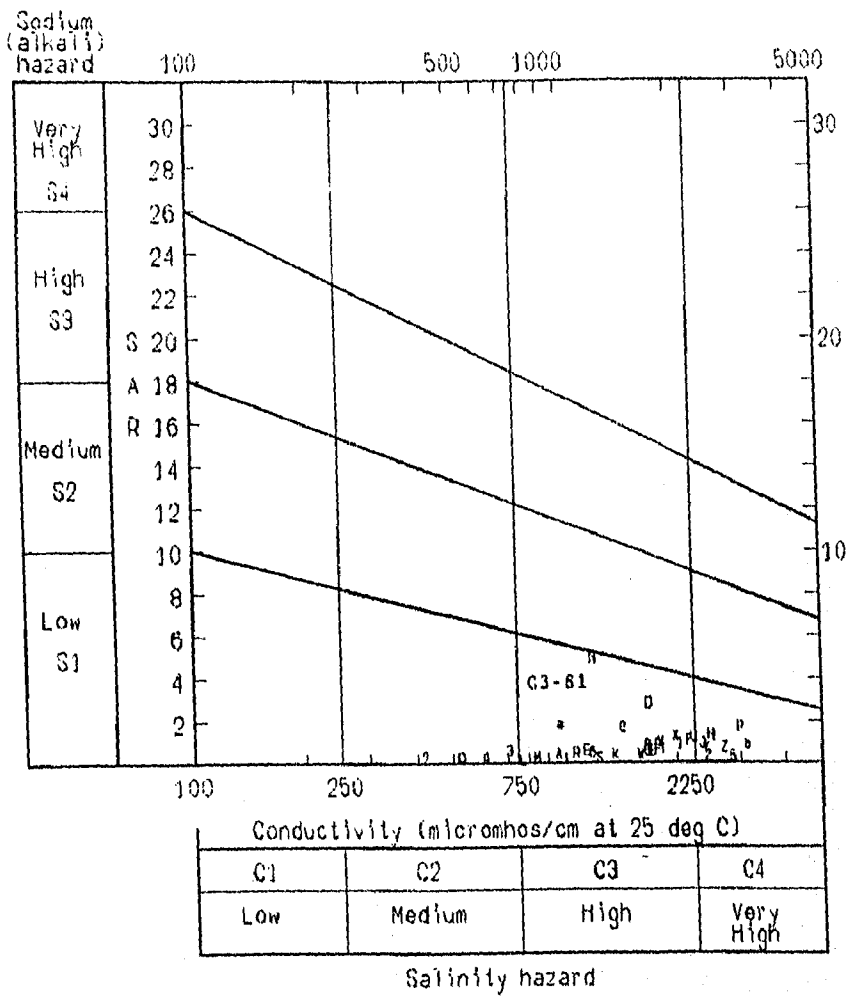
Dado que los animales son capaces de ingerir agua con mayor contenido de sales sin que esto sea perjudicial para ellos; el tipo de agua existente en la zona puede destinarse a los animales. Para ello se presenta la siguiente tabla.

<b>GANADO</b>	<b>STD</b>
<b>AVICOLA</b>	<b>2860</b>
<b>PORCINO</b>	<b>4290</b>
<b>EQUINO</b>	<b>86430</b>
<b>BOVINO</b>	<b>10100</b>
<b>OVINO</b>	<b>12900</b>

Tabla N° 14 Límites máximos de STD (ppm) para el ganado Según Mckee y Wolf (1963).

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO  
 Project : tesis  
 Organization : CNA/UNAM

VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO



VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

FIG N° 13

RESISTENCIA A LA SALINIDAD DEL AGUA

CULTIVOS	TOLERANCIA		
	ALTA	MEDIA	BAJA
FRUTALES	Palma datilera	Granada Higuera Olivo Uva Melón	Peral Manzano Naranja Toronjo Ciruelo Almendro Chabacano Durazno Fresa Limonero Aguacate
ORTIVALES	Betabel Esparrago Espinacas	Jitomate Brocoli Col Coliflor Lechuga Papa Zanahoria Cebolla Chicharo Calabaza Pepino	Rabanos Apio Ejotes
CEREALES	Cebada Remolacha Azucarera Algodón	Centeno Trigo Avena Arroz Sorgo Maíz Girasol	Aluvias

Tabla N° 15

**LA MODELACION HIDROGEOQUIMICA.** - Es una herramienta poderosa para interpretar y/o predecir las reacciones químicas entre minerales, materia orgánica y el agua superficial o subterránea en sistemas acuáticos. Los programas de equilibrio químico adoptados para resolverlos en computadoras personales, constituyen una herramienta poderosa para las personas interesadas en obtener un conocimiento más profundo a partir de los datos hidrogeoquímicos de campo y de laboratorio. Los avances en la modelación en los últimos años, han sido impulsados por la necesidad de entender la evolución geoquímica de sistemas agua-roca y su interacción con el medio ambiente.

El desarrollo de estos programas se inicia a finales de la década de los 60's, distinguiéndose tres principales tipos de modelos:

- 1) Programas de especiación simple.
- 2) Programas de transferencia de masa.
- 3) Programas de transporte de masa.

Los primeros calculan las concentraciones de todas las especies en solución (iones libre, pares de iones y compuestos de coordinación), sus actividades y coeficientes de actividad. Este tipo de modelos, que también se denominan de asociación de iones, consisten de un arreglo de: i) ecuaciones de balance de masa para cada elemento; ii) ecuaciones derivadas de la ley de acción de masas y sus constantes de equilibrio para formación de complejos; iii) ecuaciones que definen coeficientes de actividad de iones individuales. También calcula el estado de saturación de la solución con respecto a un determinado número de fases sólidas.

Los programas de transferencia de masa realizan cálculos de equilibrio estático para un sistema agua- fase sólida, tomando en cuenta intercambio iónico, adsorción de iones, precipitación/disolución de minerales y reacciones de fases gaseosas. Los programas de transporte de masa, unen programas de transferencia de masa con modelos de flujo hidrodinámico sustentados en bases físicas, para predecir la evolución geoquímica del flujo subterráneo.

#### **IV.6 MODELO GEOQUIMICO WATEQ**

El modelo geoquímico Wateq consta de un programa principal y cinco subrutinas; la primera lee los datos del agua, convierte las unidades de concentración a molalidad y calcula todos los datos que dependen de la temperatura a la temperatura de la muestra de agua. La segunda subrutina inicializa los valores de las especies individuales para la interacción de la acción de masa y balance de masa. La tercer subrutina calcula los coeficientes de actividad y resuelve las ecuaciones de acción de masa y las ecuaciones del balance de masa para las especies consideradas.



La cuarta subrutina imprime los resultados calculados para el modelo acuoso y finalmente, la quinta subrutina calcula e imprime los estados de saturación termodinámicos del agua con respecto a varios minerales considerados por el programa.

#### DESCRIPCION DEL WATEQ4F

El modelo Wateq4f posee los siguientes programas ejecutables: Datagen4, Epset, Paginate y Wq4f. El Datagen4 es el programa que se utiliza para crear el archivo que contiene los datos para alimentar el programa principal ( Wq4f ). El Epset prepara la configuración de acuerdo con la impresora que se utiliza y Paginate imprime el archivo que se le solicite, ya sea datos de entrada o de salida.

**DATAGEN4.** Con este programa totalmente interactivo se inicia la rutina de utilización del paquete; aparecerá la primera de seis páginas en las que se vaciarán los datos de cada muestra de agua. Los primeros cuatro datos son indispensables, ya que la secuencia no avanzará si se omite alguno. La temperatura del agua se requiere en grados centígrados y deberá corresponder a la descarga del aprovechamiento en su estado natural. Para la densidad del agua, generalmente se mantiene sin cambiar el dato original. El valor del pH requerido es el de campo, obtenido cuando se toma la muestra de agua.

Otros datos opcionales son el potencial de óxido-reducción medido al momento de tomar la muestra, la concentración de oxígeno disuelto, el carbono orgánico disuelto, sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica. En el caso de que se cuente con varios datos de un mismo aprovechamiento, se pueda introducir en los cálculos la desviación estándar de las diferentes medidas de Eh, pH y oxígeno disuelto. Si no se cuenta con el dato del Eh, entonces se debe dejar el valor de 9.9 si existen condiciones oxidantes.

En una segunda página se manejan opciones de entrada y salida: para comenzar se debe escoger la opción que corresponda para las unidades en que se tienen las concentraciones de las especies que se desea ingresar.

La página número tres maneja las opciones del potencial REDOX ( Eh ). Si el pE se obtiene a partir de datos de Eh, debe anotarse la opción cero, y si se calcula con base en las concentraciones de  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$ , entonces sería válida la opción 1, el valor de pE calculado de cualquiera de estas dos formas es el que se utiliza en los cálculos de especiación.

En la cuarta página es posible ingresar datos de concentraciones analíticas de 39 especies diferentes. Es casi imposible que en un análisis químico se realicen todas esas determinaciones, por lo que únicamente se vaciarán los datos que se tengan.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En la quinta página lo más común es que se deje en blanco, porque es para introducir las desviaciones estándar de las concentraciones, cuando ocurre que se tienen datos de varias muestras obtenidas del mismo aprovechamiento. En ese caso, en la cuarta página se introducen la media aritmética de las concentraciones de cada especie analizada.

La sexta página sirve para abandonar el programa y guardar en el disco el archivo con los datos. Una vez que se introduce la "Y" y se oprime return, aparece un mensaje indicando el nombre del archivo en que se almacenaron los datos.

**PROGRAMA WQ4F.**- Ya que se ha creado el archivo de datos de entrada, se llama al programa principal tecleando WQ4F. Es conveniente dar un "N" para que el programa cargue los valores de las bases de datos termodinámicos. Posteriormente se le indica el nombre del archivo de datos de entrada, que deberá de encontrarse en la misma unidad de disco que el programa, y el nombre del archivo de salida que por conveniencia debe de llamarse de manera diferente que el archivo de datos de entrada y con extensión. OUT para facilitar el uso

Una vez que fueron cargados los datos, aparece la etiqueta que identifica el análisis que actualmente se procesa, si el archivo de entrada incluye varios análisis, sus etiquetas de identificación respectivas aparecerán conforme se procesan. Cuando se termina el manejo de toda la información y si no existió ningún contratiempo, aparece un mensaje de que todo resultó exitosamente y que la corrida del programa ha terminado. El archivo de salida contiene en su inicio una descripción de los datos de entrada, como lo son parámetros de la solución y además aparecen las concentraciones de las especies que se utilizaron como datos. El siguiente apartado se refiere al número de iteraciones que se realizaron hasta que ocurrió la convergencia. El número de iteraciones aumentará con la concentración de la solución estudiada.

Como datos calculados aparece la conductividad eléctrica obtenida a partir de la concentración de sólidos totales disueltos, las concentraciones de miliequivalentes por litro de aniones y cationes ( considerando datos originales y calculados por el programa ) y el porcentaje de error para la condición de electroneutralidad. Otra agrupación incluye datos de Eh y pE calculados de diversas maneras. Conviene hacer notar nuevamente que para los datos de especiación se toma el valor de pE obtenido del Eh de campo, o de datos de  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$ .

En el siguiente bloque, aparecen datos de temperatura, pH, sólidos totales disueltos, así como presiones parciales de varios gases disueltos en el agua. Inmediatamente después, inicia la especiación con la descripción de todas las especies en solución, cuyo número dependerá directamente de la cantidad de especies en el archivo de datos de entrada.

De izquierda a derecha es posible encontrar: especie, valencia, concentración analizada, concentración calculada, número de moles de acuerdo con la concentración calculada, actividad, coeficiente de actividad y el logaritmo negativo de la actividad. Posteriormente aparecen ciertas relaciones que pueden ser útiles si se manejan diagramas de estabilidad por ejemplo, o cierto tipo de gráficas X-Y.

La última porción del archivo incluye los índices de saturación para un número determinado de minerales, que dependerá al igual que el número de especies calculadas, de las especies incluidas en el archivo de entrada. De izquierda a derecha se puede leer la fase sólida con respecto a la cual se determina el índice de saturación.

Un punto muy importante que nos proporciona el modelo es que nos indica el grado de saturación del agua con respecto a cada mineral en cuestión, es decir, nos indica la tendencia a precipitar o disolver alguna fase sólida, si el logaritmo del índice de saturación es positivo indica un agua sobresaturada con respecto a  $\text{CaCO}_3$ . Un índice negativo indica un agua subsaturada. Un índice de saturación de cero, representa agua en equilibrio con el  $\text{CaCO}_3$ .

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados del balance iónico indican que con excepción de una muestra ( pozo CFE 788 ) todas las demás muestras tienen un error analítico permisible no mayor del 10%. Tomando estos datos podemos aplicar el modelo geoquímico Wateq el cual requiere un porcentaje de error del 30% y un pH de un 3.0 al 11.0

Una vez obtenido los resultados observamos los índices de saturación con respecto a la calcita ( Tabla N° 17 ), nos indica que 11 muestras están subsaturadas con respecto a la calcita. Esto es que el agua de dichos aprovechamientos tiene la capacidad de disolver la tubería de metal. Las 25 muestras restantes se encuentran sobresaturadas, esto representa una incrustación del carbonato de calcio en la tubería pudiendo tener como consecuencia la disminución del gasto que se distribuye a través de la red

Las concentraciones de plomo y zinc en el Valle del Mezquital se encuentran por debajo de las normas Mexicanas ( 0.05 mg/l Plomo y 5.0 mg/l Zinc respectivamente). La especiación geoquímica del Zinc se presenta en la tabla N° 16 ( 1/2 ) . Este elemento se encuentra como :  $Zn$ ,  $Zn(HCO_3)_2$ ,  $ZnCO_3$ ,  $ZnCl_2$ ,  $Zn(OH)_2$ ,  $ZnSO_4$ ; La principal especie es el bicarbonato de zinc.

Para el Plomo la especiación geoquímica se presenta en la Tabla N° 16 ( 2/2 ) y se encuentra como :  $Pb$ ,  $Pb(HCO_3)_2$ ,  $PbCO_3$ ,  $PbCl_2$ ,  $Pb(OH)_2$ ,  $PbSO_4$ ; La principal especie es el carbonato de plomo.

En lo que respecta a los resultados arrojados por los análisis físico-químicos el agua subterránea de la zona de acuerdo a la concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD), se tiene lo siguiente: 13 muestras de aguas son de tipo dulce ya que no exceden las 1000 ppm permisibles y las 23 restantes son aguas de tipo salobre.

De acuerdo a la clasificación de Piper, existen en la zona cuatro tipos de familias, predominando dos de ellas, la sódica-bicarbonatada y sódica-clorurada, la primera de ellas predomina en la zona Actopan y Tepatepec, la segunda, corresponde al área de Mangas y Tula. En el área de Actopan-San Salvador los análisis muestran que existe también la familia de agua sódica-carbonatada, así mismo se destacó la presencia de nitratos, mercurio, plomo y litio. Con respecto a Wilcox ( figura N° 13 ) las aguas subterráneas cuentan con una clasificación de C3 S1 y C4 S1 la cual quiere decir muy altamente salina con bajo contenido en sodio.

Los diagramas de Piper para las aguas superficiales indican que es de tipo sódica-clorurada y con respecto a Wilcox las aguas de riego se clasifican como altamente salina con bajo contenido en sodio C3 S1 ( ver figura N° 8 ).

La principal fuente de recarga del valle la constituye la infiltración de una porción del volumen que se aplica para irrigar la superficie del distrito y las infiltraciones en canales y drenes por consiguiente también la contaminación del agua subterránea.

La gráfica de conductividad eléctrica-sólidos totales disueltos es una buena forma para determinar la calidad del agua en el Valle por lo tanto es conveniente realizar campañas de Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos además de que pudiera ser una forma práctica y barata de monitorear la calidad del agua en el Valle del Mezquital.

### RECOMENDACIONES

En lo que respecta a la contaminación por infiltración se recomienda el revestimiento de canales, así como implantar programas orientados al uso eficiente del agua mediante técnicas de riego.

Establecer el control de monitoreo de la calidad del agua tanto superficial como subterránea, para poder detectar cualquier avance de la contaminación; con respecto a los análisis físico-químicos se recomienda incluir la determinación de las concentraciones de metales pesados.

Por otro lado deben de actualizarse los datos piezométricos, realizándose preferentemente dos veces al año; de igual manera, se recomienda la realización de pruebas de bombeo también más seguido ( actualizarlas ).

Por último, fomentar la realización de modelos de simulación de acuíferos, matemáticos, geoquímicos, etc, con el propósito de contar con una herramienta confiable que permita el manejo eficiente del agua subterránea.

ESPECIACION ACUATICA DEL ZINC ( mg/l)

	Zn	ZnCO <sub>3</sub>	ZnO	ZnS	Zn(OH) <sub>2</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	Zn(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		
	0.002	0.001271	0.000208	3E-06	3E-06	5E-06	0	5.6E-05	0
	0.000185	0.000187	0.000129	1.6E-05	0	2E-06	0	1E-05	0
	5.8E-05	3.9E-05	4.8E-05	7E-06	0	1E-06	0	9E-06	0
	0.000357	0.000275	0.000115	1.5E-05	1E-06	2E-06	0	0.000417	5.4E-05
	7.9E-05	8E-05	0.000378	0.000414	0	4E-06	6E-06	2.3E-05	0
	9.4E-05	6.1E-05	9.4E-05	3.3E-05	1E-06	2E-06	1E-06	9.5E-05	9E-06
	5.7E-05	7E-05	0.000352	0.000545	1E-06	3E-06	5E-06	1E-05	0
	6.1E-05	7.4E-05	0.000351	0.000526	1E-06	3E-06	5E-06	1.5E-05	0
	0.000353	0.000269	0.000549	0.000173	3E-06	1E-05	4E-06	4.4E-05	0
	0.000199	0.000232	0.000223	6.8E-05	3E-06	2E-06	1E-06	4E-05	1E-06
	0.000228	0.000226	0.000181	3.6E-05	3E-06	4E-06	0	5.6E-05	1E-06
	0.00021	0.000252	0.000189	4.2E-05	3E-06	2E-06	0	5.3E-05	1E-06
	0.000201	0.000204	0.00025	6.8E-05	1E-06	3E-06	1E-06	3.9E-05	0
	0.00022	0.00026	0.000171	3.5E-05	2E-06	2E-06	0	5.2E-05	1E-06
	0.000166	0.000271	0.000237	9.7E-05	2E-06	1E-06	0	3.2E-05	1E-06
	3.1E-05	2.5E-05	1.6E-05	2E-06	0	0	0	1.7E-05	1E-06
	0.000181	0.000303	0.00019	6.2E-05	2E-06	1E-06	0	4.7E-05	1E-06
	0.000226	0.00026	0.000169	3.5E-05	4E-06	2E-06	0	3.6E-05	0
	0.000172	0.000281	0.000223	8.6E-05	2E-06	1E-06	0	3.1E-05	0
	0.00529	0.00476	0.00315	0.000448	5.9E-05	4.5E-05	7E-06	0.000857	9E-06
	0.001278	0.001415	0.006598	0.006705	1E-06	9.5E-05	7.6E-05	5E-05	0
	0.000114	9.4E-05	0.000393	0.000269	0	7E-06	6E-06	2E-05	0
	0.000146	0.000264	0.000285	0.000119	0	3E-06	0	1E-05	0
	9.4E-05	6.1E-05	9.4E-05	3.3E-05	1E-06	2E-06	1E-06	9.5E-05	9E-06
	0.004274	0.003223	0.002281	0.000208	1E-05	5.5E-05	6E-06	0.000248	1E-06
	0.000209	0.000275	0.000189	3.8E-05	1E-06	2E-06	0	3.5E-05	0
	0.000147	0.00014	0.000345	0.000188	1E-06	5E-06	3E-06	1.9E-05	0
	0.000277	0.000306	6E-05	3E-06	5E-06	1E-06	0	2.1E-05	0
	0.000204	0.000286	0.00017	4.4E-05	3E-06	1E-06	0	4.9E-05	1E-06
	0.000234	0.000252	0.000152	2.6E-05	3E-06	2E-06	0	5.6E-05	1E-06
	0.000256	0.000271	5.3E-05	3E-06	1E-06	1E-06	0	0.00013	5E-06
	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0.000125	0.000179	0.000338	0.000242	1E-06	3E-06	2E-06	2.7E-05	0
	0.000167	0.000124	0.000272	0.000123	2E-06	2E-06	1E-06	3.4E-05	1E-06
	2E-06	1E-06	4.6E-05	0.000195	0	1E-06	6E-06	0	0
	0.000101	0.000111	0.00034	0.000352	2E-06	4E-06	3E-06	3.1E-05	1E-06

Tabla N°16 (1/2)

\* = muestra donde no existió balance iónico

ESPECIACION ACUATICA DEL PLOMO (mg/l)

	Pb	PbHCO3	PbCO3	Pb(CO3)2	PbCl	PbOH	PbSO4	Pb(SO4)2
1	2.7E-05	7.1E-05	0.000162	0	0	1E-06	1E-06	
2	8E-06	3.3E-05	0.000313	4E-06	0	1E-06	1E-06	
3	3E-06	9E-06	0.000151	2E-06	0	1E-06	1E-06	
4	2E-05	6.7E-05	0.000385	5E-06	1E-06	2E-06	3.4E-05	2E-06
5	1E-06	3E-06	0.000209	2.2E-05	0	1E-06	0	
6	2.7E-05	7.4E-05	0.00158	5.4E-05	2E-06	9E-06	3.9E-05	2E-06
7	2E-06	1.1E-05	0.000743	0.000112	0	3E-06	1E-06	
8	2E-06	1.3E-05	0.000823	0.00012	0	3E-06	1E-06	
9	5E-06	1.5E-05	0.000417	1.3E-05	0	2E-06	1E-06	
10	1.7E-05	8.1E-05	0.001085	3.2E-05	3E-06	4E-06	5E-06	
11	1.6E-05	6.6E-05	0.000731	1.4E-05	2E-06	2E-06	5E-06	
12	1.8E-05	9E-05	0.000941	2E-05	3E-06	3E-06	6E-06	
13	3E-06	1.4E-05	0.000245	6E-06	0	1E-06	1E-06	
14	1.9E-05	9.4E-05	0.000851	1.7E-05	2E-06	3E-06	7E-06	
15	1.5E-05	0.000105	0.001269	5.1E-05	2E-06	3E-06	4E-06	
16	1.1E-05	3.6E-05	0.00323	4E-06	1E-06	2E-06	8E-06	
17	2.5E-05	0.000174	0.001506	4.8E-05	4E-06	4E-06	9E-06	
18	2.4E-05	0.000116	0.001047	2.1E-05	5E-06	4E-06	6E-06	
19	2.1E-05	0.000142	0.00162	6.1E-05	4E-06	4E-06	6E-06	
20	2.6E-05	9.7E-05	0.000892	1.2E-05	3E-06	4E-06	6E-06	
21	2E-06	9E-06	0.000572	5.7E-05	0	2E-06	0	
22	2E-06	5E-06	0.000309	2.1E-05	0	1E-06	0	
23	5E-06	3.9E-05	0.000578	2.4E-05	0	1E-06	0	
24	2.7E-05	7.4E-05	0.00158	5.4E-05	2E-06	9E-06	3.9E-05	2E-06
25	8E-06	2.6E-05	0.000256	2E-06	0	1E-06	1E-06	
26	1.1E-05	6.1E-05	0.000582	1.1E-05	0	2E-06	3E-06	
27	6E-06	2.3E-05	0.00077	4.1E-05	1E-06	3E-06	1E-06	
28	6.4E-05	0.000301	0.000814	5E-06	1.4E-05	3E-06	7E-06	
29	2.5E-05	0.000147	0.001213	3E-05	5E-06	3E-06	9E-06	
30	2.7E-05	0.000122	0.001024	1.7E-05	5E-06	4E-06	9E-06	
31	3.2E-05	0.000143	0.000384	2E-06	2E-06	1E-06	2.3E-05	
32	*	*	*	*	*	*	*	*
33	5E-06	2.5E-05	0.000783	5.5E-05	1E-06	3E-06	2E-06	
34	7E-06	4E-05	0.000706	0.00031	1E-06	2E-06	2E-06	
35	0	1E-06	0.000364	0.00015	0	2E-06	0	
36	5E-06	2.4E-05	0.001037	0.000105	1E-06	3E-06	3E-06	

Tabla N° 6 (2/2)

\* = muestra donde no existio balance ionico

INDICES DE SATURACION (mg/l)

Nº DE MUESTRA	calca
1	-1.264
2	-0.506
3	-0.217
4	0.304
5	0.845
6	0.64
7	0.947
8	0.923
9	-0.017
10	0.136
11	-0.595
12	-0.545
13	0.168
14	0.011
15	0.112
16	0.043
17	0.274
18	0.172
19	0.452
20	0.062
21	0.756
22	0.393
23	-0.944
24	0.64
25	-0.584
26	-0.087
27	0.731
28	-0.357
29	0.302
30	0.053
31	-0.308
32	*
33	0.574
34	0.292
35	0.227
36	0.742

TABLA Nº 17

\* = Muestra donde no existia balance ionico



*A*

*N*

*E*

*X*

*O*

TEMPERATURA MENSUAL EN (°C)  
ESTACION MIXQUIAHUALA, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
1958	15.1	14.8	17.0	18.7	20.7	20.5	18.8	20.2	17.9	18.6	16.7	13.8	17.7
1959	14.4	15.5	19.6	20.7	20.8	20.4	23.2	19.8	16.3	15.5	15.1	14.3	18.0
1960	12.3	15.2	16.1	17.5	17.8	18.6	20.0	19.2	18.4	15.7	14.1	13.5	15.5
1961	14.7	13.8	18.4	20.3	19.4	20.5	18.8	19.1	18.8	16.1	14.9	13.6	17.4
1962	14.3	16.9	18.7	17.8	22.0	20.8	19.0	19.8	19.1	15.3	15.4	13.5	17.7
1963	12.3	14.4	18.3	19.4	20.3	20.2	18.9	18.8	19.2	15.2	15.4	15.0	17.3
1964	13.5	17.4	15.9	19.3	20.3	19.6	19.6	19.7	18.4	16.9	13.7	13.0	17.3
1965	13.3	15.0	16.9	19.3	20.0	20.1	19.3	18.9	18.0	15.8	15.5	15.7	17.3
1966	13.7	13.8	15.3	18.6	19.9	20.0	18.7	18.7	19.0	17.3	16.1	14.7	17.2
1967	14.7	16.6	18.0	19.9	20.1	21.3	19.9	19.2	18.2	17.6	14.9	14.1	17.9
1968	13.5	14.4	18.0	21.7	19.7	19.2	18.6	19.0	18.3	17.8	13.3	13.8	17.3
1969	15.2	14.8	17.2	18.2	20.2	19.4	15.7	18.0	17.5	16.8	15.5	15.1	17.0
1970	13.5	14.5	14.8	19.6	20.3	17.2	17.9	17.9	18.1	17.4	16.4	15.2	16.9
1971	14.0	14.7	18.1	19.3	19.5	19.7	18.6	19.2	19.2	17.8	15.2	14.1	17.5
1972	15.3	14.8	14.9	17.0	18.0	19.7	16.5	18.8	15.4	16.1	15.7	16.7	16.6
1973	15.2	17.5	20.3	21.9	21.7	20.4	19.4	19.7	18.2	17.4	15.7	13.9	18.4
1974	13.4	14.2	19.4	19.5	20.5	19.8	19.6	18.8	19.7	18.2	15.8	15.5	17.9
1975	16.1	13.4	20.0	18.1	21.1	20.1	19.6	20.1	20.2	18.5	16.8	14.8	18.2
1976	14.7	14.5	17.7	21.4	22.1	20.5	20.0	19.6	19.4	17.3	17.5	16.3	18.4
1977	15.2	16.4	18.7	21.2	20.1	18.7	18.9	19.5	16.4	18.0	16.5	14.8	17.9
1978	13.7	13.9	17.9	16.2	20.3	16.6	18.5	18.9	18.2	16.4	14.5	12.2	16.8
1979	8.3	13.8	17.2	18.4	19.7	19.4	18.0	18.5	18.1	17.4	14.1	14.4	16.4
1980	14.4	15.6	18.6	20.7	20.6	20.1	18.5	18.3	18.2	16.9	15.1	13.5	17.5
1981	12.2	13.0	16.1	19.4	22.1	20.8	18.6	19.0	18.8	16.3	16.3	14.5	17.3
1982	13.2	14.4	17.5	20.6	18.6	19.2	17.3	17.7	16.0	17.9	14.3	13.3	16.7
1983	13.3	15.2	17.7	17.8	18.2	18.5	17.3	18.3	18.1	17.0	15.2	13.8	16.7
1984	10.9	15.0	14.3	19.0	19.9	18.8	17.3	17.7	18.4	17.2	15.4	14.1	16.5
1985	13.3	14.6	16.4	17.5	19.1	18.8	18.7	18.7	19.1	14.2	14.1	14.1	16.6
1986	11.6	14.6	15.9	18.9	20.1	19.6	19.0	18.6	16.4	14.7	14.5	14.8	16.6
1987	15.7	13.8	15.3	16.7	19.3	19.7	18.0	18.9	16.6	13.8	15.7	13.7	16.4
1988	8.3	13.0	14.3	16.7	17.8	17.2	15.7	17.7	15.4	13.8	13.3	12.2	16.4
1989	16.1	17.5	20.3	21.9	22.1	21.3	23.2	20.2	20.2	18.6	17.5	16.7	18.4
1990	13.7	14.8	17.3	19.2	20.0	19.6	18.7	18.9	18.1	16.7	15.3	14.3	17.3

TEMPERATURA MENSUAL EN (°C)  
ESTACION IXMIQUILPAN, HGO.

	JUN	JUL	AUG	AGO	SEPT	OCT	NOV	ANUAL				
15.6	14.8	17.5	19.4	22.2	21.7	21.2	22.0	19.8	20.6	17.5	14.2	18.9
14.9	15.3	15.8	20.4	21.8	21.3	20.8	20.3	20.6	17.3	16.3	15.2	18.6
14.0	17.2	18.8	19.1	21.4	22.2	21.1	21.9	21.6	20.4	15.3	15.9	19.1
15.3	13.6	19.7	21.4	20.7	22.3	20.8	21.1	20.0	18.6	16.4	14.8	18.7
14.8	17.2	19.3	21.8	22.0	21.6	21.5	21.6	21.5	17.3	17.2	15.1	19.2
12.8	15.1	18.8	20.9	22.5	22.7	21.4	21.3	21.8	17.7	17.4	15.6	19.0
13.7	15.9	17.1	20.6	21.5	21.5	21.7	21.8	20.0	18.3	14.7	12.5	18.3
12.9	14.5	17.0	20.0	20.9	21.9	20.4	20.5	19.2	17.1	16.3	15.3	18.0
14.0	13.9	16.1	20.6	21.7	22.2	20.9	20.9	21.5	19.1	17.1	15.1	18.6
15.1	16.8	19.0	20.9	21.9	22.4	22.3	21.2	20.8	19.6	16.4	15.1	19.3
13.5	15.4	18.5	22.0	21.5	21.1	21.2	19.7	21.2	19.5	14.0	14.6	18.5
14.8	15.7	18.5	18.8	21.9	21.1	20.4	20.2	20.3	19.1	15.9	15.9	18.6
14.9	15.1	18.0	21.8	22.5	21.6	20.4	20.6	20.9	19.6	18.3	14.9	19.1
13.9	16.5	20.8	20.9	22.0	21.3	20.7	20.5	20.8	19.0	16.6	13.7	18.9
15.4	15.0	18.6	20.3	21.9	21.1	19.6	20.8	19.5	17.2	15.6	14.8	18.3
14.1	16.3	19.6	22.2	21.5	21.0	19.8	20.6	18.4	17.7	15.6	13.1	18.3
13.0	13.6	19.0	19.8	21.2	20.5	20.2	19.8	20.8	18.5	15.2	14.9	18.0
14.9	15.1	19.5	18.7	22.0	21.3	21.4	21.6	21.4	18.9	16.3	14.7	18.8
13.9	14.7	17.0	20.0	21.2	20.1	19.4	19.4	19.9	16.8	16.6	14.6	17.9
12.7	14.5	16.8	19.8	20.1	19.5	20.4	19.2	17.4	15.4	13.8	13.6	16.9
13.2	14.1	18.0	18.8	27.7	20.1	20.1	20.5	19.6	17.1	14.4	12.6	18.0
11.3	14.5	17.3	19.6	20.9	21.0	19.7	19.8	18.7	18.5	13.8	14.3	17.5
14.2	15.4	18.3	21.0	21.6	21.3	20.8	20.1	19.2	17.4	14.8	13.5	18.1
12.9	13.3	16.3	19.5	22.4	22.5	20.2	20.0	20.1	17.1	16.0	14.0	17.9
13.0	14.1	17.3	20.3	19.7	20.2	19.0	18.9	17.5	18.1	147.2	13.4	17.1
12.9	14.9	17.6	18.4	20.0	19.9		18.8	18.4	17.5	15.4		
11.1	14.4	15.0	18.9	20.5	21.0	19.0	19.4	19.2	17.6	15.1	14.0	17.1
13.0	14.0	16.2	17.5	19.8	20.5	20.5	20.0	19.2	14.8	1.0	14.5	17.1
12.1	14.9	16.9	19.1	21.0	19.6	18.2	17.6	15.5	13.7	14.2	12.4	16.3
14.3	14.2		18.3	20.7	21.3	20.5	20.6	19.9	17.2			
15.5	15.3	17.7	21.1	15.0	20.7	20.4						
11.1	13.3	15.0	17.5	15.0	19.5	18.2	17.6	15.5	13.7	13.8	12.4	16.3
15.6	17.2	20.8	22.2	27.7	22.7	22.3	22.0	21.8	20.6	18.6	15.9	19.3
13.8	15.0	17.9	20.0	21.3	21.1	20.4	20.3	19.8	17.8	15.7	14.3	18.2

TEMPERATURA MENSUAL EN (°C)  
ESTACION ACTOPAN, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	13.7	13.9	16.6	18.4	19.4	19.8	18.8	18.3	17.8	18.2	15.6	13.5	17.0
1961	13.1	14.2	17.4	20.3	20.8	19.6	18.3	18.2	18.4	15.5	14.8	13.8	17.0
1962	11.6	14.7	17.8	17.8	19.6	19.5	18.8	19.3	19.1	17.7	13.4	14.2	17.0
1963	13.6	13.0	18.4	20.2	19.4	20.4	18.4	19.0	18.6	16.8	14.8	13.5	17.2
1964	13.5	15.9	18.5	21.1	20.0	19.2	18.7	19.9	19.3	16.2	15.4	13.2	17.6
1965	12.0	14.3	15.9	19.5	20.5	20.4	16.7	19.0	19.2	15.9	14.5	14.2	17.0
1966	12.5	14.9	15.4	19.2	19.6	19.4	19.4	19.2	19.3	16.7	12.0	12.6	16.5
1967	12.7	14.9	16.4	18.8	19.9	20.8	18.6	18.4	18.1	15.7	14.8	14.3	17.0
1968	12.2	12.3	14.8	19.2	19.8	19.8	18.0	18.2	18.5	17.5	14.8	14.8	16.7
1969	13.4	15.4	17.1	18.7	18.9	20.5	18.5	18.0	17.7	16.4	14.1	13.2	16.8
1970	12.0	13.2	17.2	20.6	18.9	18.8	17.8	18.4	17.9	17.0	12.3	12.3	16.4
1971	13.4	14.2	16.5	17.4	19.5	18.2	17.5	17.0	17.7	16.9	14.2	14.1	16.4
1972	13.8	13.3	16.7	19.3	19.8	18.4	17.4	17.3	17.9	17.1	16.6	13.6	16.8
1973	13.5	14.6	19.2	18.9	19.6	19.1	18.1	17.9	17.9	16.2	14.2	12.3	16.8
1974	14.4	13.7	16.6	18.0	19.7	18.2	17.1	17.9	16.8	14.7	14.3	14.7	16.3
1975	13.3	14.6	18.3	20.2	20.3	19.1	17.7	18.1	16.2	16.0	13.9	12.2	16.7
1976	11.7	12.1	17.9	18.5	19.5	17.8	17.8	17.1	18.3	16.9	14.2	14.3	16.3
1977	14.0	18.8	18.3	16.6	19.6	17.5	18.1	18.5	18.6	18.6	16.9	14.2	17.2
1978	13.3	13.7	16.0	20.0	20.3	18.7	18.3	18.2	17.9	15.3	16.0	14.9	16.9
1979	12.7	14.3	16.7	20.1	19.8	18.8	20.1	17.9	16.2	16.3	14.5	13.6	16.8
1980	14.0	14.8	19.1	19.4	21.9	18.5	19.3	19.5	19.4	18.0	14.6	11.1	17.5
1981	11.0	12.9	16.2	17.5	19.1	18.6	16.9	17.2	16.2	16.1	12.6	13.2	15.6
1982	13.5	14.4	17.2	19.5	19.1	18.6	17.6	18.3	17.6	15.9	14.5	12.8	16.6
1983	12.0	12.7	15.9	18.7	21.6	20.4	18.3	18.5	17.7	15.5	15.5	13.4	16.7
1984	12.5	13.7	16.9	20.4	18.1	18.3	17.0	17.0	15.5	17.3	13.7	12.5	16.1
1985	19.0	14.5	16.3	17.4	18.2	17.7		17.8	17.0	16.1	14.9	12.7	16.5
1986	11.0	14.5	14.0	18.8	19.5	18.8	17.4	17.9	18.4	16.6	15.3	13.5	16.3
1987	12.8	14.1	16.4	17.5	18.8	19.1	18.5	19.0	19.3	14.7	14.3	14.2	16.8
1988	11.7	14.7	15.4	18.9	20.6	19.4	18.9	18.7	17.4	15.8	15.4	13.1	16.7
1989	14.2	14.1	14.6	16.4	18.9	20.6	19.0	19.3	18.0	16.6	17.0	14.5	16.9
1990	15.9	15.9	18.5	20.6	21.4	19.7	17.8						129.8
1991	11.0	12.1	14.0	16.4	18.1	17.5	16.9	17.0	15.5	14.7	12.0	11.1	15.6
1992	19.0	18.8	19.2	21.1	21.9	20.8	20.1	19.9	19.4	18.2	17.0	14.9	17.6
1993	13.1	14.2	16.3	18.9	19.7	19.1	18.2	18.2	17.9	16.4	14.5	13.4	16.7

TEMPERATURA MENSUAL EN (°C)  
ESTACION TEZONTEPEC, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	11.5	10.8	13.2	14.3	17.1	16.4	18.0	16.2	14.5	15.3	12.1	10.9	14.2
1961	10.8	10.8	13.7	15.9	18.2	16.9	15.8	15.0	15.3	12.8	13.9	11.5	14.1
1962	9.7	12.3	15.0	14.7	15.9	16.6	15.3	16.2	16.5	14.7	10.9	12.6	14.2
1963	11.2	10.3	14.5	16.4	15.9	17.1	18.0	15.4	15.4	13.9	11.9	10.7	14.1
1964	11.5	12.7	15.0	16.6	16.5	16.0	15.4	15.4	15.8	12.1	12.1	10.5	14.1
1965	9.0	10.8	14.2	15.4	16.4	17.9	15.2	15.3	15.5	12.8	11.9	11.2	13.8
1966	10.2	11.9	12.7	15.1	16.0	16.0	16.1	15.7	14.8	14.0	9.7	9.5	13.5
1967	11.9	14.0	15.8	18.2	19.1	19.3	18.7	18.4	17.3	15.2	14.5	14.4	16.4
1968	9.9	10.2	12.1	15.5	15.9	16.4	15.4	15.2	15.0	13.7	11.9	11.5	13.6
1969	11.0	12.8	15.0	15.6	15.8	17.6	16.4	15.4	14.6	14.0	12.5	10.4	14.3
1970	9.6	11.6	13.9	17.4	15.8	16.0	16.5	16.8	15.6	14.3	10.1	10.1	14.0
1971	10.6	11.2	13.7	14.0	16.3	16.1	15.3	14.7	10.8	14.5	12.1	12.0	13.4
1972	11.4	10.8	13.2	16.1	17.3	16.3	15.1	14.8	15.3	14.8	14.7	11.5	14.3
1973	11.1	12.6	15.5	16.8	17.2	16.3	15.3	15.4	15.4	14.3	11.9	9.3	14.3
1974	11.4	11.9	15.5	15.3	16.9	16.0	14.3	14.7	14.9	12.7	11.2	11.7	13.7
1975	10.3	12.3	14.9	17.0	16.9	16.2	14.8	15.3	13.8	13.3	10.9	9.1	13.7
1976	9.2	9.3	14.3	15.1	15.7	15.5	15.4	14.3	15.8	14.6	12.3	12.5	13.7
1977	11.1	11.1	14.9	14.0	16.3	15.2	15.1	15.5	15.6	14.1	12.3	11.5	13.9
1978	7.7	11.5	13.2	16.5	17.1	16.4	15.5	15.2	15.2	13.4	13.0	12.2	13.9
1979	11.1	12.2	14.2	16.5	17.0	18.0	16.2	14.6	13.6	12.3	12.0	11.6	13.9
1980	13.3	14.2	17.9	18.3	20.0	18.1	18.7	19.0	18.4	15.9	14.1	12.6	16.7
1981	11.1	13.9	16.7	18.1	19.4	19.2	17.7	18.1	17.2	17.3	13.0	13.9	16.3
1982	13.7	15.3	17.8	20.3	19.9	19.4	18.0	17.8	17.9	16.4	14.5	13.2	17.0
1983	11.8	12.1	15.5	19.0	21.4	20.0	18.5	18.4	18.3	16.0	16.1	13.8	16.7
1984	12.5	13.8	16.8	19.5	18.1	18.6	17.3	17.6	16.3	17.5	14.1	13.2	16.3
1985	12.8	14.3	16.5	19.2	18.2	18.4		18.1	17.7	16.7	14.9	13.2	
1986	9.2	12.3	10.4	16.7	17.9	17.6	16.8	16.1	16.7	15.4	14.1	12.0	14.6
1987	11.5	12.9	14.5	16.0	17.5	17.4	17.0	16.7	17.1	12.6	12.8	13.2	14.9
1988	10.1	13.4	14.8	17.4	18.6	18.1	17.5	17.3	15.4	14.0	13.0	11.4	15.1
1989	14.2	14.0	15.0	17.0	19.8	19.3	18.3	18.1	16.8	14.6			
1990	14.3	14.3	16.2		19.4	18.4	17.8						
MIN	7.7	9.3	10.4	14.0	15.7	15.2	14.3	14.3	10.8	12.1	9.7	9.1	13.4
MAX	14.3	15.3	17.9	20.3	21.4	20.0	18.7	19.0	18.4	17.5	16.1	14.4	17.0
MED	11.1	12.3	14.3	16.5	17.4	17.2	16.4	16.2	15.7	14.4	12.7	11.7	14.6

**EVAPORACION POTENCIAL MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION ACTOPAN, HGO.**

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974	133.8	150.8	208.7	224.7	249.8	182.0	168.6	207.4	162.6	148.9	133.2	120.1	2090.6
1975	122.1	155.5	233.7	236.7	184.4	187.4	166.6	178.0	131.2	128.7	149.7	144.5	2018.5
1976	135.6	165.8	227.4	188.1	224.0	181.9	177.7	174.2	177.8	144.3	109.8	112.5	2019.1
1977	119.0	146.2	228.8	182.5	230.0	196.6	240.6	197.7	188.7	169.8	132.3	124.2	2156.4
1978	130.9	134.3	199.6	237.0	257.2	191.2	204.5	171.4	142.1	139.3	132.8	136.7	2077.0
1979	144.1	145.4	202.1	188.2	243.6	204.7	187.5	169.5	133.0	168.2	118.3	93.1	1998.0
1980	128.0	139.6	198.2	205.0	220.7	166.2	166.7	184.1	164.9	150.7	141.6	113.5	1979.2
1981	157.3	164.0	226.6	251.5	196.5	242.0	189.6	206.2	176.6	143.9	146.6	135.2	2236.0
1982	107.4	163.8	204.4	219.5	215.5	228.1	182.8	192.1	156.1	151.0	141.3	158.4	2120.4
1983	163.8	163.9	226.3	263.0	190.1	164.7	161.6	156.3	86.3	132.6	140.4	126.7	1975.7
1984	140.2	178.3	244.9	154.5	198.4	129.5		161.5	158.0	173.3	120.9	118.7	
1985	119.3	174.9	221.3	223.0	246.5	154.3	198.8	213.6	196.6	160.9	133.2	127.5	2169.9
1986	146.1	166.4	224.4	186.8	174.6	148.8	165.7	159.5	142.4	129.1	98.5	87.6	1829.9
1987	85.0	124.1	152.4	172.8	199.8	159.4	187.8	184.0	45.0	130.0	127.2	108.0	1675.5
1988	114.7	127.4	189.5	184.4	198.4	101.7	166.2	159.4	128.2	136.8	127.1	100.4	1734.2
1989	123.0	66.0	176.8	186.1	196.0	169.0	149.4						
1990	85.0	66.0	152.4	154.5	174.6	101.7	149.4	156.3	45.0	128.7	98.5	87.6	2236.0
1991	163.8	178.3	244.9	263.0	257.2	242.0	240.6	213.6	196.6	173.3	149.7	156.4	1675.5
1992	129.3	147.9	210.3	206.4	214.0	175.4	180.9	180.9	145.9	147.1	130.1	120.4	2005.7

**EVAPORACION POTENCIAL MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION IXMIQUILPAN, HGO.**

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	86.8	130.9	164.8	168.2	170.6	169.1	151.6	150.6	119.0	128.3	101.7	79.8	1618.2
	86.7	122.5	175.2	172.7	169.8	135.5	129.2	150.6	122.6	120.4	82.2	84.3	1551.7
	99.8	124.1	175.5	145.3	167.2	166.4	153.9	159.1	133.1	138.2	108.4	81.6	1653.6
	108.8	128.9	162.1	181.3	152.4	142.2	127.0	163.8	136.2	90.7	92.2	75.9	1561.3
	72.4	132.7	146.1	168.0	163.6	155.5	158.3	164.8	136.7	122.5	90.0	84.9	1597.3
	95.8	111.4	168.4	164.9	169.1	159.8	143.1	121.8	133.0	102.9	87.4	66.9	1524.5
	78.6	106.1	124.4	154.0	161.3	133.9	135.6	124.9	121.4	90.4	87.2	77.2	1395.0
	89.8	109.2	138.3	166.5	166.9	158.3	174.8	131.9	100.5	102.4	82.3	80.2	1501.1
	80.1	106.4	144.8	137.5	174.0	137.4	138.7	138.8	113.8	115.7	101.7	57.9	1448.8
	84.2	109.7	162.9	168.4	174.7	155.1	147.3	127.1	105.3	120.8	84.3	68.3	1508.1
	83.8	101.0	169.7	172.0	158.1	128.7	139.4	131.2	103.9	107.9	69.1	59.7	1424.5
	69.5	113.1	141.3	145.8	150.3	101.2	130.8	115.7	115.5	97.4	66.8	58.1	1305.5
	67.2	114.2	147.4	164.0	152.4	130.4	124.7	139.2	144.5	112.3	68.9	60.0	1425.2
	75.9	105.6	193.2	173.1	168.7	127.0	123.2	122.9	102.4	82.1	59.8	52.3	1386.2
	61.8	92.3	153.4	159.0	181.3	146.4	126.1	150.6	119.8	87.5	54.5	48.7	1376.2
	55.1	96.2	170.4	191.3	157.8	143.1	98.0	96.6	103.4	91.8	64.6	59.8	1327.9
	68.5	100.5	162.0	136.5	167.6	144.5	121.0	134.3	117.9	80.7	43.8	41.8	1319.1
	57.0	83.0	166.6	152.7	165.3	152.9	175.8	156.4	132.5	83.2	51.7	62.8	1439.9
	60.4	74.4	144.2	164.8	190.8	152.3	171.2	171.6	109.6	77.5	61.0	56.0	1433.6
	72.6	78.8	144.7	166.1	166.4	172.5	151.9	133.8	102.8	89.7	54.4	62.7	1396.4
	48.0	66.0	129.0	145.8	149.5	172.0	188.5	137.5	110.0	82.2	51.0	47.2	1326.7
	52.5	73.8	134.0	140.6	155.9	143.2	146.6	149.1	110.3	86.9	57.3	50.0	1300.0
	100.3	78.9	133.8	170.8	138.5	167.6	168.8	166.1	123.8	81.3	64.8	69.2	1463.9
	57.8	84.4	177.5	22.5	178.3	188.3	167.6	161.4	127.8	101.2	64.9	58.3	1590.0
	56.5	84.0	133.3	194.5	155.3	169.6	130.7	148.9	84.8	94.2	67.9	50.1	1369.8
	63.3	96.9	122.7	121.3	162.7	145.1		154.4	123.8	97.8	66.6		
	49.2	85.2	154.7	142.4	165.9	145.5	121.2	151.3	116.3	76.7	60.3	46.8	1315.5
	57.4	77.4	124.4	116.8	61.2	138.8	138.3	144.4	114.4	87.3	57.1	49.6	1167.1
	60.2	93.0	136.4	116.6	159.6	168.4	165.6	134.4	96.1	82.4	84.8	45.8	1343.2
	58.4	72.3	136.2	160.2	206.1	178.0	181.8	153.4	127.1	119.8			
	82.6	81.3	141.0	165.1	174.1	131.8	132.3						
	48.0	66.0	122.7	116.8	61.2	101.2	98.0	96.6	144.0	76.7	43.8	41.8	1167.2
	108.6	132.7	193.2	222.5	206.1	188.3	188.5	171.6		138.2	109.4	84.9	1653.6
	172.3	97.8	150.8	159.6	162.4	150.3	145.4	142.8	58.9	98.3	72.0	61.9	1431.0

EVAPORACION POTENCIAL MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION MIXQUIAHUALA, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	96.2	133.1	154.7	177.2	175.2	177.1	119.5	161.8	119.4	124.5	122.7	109.3	1702.7
1961	89.1	132.9	148.0	201.5	234.8	101.3	139.4	141.4	116.6	128.8	95.4	105.5	1532.7
1962	94.0	117.7	166.3	166.6	169.7	152.3	163.9	184.9	133.5	106.0	89.7	85.4	1637.0
1963	117.0	140.9	184.9	212.5	211.1	177.9	137.3	182.9	145.1	109.9	118.4	108.1	1843.9
1964	93.4	162.6	201.9	218.8	194.6	175.5	182.3	207.2	165.0	129.1	111.7	104.8	1946.9
1965	113.0	117.6	177.1	179.9	211.8	177.7	141.1	126.8	135.9	88.5	130.9	110.7	1710.8
1966	116.2	147.3	105.0	120.8	162.9	160.4	135.3	127.6	130.9	102.9	106.2	101.4	1518.9
1967	87.4	140.3	130.9	175.1	176.5	194.3	212.7	176.3	129.4	147.2	140.6	127.8	1837.5
1968	125.5	137.1	199.3	186.2	217.3	175.3	175.2	178.6	156.7	164.7	142.8	98.0	1956.7
1969	116.1	156.2	218.7	22.6	239.0	216.8	183.4	154.4	131.5	159.7	142.6	120.9	2061.9
1970	157.0	132.7	209.8	260.2	194.1	151.3	150.0	144.4	122.8	165.6	125.5	128.8	1942.0
1971	125.9	163.9	189.3	197.5	180.2	125.0	158.5	136.9	137.4	125.0	137.4	123.6	1800.6
1972	120.7	157.7	186.4	188.3	172.5	175.2	177.5	172.4	171.0	141.7	129.8	120.9	1914.1
1973	138.2	157.5	192.9	257.7	206.9	154.0	160.3	180.8	129.6	137.5	119.2	115.6	1980.2
1974	139.3	143.0	146.2	161.5	163.1	156.7	150.1	199.1	157.3	141.1	134.4	126.0	1817.8
1975	126.3	140.3	202.2	197.3	171.3	157.4	165.0	134.8	135.1	100.6	115.8	113.5	1759.6
1976	97.0	126.3	178.1	163.0	175.4	177.1	145.6	158.4	124.0	103.3	74.8	87.1	1610.1
1977	126.1	170.9	217.1	169.5	194.0	193.3	207.4	202.0	169.0	130.8	108.4	103.0	1991.3
1978	126.1	138.9	185.1	231.2	234.0	183.9	203.5	173.5	146.0	127.3	121.8	135.8	2007.7
1979	162.1	156.7	239.7	234.9	192.1	169.5	173.4	193.4	123.1	199.1	139.2	105.9	2089.1
1980	120.8	122.1	218.7	226.4	221.3	206.3	240.3	194.4	160.6	175.7	127.0	126.1	2137.5
1981	123.6	152.6	215.9	192.0	199.0	180.2	180.7	210.9	173.7	144.0	154.0	135.9	2061.5
1982	159.6	156.3	235.9	210.4	203.9	225.4	178.3	190.0	161.1	131.7	111.6	103.8	2068.0
1983	106.2	146.0	233.4	264.3	250.0	239.1	177.0	155.8	134.7	132.8	112.4	112.4	2064.1
1984	104.6	137.2	202.3	247.9	183.0	177.6	138.2	147.2	86.8	141.6	122.8	105.8	1794.8
1985	113.9	134.8	201.8	163.6	186.9	144.3	126.4	165.4	157.7	157.2	124.2	109.1	
1986	112.3	150.0	208.7	191.3	191.7	154.3	168.4		186.6	125.9	115.3	105.6	1710.1
1987	132.2	138.7	206.7	198.0	242.2	198.0	151.1	165.0	177.0	156.0	113.3	117.0	1995.2
1988	119.1	134.6	176.6	203.8	220.2	194.6	169.3	174.0	139.4	152.4	153.2	155.6	1984.0
1989	135.3	139.6	178.3	184.6	225.4	179.8	168.3	153.4	141.6	160.0	130.0	103.0	1899.3
1990	84.0	111.7	105.0	120.8	162.9	101.3	119.5	126.8	86.8	88.5	74.8	87.1	2137.5
1991	162.1	170.9	239.7	264.3	250.0	239.1	240.3	210.9	186.6	199.1	154.0	155.6	1516.9
1992	119.1	143.3	190.6	200.1	200.0	176.3	166.6	168.7	143.2	136.6	122.2	113.6	1878.4



**EVAPORACION POTENCIAL MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION TEZONTEPEC, HGO.**

ANOS	JAN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	128.3	135.0	214.5	185.9	189.4	182.5	136.2	132.3	121.2	116.8	126.1	105.5	1773.7
	125.8	146.6	162.9	173.4	206.6	174.9	149.2	133.1	124.8	120.9	116.4	101.1	1755.5
	83.4	127.1	157.0	172.8	177.3	159.2	172.5	142.3	95.4	106.8	110.6	101.8	1606.4
	108.4	119.1	196.0	154.9	179.7	174.5	129.5	144.0	124.1	138.4	120.1	104.1	1690.8
	105.5	142.8	205.7	208.5	236.1	211.9	175.3	128.4	124.5	156.1	132.1	123.0	1949.9
	129.0	126.1	229.1	237.6	200.0	113.4	125.4	127.7	126.0	143.7	131.8	128.2	1818.0
	137.7	168.0	188.6	205.4	214.1	176.5	142.7	141.2	114.6	122.2	100.2	104.6	1816.1
	105.9	152.4	186.9	228.4	215.7	137.4	127.9	135.3	141.5	134.3	108.2	94.6	1788.5
	139.3	152.7	224.8	212.5	195.9	142.3	127.2	119.6	120.3	123.5	113.1	95.8	1769.0
	112.5	128.1	185.8	187.8	193.0	162.9	125.7	133.5	125.6	121.4	100.7	103.9	1680.9
	101.4	130.8	218.6	240.4	161.9	142.7	130.3	118.1	114.9	125.4	123.2	120.4	1728.1
	112.6	140.4	200.5	152.9	150.7	166.4	104.1	111.6	121.7	106.2	96.6	88.0	1551.7
	114.1	133.9	223.9	177.2	198.9	147.8	139.6	144.4	134.0	127.7	99.7	104.1	1745.3
	119.3	130.2	175.8	209.0	213.6	143.9	146.0	143.8	117.1	104.8	105.7	95.0	1704.0
	131.4	122.5	181.2	185.2	194.7	171.5	149.3	139.0	108.2	148.9	102.5	90.7	1725.1
	94.5	117.4	178.9	175.8	169.7	165.3	175.6	152.0	118.3	121.1	92.6	96.4	1657.8
	84.4	109.6	163.6	153.6	179.2	143.3	136.9	147.8	134.4	109.3	97.6	80.0	1539.7
	110.4	124.3	175.6	188.8	151.2	187.7	155.4	164.2	139.0	116.1	100.7	91.4	1704.8
	92.9	127.3	221.4	219.4	190.1	181.0	148.8	157.1	113.5	119.6	102.5	97.8	1771.4
	102.2	131.0	177.6	230.7	187.8	155.4	120.8	109.8	85.7	118.3	116.6	100.3	1636.2
	107.8	133.1	188.1	157.5	193.7	130.8	124.4	132.2	97.3	125.4	116.1	98.3	1604.7
	116.0	156.3	206.2	179.6	171.5	111.1	145.4	133.8	127.8	119.3	98.3	97.4	1662.7
1967	127.5	138.0	186.3	164.1	174.9	141.9	124.6	140.0	113.2	131.1	92.8	94.3	1628.7
1968	97.8	132.5	155.5	180.6	209.3	158.0	130.7	137.9	124.7	123.4	135.4	118.4	1704.7
1969	106.3	124.8	183.4	181.7	192.4	160.4	159.0	127.4	113.2	122.2			
1970	107.8	90.3	155.2		152.6	134.6	128.4						
<b>MIN</b>	93.4	90.3	155.2	152.9	150.7	111.1	104.1	109.8	85.7	104.8	92.8	80.0	1539.7
<b>MAX</b>	139.3	168.0	229.1	240.4	236.1	211.9	175.8	164.2	141.5	156.1	135.4	128.2	1949.9
<b>ME</b>	111.5	132.3	190.1	190.5	188.4	156.8	139.6	135.8	119.2	124.1	110.0	101.4	1707.2

LLUVIA MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION ACTOPAN, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	4.5	0.0	2.0	27.5	60.0	70.0	115.0	34.5	32.3	18.0	5.5	17.0	386.3
1961	26.0	1.0	2.0	4.5	3.5	78.0	41.5	5.5	95.0	15.5	24.0	0.0	296.5
1962	0.0	0.0	0.0	93.0	4.5	142.0	12.8	28.5	36.0	19.0	1.0	10.0	346.8
1963	0.0	2.0	32.5	6.0	52.0	64.0	103.0	38.5	13.0	39.0	4.0	15.5	369.5
1964	43.0	0.0	13.5	2.0	66.5	35.0	32.0	43.5	58.0	15.5	38.0	14.5	361.5
1965	0.0	12.5	13.0	27.0	60.5	15.5	48.0	70.0	9.0	44.5	11.5	0.0	311.5
1966	9.0	2.5	43.5	69.0	43.0	135.0	49.0	58.5	16.5	34.0	6.5	2.5	469.0
1967	53.0	0.0	49.0	16.5	36.0	31.5	36.0	41.5	95.0	18.0	8.5	3.0	388.0
1968	8.0	43.5	5.0	106.5	46.0	90.5	22.3	30.0	43.0	54.0	1.0	11.5	461.3
1969	19.0	0.3	0.0	13.5	18.0	34.5	41.0	127.0	52.0	38.5	0.0	0.0	343.8
1970	2.0	0.0	0.0	3.0	9.0	81.5	40.0	59.0	81.0	22.0	0.0	0.0	297.5
1971	4.0	0.0	4.5	3.5	12.5	82.8	37.5	110.0	73.5	128.0	16.0	2.0	474.3
1972	16.5	4.0	31.5	0.0	20.4	67.1	47.0	22.5	32.0	9.7	14.3	7.0	272.0
1973	2.4	0.3	0.0	23.4	28.0	195.8	109.8	67.2	67.7	77.5	11.9	2.1	586.1
1974	1.3	1.5	16.0	83.3	91.4	54.2	129.8	11.8	176.5	4.6	4.0	4.5	578.9
1975	16.0	0.5	8.0	1.0	78.9	68.4	84.7	50.0	52.0	9.7	0.0	0.0	369.2
1976	0.5	0.0	22.2	88.6	37.6	39.5	87.1	71.2	100.3	63.0	14.1	14.0	538.1
1977	2.4	1.5	0.0	20.0	21.8	63.0	18.2	67.2	13.1	36.4	0.3	4.5	248.4
1978	4.5	10.0	45.0	61.7	92.4	52.9	81.3	40.5	88.9	15.5	12.7	17.5	522.9
1979	4.0	19.2	4.4	59.5	15.7	70.4	112.4	32.1	84.1	6.3	15.2	16.6	439.9
1980	52.1	6.2	4.9	23.7	105.7	35.2	44.5	54.3	37.8	8.6	1.0	0.0	374.0
1981	21.6	24.1	35.0	30.6	135.6	128.5	50.3	63.3	41.5	62.9	0.0	5.5	598.9
1982	0.0	13.9	6.8	8.8	62.9	41.9	49.3	6.5	17.2	2.7	2.0	3.5	215.5
1983	35.1	3.5	5.1	0.0	40.8	7.1	63.3	39.1	65.5	7.6	21.4	0.2	288.7
1984	4.8	15.5	1.9	0.3	59.0	59.4	50.0	69.4	141.3	1.7	16.0	4.0	423.3
1985	1.0	0.3	15.3	69.2	35.7	115.4		35.4	8.7	13.0	5.5	0.0	299.5
1986	0.0	0.0	0.0	27.7	16.3	82.7	83.5	29.5	21.5	36.8	21.2	0.2	319.4
1987	0.0	0.1	0.0	3.7	54.6	28.1	50.2	13.0	34.9	4.2	21.2	0.0	210.0
1988	6.0	4.7	21.6	46.5	20.4	23.7	43.4	71.9	116.3	6.0	0.3	0.7	361.5
1989	1.7	5.6	1.1	50.1	16.5	45.6	47.1	66.2	64.6	11.9	1.7	15.0	327.1
1990	0.6	30.7	8.7	9.9	36.3	32.7	77.8						196.7
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	7.1	12.8	6.5	8.7	1.7	0.0	0.0	40.3
MAX	53.0	43.5	49.0	106.5	135.6	195.8	129.8	127.0	176.5	128.0	38.0	17.5	1200.2
MEAN	10.9	6.5	12.6	31.6	44.5	66.8	60.2	48.6	58.9	27.4	9.2	5.7	382.9

LLUVIA MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION IXMIQUILPAN, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	18.0	0.0	0.0	17.1	10.3	70.5	22.5	94.1	34.8	10.4	1.4	8.0	287.1
1961	21.8	0.0	0.0	3.0	8.8	133.5	39.4	8.1	101.7	9.0	17.8	4.8	347.9
1962	0.0	0.0	0.0	35.0	0.5	78.7	12.4	11.1	23.8	19.2	4.5	16.0	201.2
1963	0.0	8.2	5.0	5.5	98.0	74.0	63.0	15.0	14.0	19.0	21.5	6.5	329.7
1964	41.2	0.0	17.0	9.6	131.2	24.9	36.6	1.7	32.5	0.8	33.3	7.5	336.3
1965	1.0	15.1	4.0	53.0	41.9	6.1	34.3	75.8	5.1	59.1	6.5	9.1	311.0
1966	11.5	9.0	27.7	35.0	45.0	103.9	53.7	35.8	9.4	71.3	2.1	1.5	405.9
1967	39.5	0.5	34.1	21.5	42.5	9.5	3.5	78.3	115.5	33.0	6.3	0.8	385.0
1968	6.0	18.0	5.7	115.6	96.4	90.5	9.7	37.5	100.4	24.0	0.3	19.0	523.1
1969	15.0	4.2	0.0	26.1	21.8	19.9	18.9	101.5	18.2	4.4	7.6	0.8	238.4
1970	0.5	7.1	0.0	0.0	18.5	134.2	19.4	43.3	69.1	1.6	0.8	0.0	294.5
1971	5.7	0.0	12.5	5.9	23.8	104.5	32.2	32.3	140.8	91.8	9.8	9.0	468.3
1972	2.0	0.0	41.6	2.5	47.5	71.8	32.8	7.3	38.7	3.8	7.2	7.5	262.7
1973	1.8	0.0	1.2	15.1	46.9	118.5	110.7	74.4	66.8	47.0	2.6	0.0	485.0
1974	1.7	0.4	21.7	30.7	35.3	22.1	67.6	15.0	152.0	9.3	3.3	4.5	363.6
1975	27.7	0.0	0.0	0.5	123.0	85.5	108.4	63.5	41.5	1.2	0.0	0.0	451.3
1976	0.1	0.0	19.2	72.0	56.0	49.1	139.0	57.1	92.4	62.5	3.8	14.0	565.2
1977	6.5	1.5	2.0	8.5	49.9	7.2	10.5	44.7	36.5	19.5	13.1	5.6	205.5
1978	8.5	9.3	31.5	25.5	21.9	49.5	27.5	18.2	53.0	58.5	8.0	5.5	316.9
1979	0.0	10.0	2.0	33.2	4.0	48.5	76.5	40.5	51.0	3.5	10.5	54.7	334.4
1980	46.5	1.0	3.5	6.0	81.1	19.2	75.5	41.3	17.5	11.0	4.5	0.0	307.1
1981	36.5	19.5	12.7	34.5	130.7	129.5	58.3	72.0	15.3	49.5	0.0	9.0	567.5
1982	0.0	14.5	18.7	4.2	73.0	12.6	14.6	6.8	9.0	20.0	0.3	9.0	182.7
1983	22.0	4.5	0.0	0.0	26.8	17.5	25.3	20.5	33.5	24.5	8.0	0.0	182.6
1984	9.4	5.5	17.5	0.0	54.0	64.2	35.0	61.9	123.9	2.0	2.3	2.5	378.2
1985	2.0	3.5	9.0	116.7	67.5	73.5		4.1	24.3	0.5	2.0		303.1
1986	0.0	0.0	0.0	84.0	6.5	99.5	14.0	5.0	45.5	15.5	8.5	11.5	290.0
1987	0.0	0.0	1.5	1.0	60.5	40.5	55.0	6.0	24.0	2.0	15.4	7.0	212.9
1988	16.0	8.5	17.5	33.5	10.0	53.3	35.8	64.0	77.0	1.5	0.0	0.0	317.1
1989	16.0	21.0	1.3	33.5	2.0	59.5	41.0	75.0	31.5	0.8	1.4	14.1	297.1
1990	6.0	46.0	0.1	2.5	27.6	50.5	52.5						185.2
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.1	3.5	1.7	5.1	0.5	0.0	0.0	17.4
1992	46.5	46.0	41.6	116.7	131.2	134.2	139.0	101.5	152.0	91.6	33.3	54.7	1088.3
1993	11.6	6.6	9.9	26.8	47.3	62.0	44.1	40.4	53.2	22.5	6.8	7.8	339.0

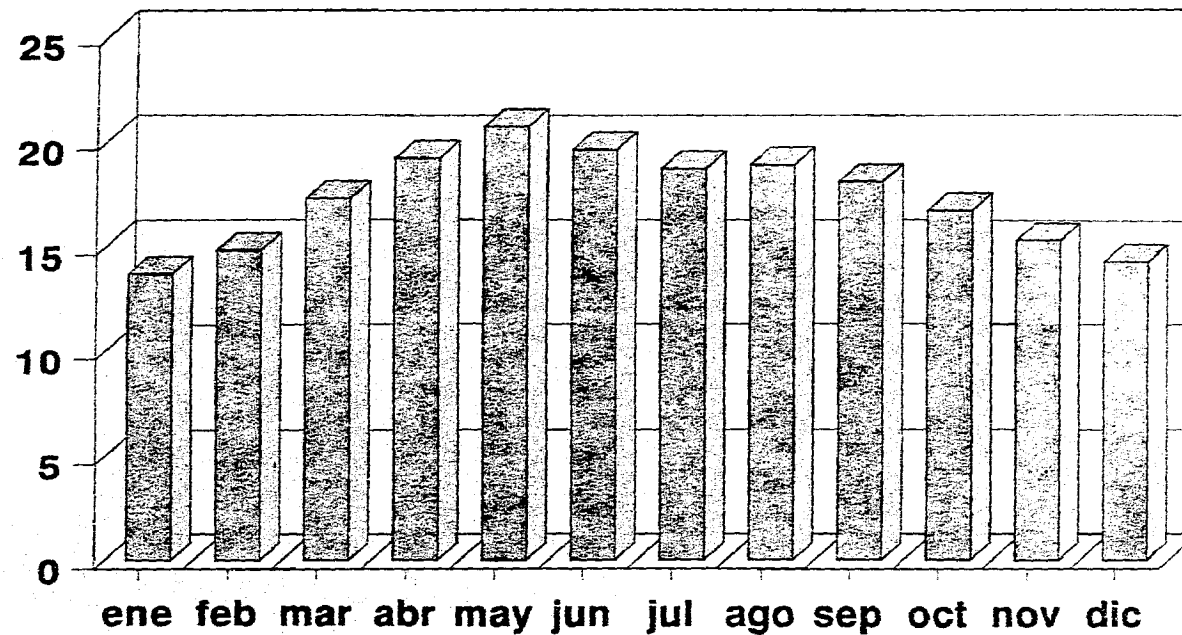
LLUVIA MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION MIXQUIAHUALA, HGO.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	22.0	0.0	1.0	2.0	37.0	21.0	76.0	50.0	139.0	9.0	9.0	14.0	390.0
1961	21.0	0.0	0.0	57.6	3.0	98.7	58.0	53.5	68.9	18.0	18.8	5.5	403.0
1962	0.0	0.0	0.0	60.0	42.0	67.8	8.5	28.0	71.8	30.2	30.2	23.1	361.6
1963	0.0	0.0	7.0	35.5	23.4	85.0	102.5	20.0	22.0	40.0	40.0	4.2	379.6
1964	40.0	0.0	10.5	22.5	99.5	41.5	94.3	27.9	64.9	4.8	4.8	16.5	427.2
1965	2.0	6.6	23.1	28.0	93.7	18.5	61.6	84.8	54.0	52.5	52.5	2.0	479.3
1966	7.0	1.5	39.7	35.2	39.5	95.0	119.6	69.9	19.0	37.3	37.3	4.0	505.0
1967	40.0	4.0	30.3	27.5	59.5	58.0	21.5	147.8	144.5	22.8	22.8	1.0	579.7
1968	8.2	14.7	1.7	80.5	68.2	100.0	32.8	30.2	98.2	50.8	50.8	18.3	554.4
1969	13.9	0.8	0.2	39.5	22.8	44.0	79.9	110.0	21.9	12.1	12.1	0.5	357.7
1970	0.5	6.1	0.0	2.7	45.6	128.7	25.9	38.1	62.5	8.4	8.4	0.0	326.9
1971	1.7	0.0	12.1	1.0	36.0	148.5	17.5	41.3	82.0	60.4	60.4	16.7	477.6
1972	2.5	2.0	31.0	12.0	38.3	83.5	64.5	21.0	65.0	16.5	16.5	8.0	360.8
1973	3.7	0.0	0.0	48.4	77.0	129.0	88.2	77.6	64.0	100.5	100.5	14.0	702.9
1974	7.5	2.0	37.2	49.2	67.7	45.7	102.1	72.0	192.8	20.0	20.0	6.1	622.3
1975	28.7	1.0	0.0	4.3	161.0	102.3	154.0	101.5	31.3	9.8	9.8	0.0	603.7
1976	1.9	0.0	22.2	34.6	33.6	38.3	100.3	155.6	90.5	83.7	83.7	25.2	669.6
1977	4.4	1.5	1.7	22.7	25.7	96.9	106.4	172.1	21.8	29.2	29.2	6.7	518.3
1978	7.0	19.0	40.6	11.1	30.9	50.4	61.1	55.1	51.8	31.4	31.4	9.7	399.5
1979	0.7	13.0	3.8	27.8	53.2	23.8	109.0	38.6	69.3	0.3	0.3	30.1	369.9
1980	38.3	9.6	17.0	36.6	159.2	24.0	69.8	70.6	20.7	83.2	83.2	0.0	612.2
1981	34.2	17.0	19.1	89.0	97.4	104.0	67.2	85.9	14.9	124.7	124.2	5.0	782.6
1982	0.0	10.7	13.4	51.0	21.5	14.8	16.1	60.5	15.7	40.9	40.9	9.5	295.0
1983	24.8	0.3	4.5	0.0	48.2	37.9	75.9	40.3	69.5	6.1	6.1	0.0	313.6
1984	9.2	7.5	8.3	0.0	35.4	129.5	89.5	35.1	107.4	0.0	0.0	7.8	429.7
1985	2.4	3.5	10.1	129.7	94.6	132.5	60.5	18.5	21.9	3.8	3.8	0.5	481.8
1986	0.0	0.0	0.0	42.7	25.7	211.0	133.7	80.2	22.0	16.2	16.2	2.3	550.0
1987	0.0	1.1	0.0	34.3	102.7	33.6	50.7	54.7	55.8	0.0	0.0	0.0	332.9
1988	7.1	15.7	23.8	30.5	34.3	35.1	63.3	106.6	77.8	3.2	3.2	0.0	400.6
1989	3.0	0.0	3.5	21.1	13.0	80.0	22.5	79.8	129.8	7.8	7.8	21.8	389.9
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	14.8	8.5	18.5	14.9	0.0	0.0	0.0	59.7
MAX	40.1	19.0	40.8	129.7	161.0	211.0	154.0	172.1	192.8	124.7	49.3	30.1	1324.6
MED	11.0	4.6	12.4	34.5	56.3	75.8	71.0	67.5	65.7	30.7	10.6	8.3	448.4

LLUVIA MENSUAL TOTAL (mm)  
ESTACION TEZONTEPEC, HGO.

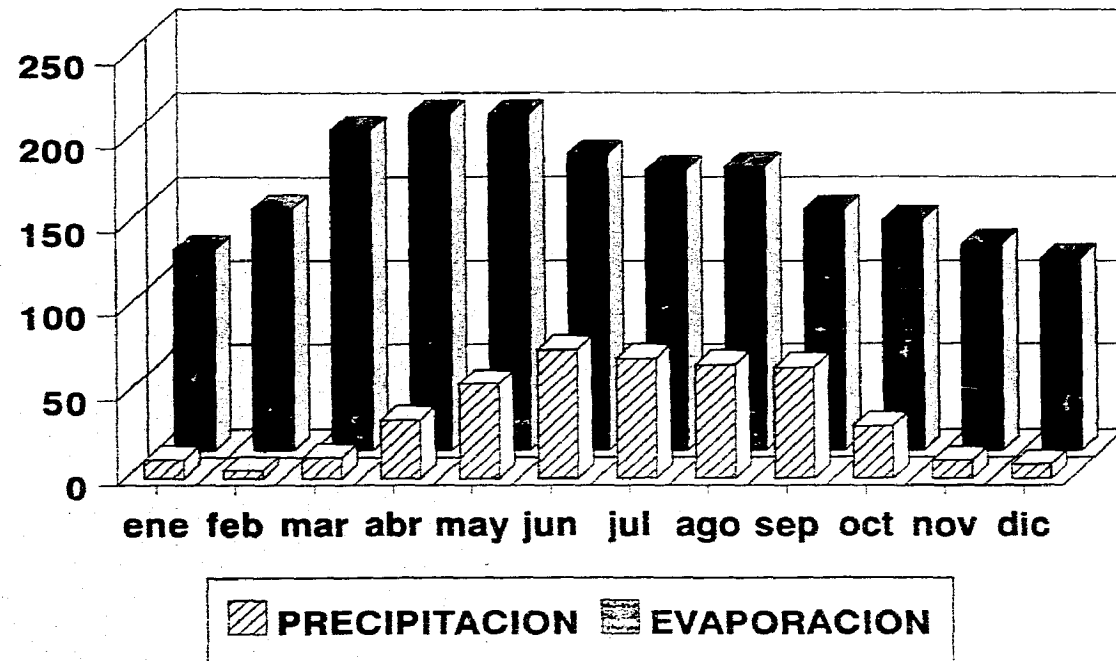
FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	10.5	0.0	5.5	17.0	68.0	36.0	73.5	77.0	53.0	77.0	0.0	12.5	430.0
	17.5	0.0	3.0	8.0	10.0	129.0	90.5	73.0	49.0	36.5	21.5	16.0	454.0
	0.0	8.5	2.0	53.7	33.5	82.8	67.5	42.5	46.5	40.5	27.5	4.5	409.5
	0.0	4.5	31.0	20.5	71.0	67.0	122.3	65.0	34.0	52.8	12.0	13.0	493.1
	40.1	1.0	9.5	16.0	94.9	118.0	70.0	53.2	47.0	3.5	452.0	16.0	921.2
	2.5	25.1	30.6	17.4	135.0	105.0	156.6	71.1	88.3	36.1	8.5	2.2	678.4
	6.2	12.0	59.0	109.1	26.8	93.1	108.2	130.3	21.3	29.0	0.0	7.0	602.0
	37.0	4.5	27.0	27.0	70.5	158.5	15.8	112.0	180.0	25.5	0.0	0.0	657.8
	9.5	34.7	0.0	99.5	97.2	144.6	54.5	78.5	193.4	5.5	9.6	16.7	743.7
	30.5	14.0	12.8	27.0	2.2	36.6	68.2	172.4	36.0	8.3	12.0	0.0	420.0
	3.2	18.0	0.5	14.5	41.7	139.5	74.7	36.5	79.4	7.4	0.0	1.0	416.4
	0.5	0.0	9.0	6.2	36.5	127.2	74.0	96.8	125.4	113.0	4.0	17.0	609.6
	0.5	4.0	26.5	17.0	64.8	35.0	106.0	47.0	68.5	39.0	34.0	12.0	454.3
	3.5	0.0	0.0	28.5	60.7	105.0	167.0	99.5	110.0	75.5	41.5	1.0	692.2
	17.0	2.0	6.5	43.5	35.5	96.0	120.0	43.0	125.0	11.0	4.0	1.5	505.0
	25.0	18.5	0.5	10.9	78.8	97.2	111.5	139.4	29.5	6.0	0.0	0.0	517.3
	0.0	0.0	49.5	87.0	99.6	18.0	109.0	67.2	81.3	76.8	15.3	31.0	634.7
	6.0	5.5	0.0	42.5	52.0	116.7	108.3	89.7	70.0	67.5	2.6	1.7	562.5
	5.5	7.0	41.7	68.5	17.5	37.7	59.9	56.8	93.9	38.5	5.6	13.5	446.1
	0.0	37.6	34.6	61.0	32.9	36.3	105.9	181.9	90.7	3.0	5.0	14.8	603.7
	35.5	4.5	31.0	19.5	115.0	60.0	48.5	77.0	20.5	64.0	13.5	0.0	489.0
	32.0	18.5	15.0	90.0	120.5	110.5	56.0	47.5	18.5	110.0	0.0	13.5	632.0
	0.0	9.5	23.5	43.0	39.0	51.0	27.0	53.0	25.0	81.0	2.0	8.0	362.0
	22.0	2.0	4.0	0.0	35.5	6.0	47.0	122.5	98.5	10.5	23.0	0.5	371.5
	6.5	13.5	5.5	0.5	68.0	102.5	95.0	39.5	110.0	1.0	3.5	9.5	455.0
	3.0	6.0	12.5	127.5	78.0	122.0		25.5	82.0	3.5	2.0	0.5	462.5
	0.0	1.0	0.0	39.4	68.8	116.9	75.2	118.8	34.3	75.0	14.5	1.0	544.9
	0.0	3.2	2.8	36.3	54.9	116.3	140.6	130.8	61.8	0.0	10.4	0.0	557.1
	1.0	10.9	33.8	18.6	38.5	49.5	80.6	55.1	69.2	19.5	3.0	0.0	379.7
	9.5	9.0	0.0	37.0	24.0	86.0	70.0	70.5	78.5	4.5	2.0	22.5	413.5
	1.0	48.0	2.0		24.0	86.5	70.8						232.3
	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	6.0	15.8	25.5	18.5	0.0	0.0	0.0	68.0
	40.1	48.0	69.0	127.5	135.0	158.3	167.0	181.9	193.4	113.0	42.0	54.7	1329.9
	10.5	10.4	15.7	39.5	57.9	86.6	85.8	82.5	74.0	37.8	10.6	7.8	519.1

# TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C EST. MIXQUIAHUALA, HGO. (1960-1989)

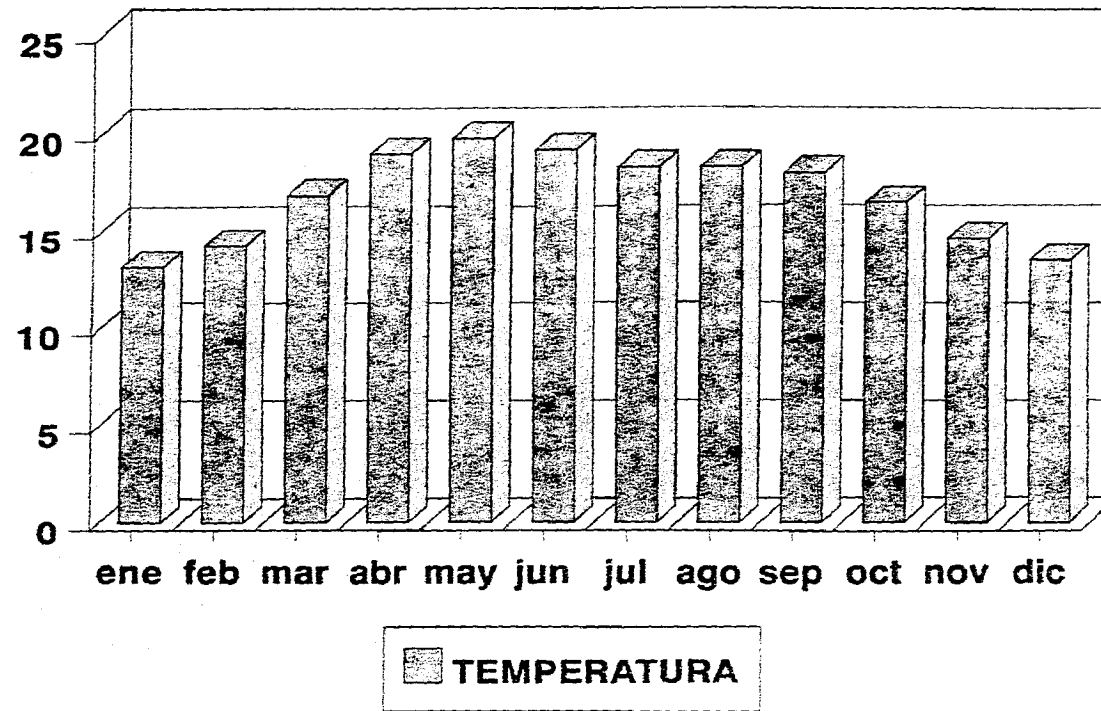


■ TEMPERATURA

# PRECIPITACION Y EVAPORACION MEDIA MENSUAL EST. MIXQUIAHUALA, HGO. (1960-1989)

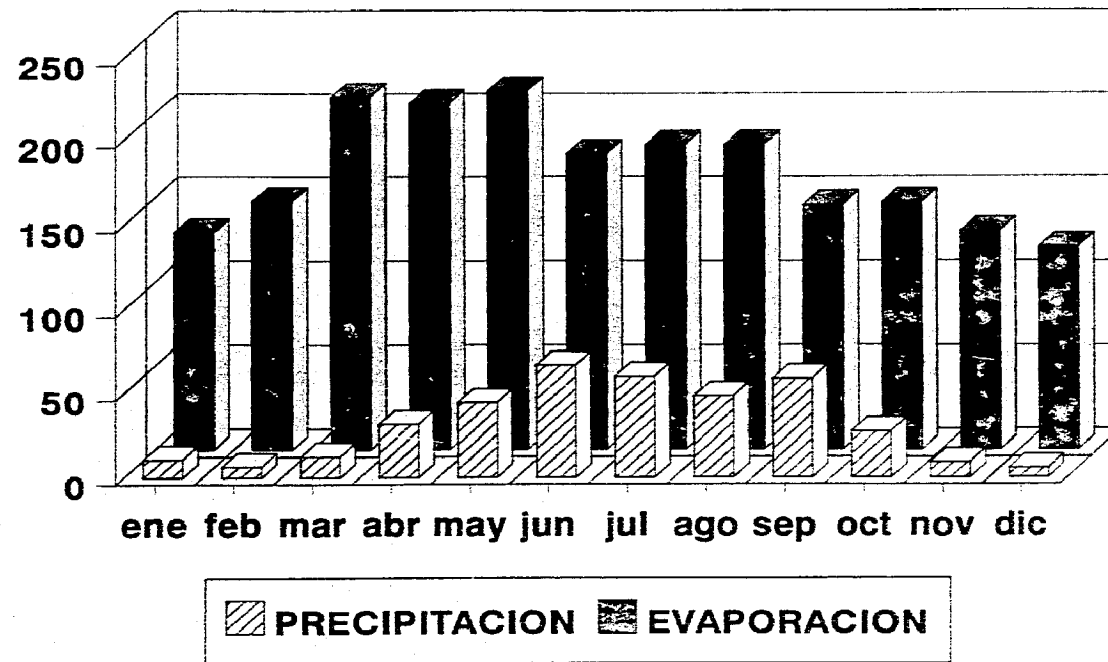


# TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C EST. ACTOPAN, HGO. (1960-1990)

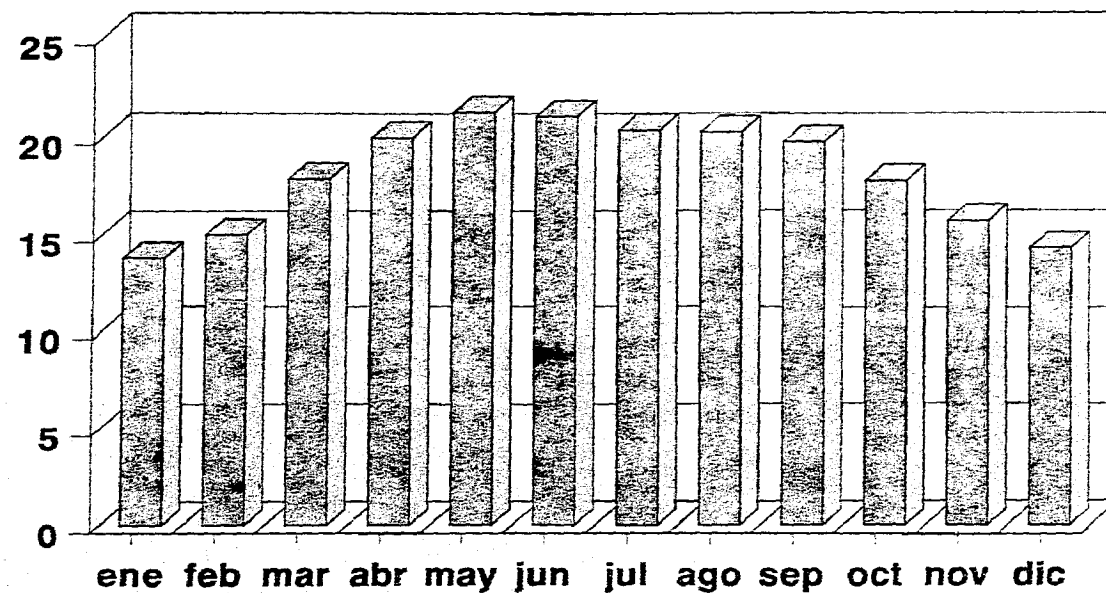




# PRECIPITACION Y EVAPORACION MEDIA MENSUAL EST. ACTOPAN, HGO (1960-1990)

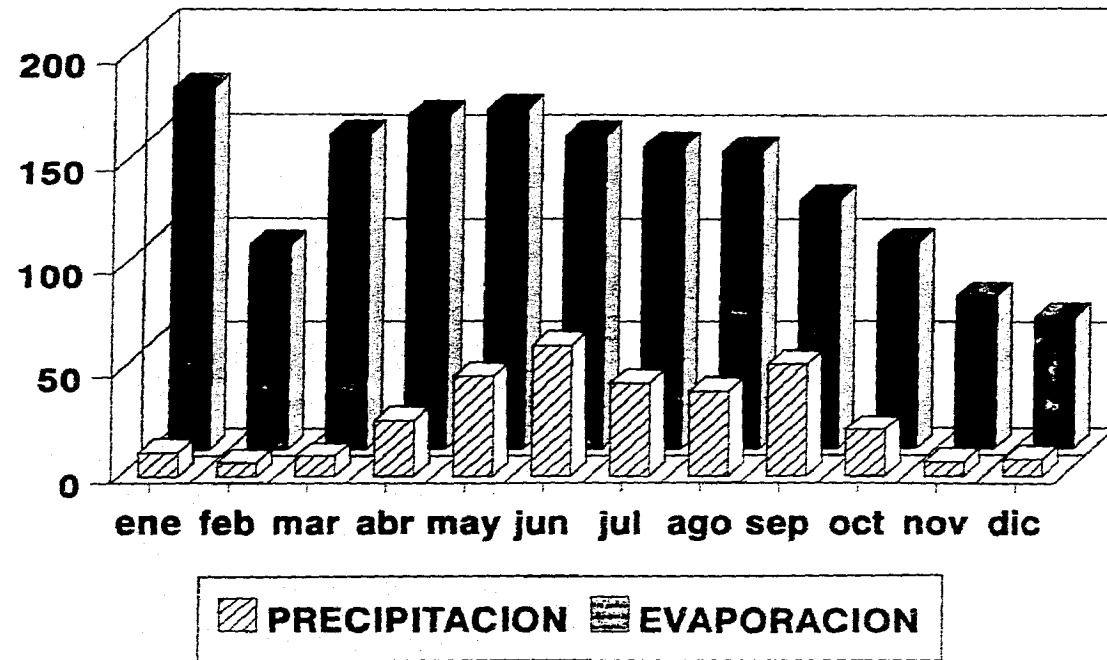


## TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C EST. IXMIQUILPAN, HGO. (1960-1990)

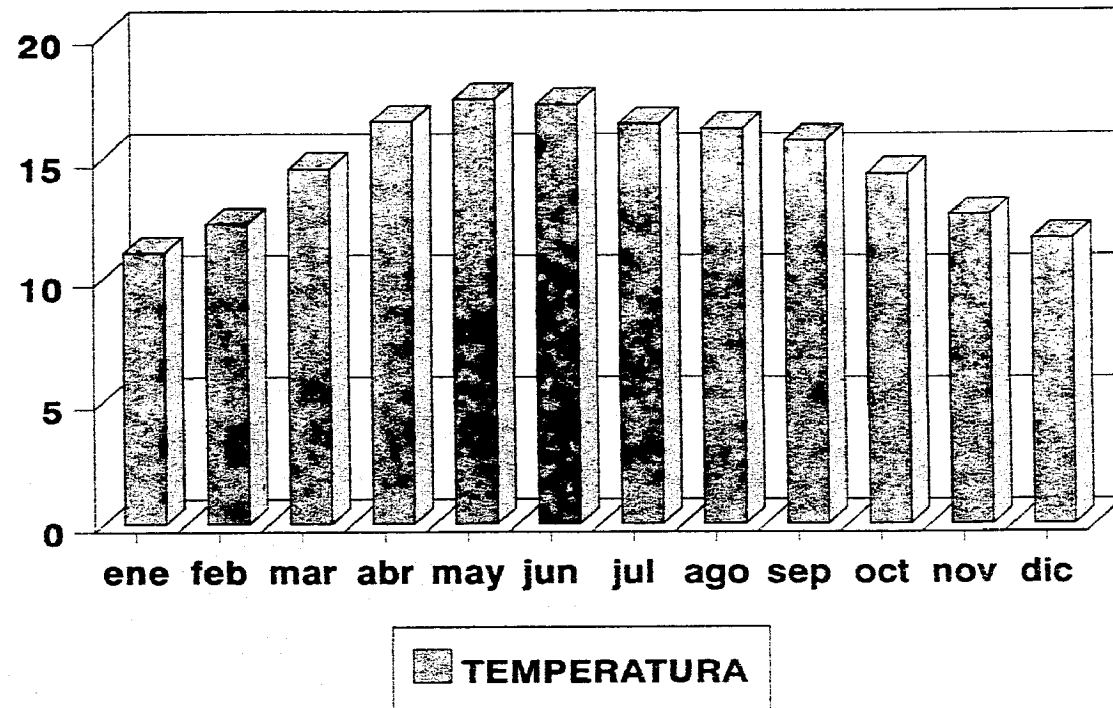


TEMPERATURA

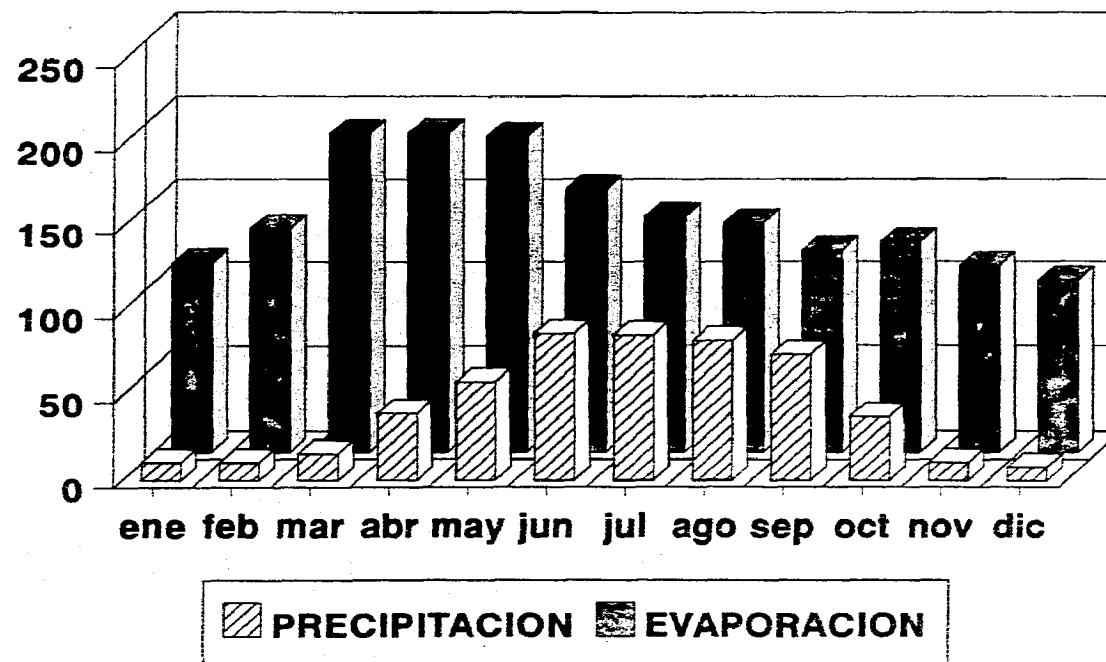
# PRECIPITACION Y EVAPORACION MEDIA MENSUAL EST. IXMIQUILPAN, HGO. (1960-1990)

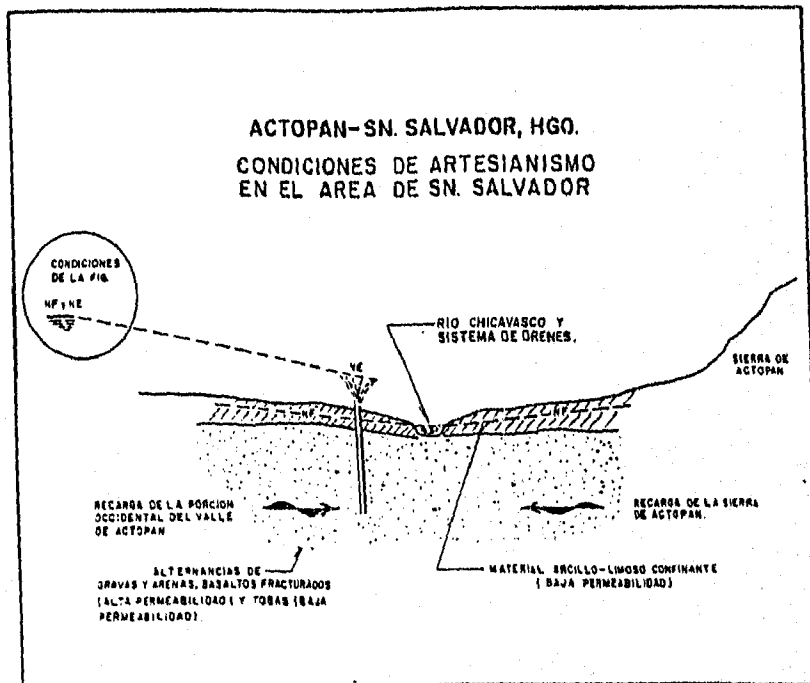
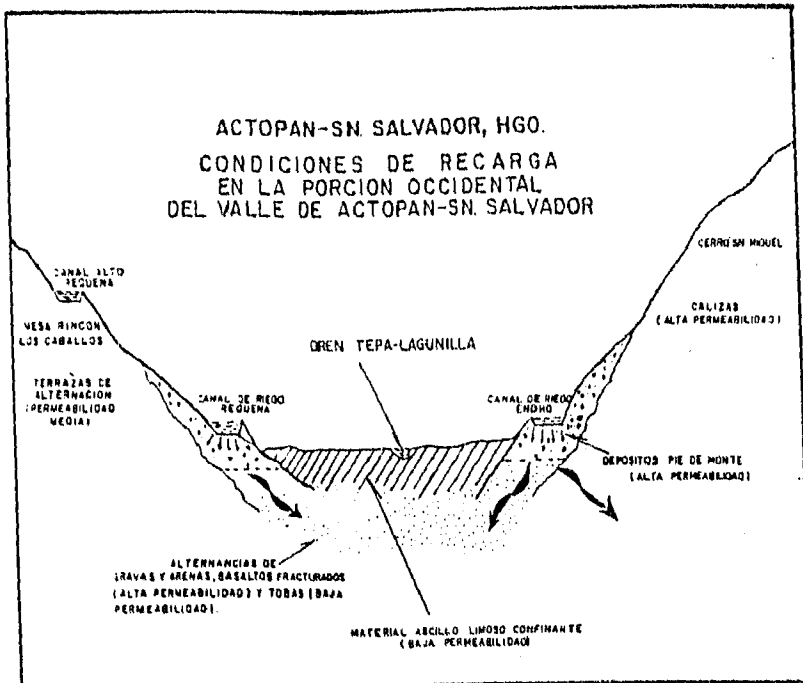


## TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C EST. TEZONTEPEC, HGO. (1960-1990)

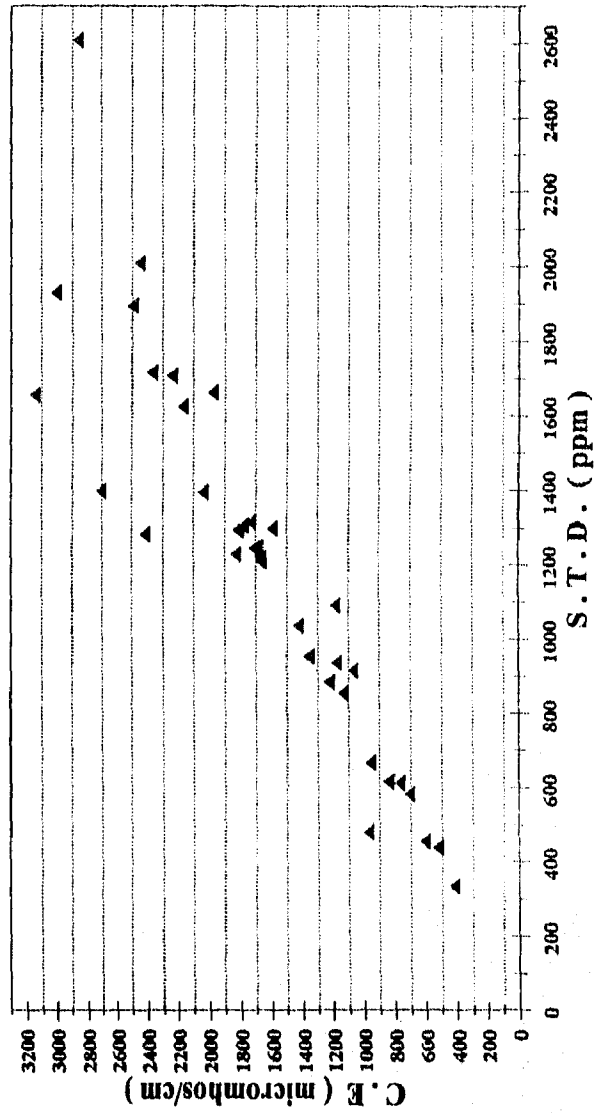


# PRECIPITACION Y EVAPORACION MEDIA MENSUAL EST. TEZONTEPEC, HGO. (1965-1990)





# CURVA DE S.T.D - C.E.



## BIBLIOGRAFIA

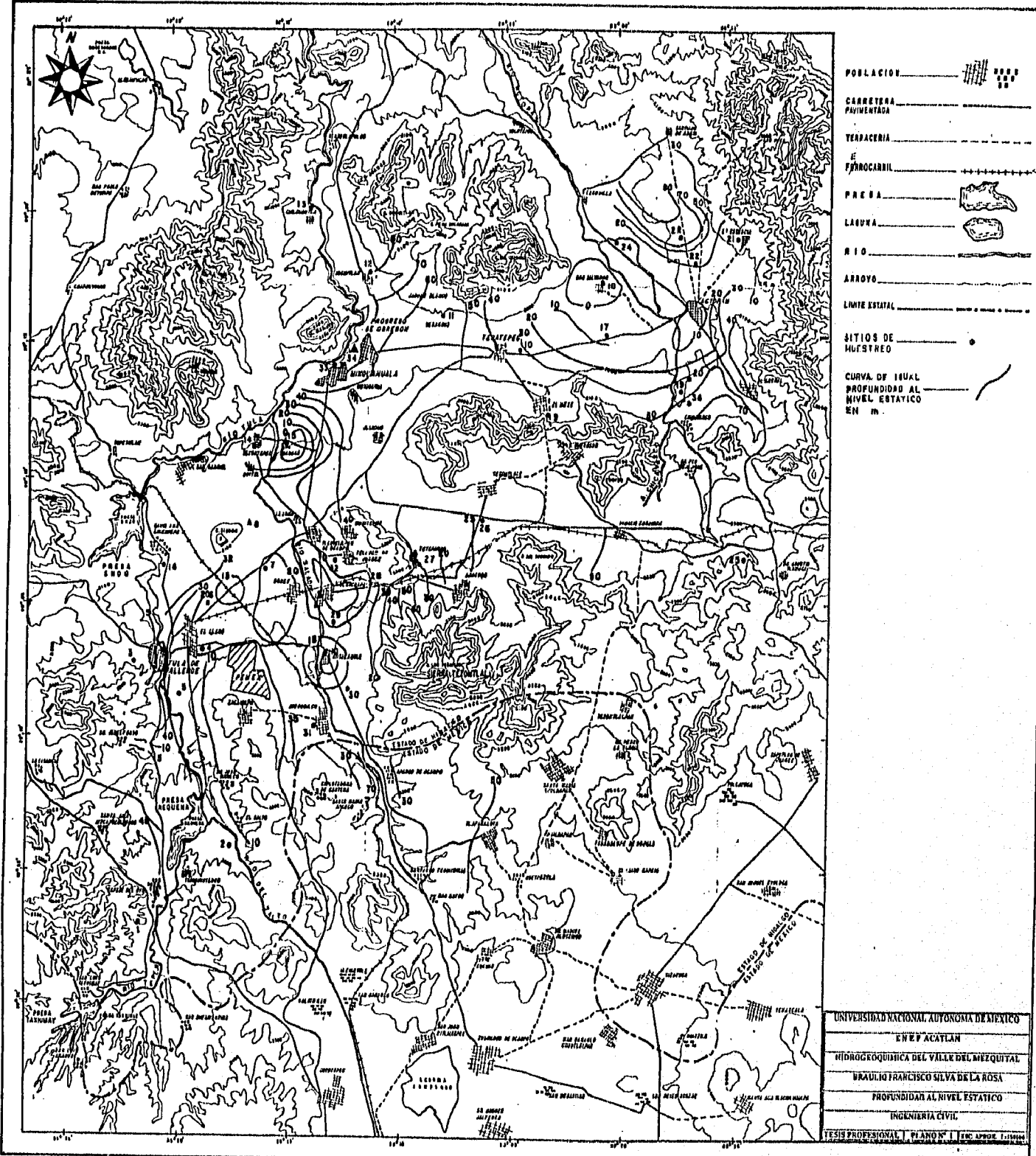
- 1.-Custodio, E.- Llana, M. R. 1976 Hidrología Subterránea Tomo I y II edición omega- España
- 2.-Campos, A. D.F; Proceso del ciclo hidrológico Vol. 1 1ª reimpresión U.A.S.L.P México.
- 3.-Castany, G. 1971 Tratado práctico de las aguas subterráneas edición omega España
- 4.-Catalan , L.J. 1981 Química del agua 2ª edición Talleres gráficos Alonso, España
- 5.-Castany, G. 1980 Prospección y Exploración de las aguas subterráneas Edit. omega, México
- 6.-Davis, S.N de Wiest.R 1966 Hidrogeología Edit. Ariel, España
- 7.-Tinajero, G.J.A. 1985 Aspectos fundamentales en el estudio del agua subterránea Facultad de Ingeniería de la UNAM, México.
- 8.-INEGI Perfil Sociodemográfico del estado de Hidalgo XI censo general de población y vivienda, 1990
- 9.-Lohman, S.W 1977 Hidráulica Subterránea Edit. Ariel, España













## REFERENCIAS

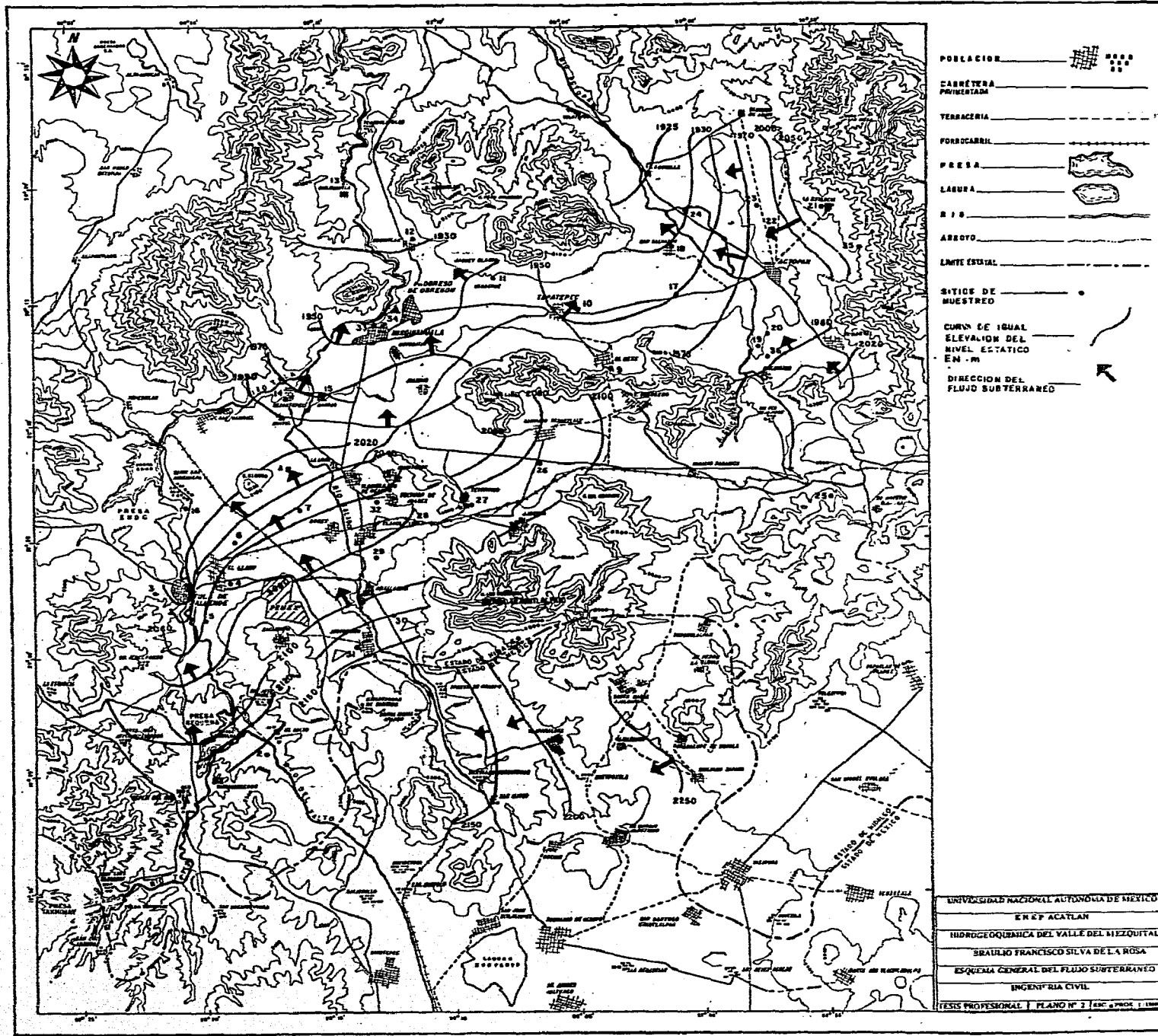
- 1) GEOCALLI, " Estudio de Actualización Geohidrológica del Valle del Mezquital" México, D.F. Sria. de Recursos Hídricos. Dir. Aguas Subterráneas
- 2) HIDROTEC, " Estudio Geohidrológico del Valle del Mezquital y zonas adyacentes" México, D.F. Sria. de Recursos Hídricos. Dir. Aguas Subterráneas
- 3) ARIEL CONSULTORES, " Actualización del Estudio Geohidrológico de San Salvador y Valle de Actopan con fines de determinar la disponibilidad hidrológica para el proyecto Xotho".
- 4) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, " Resumen de Investigaciones Hidrogeológicas, Tula, Hgo." Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos, Subgerencia de Ingeniería preliminar, civil y geotecnia
- 5) THORSA, Ingenieros Consultores y Constructores, " Estudio de Actualización Geohidrológica para el Valle Tula- Mezquital - Actopan edo. de Hgo."
- 6) COMISION NACIONAL DEL AGUA, Gerencia de Aguas Subterráneas. " Sinopsis Geohidrológica del estado de Hidalgo".
- 7) COMISION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO. " Informe sobre el uso de las Aguas Negras y las superficiales en el Valle de México y la region del Mezquital, Hgo."
- 8) " Estudio Hidrogeoquímico de la porción centro-oriental del Valle del Mezquital" Rev. del Instituto de Geología de la UNAM

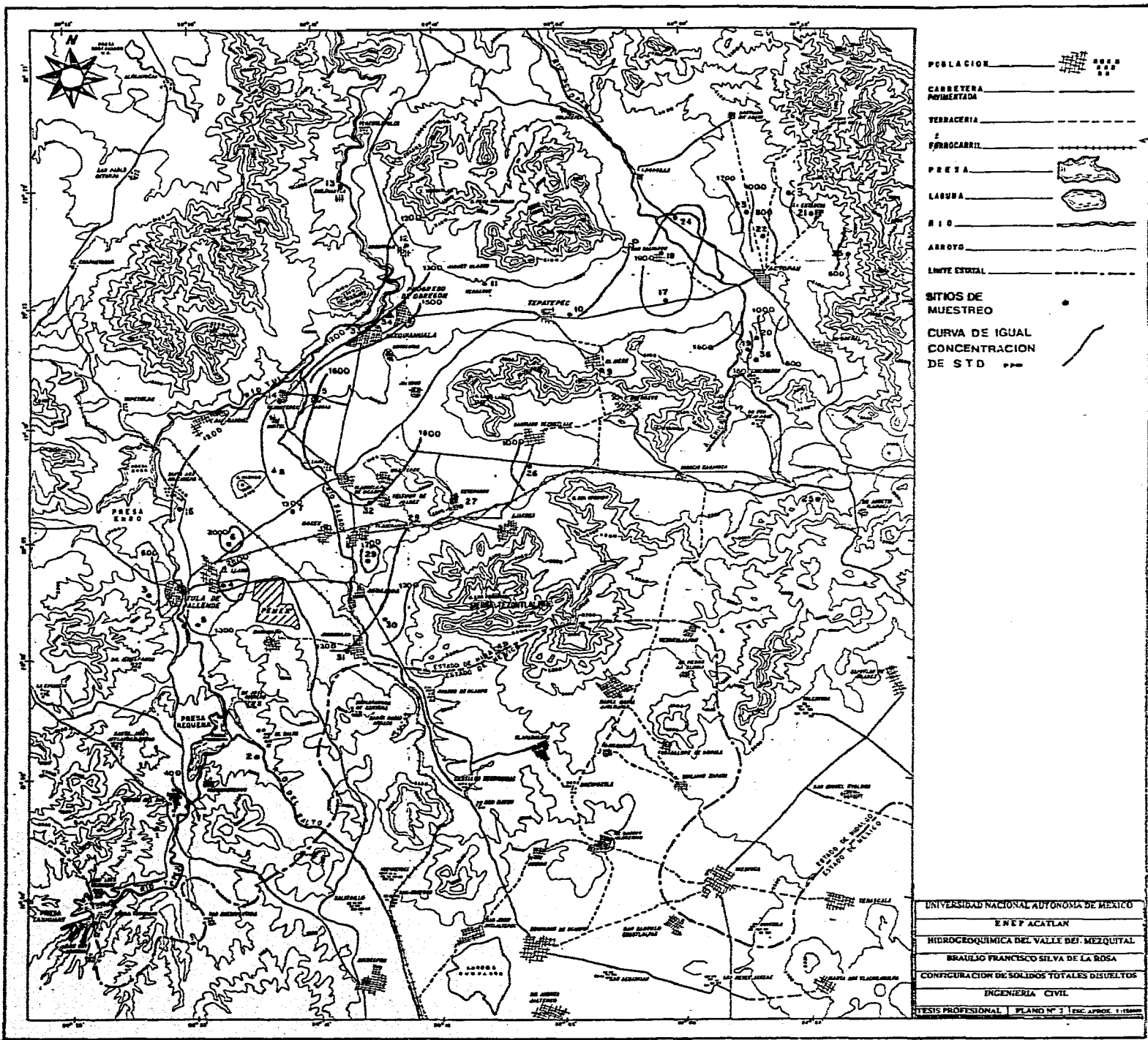
*P*  
*L*  
*A*  
*N*  
*O*  
*S*



- POBLACION 
- CARRERA PAVIMENTADA 
- TERACERIA 
- FERROCARRIL 
- RIO 
- LAGUNA 
- ARROYO 
- LIMITE ESTATAL 
- SITIOS DE MUESTREO 
- CURVA DE IGUAL PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTADICO EN M. 

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 EN EL ESTADO DE ACATLAN  
 HIDROQUIMICA DEL VALLE DEL MEZQUITAL  
 DR. FRANCISCO SILVA DE LA ROSA  
 PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTADICO  
 INGENIERIA CIVIL  
 TESIS PROFESIONAL PLANO N° 1 ESC. APOC. 1-10-1964





- POBLACION
- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERIA
- PRESA
- LABRUA
- RIO
- ARROYO
- LIMITE ESTADAL
- SITIOS DE MUESTREO
- CURVA DE IGUAL CONCENTRACION DE STD

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 E.N.E.P. ACATLAN  
 HIDROGEOQUIMICA DEL VALLE DEL MEZQUITAL  
 BRAULIO FRANCISCO SILVA DE LA ROSA  
 CONFIGURACION DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS  
 INGENIERIA CIVIL  
 ESTUDIOS PROFESIONALES PLANO N° 3 ESC. APRIL 1-1980