



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

" ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL ESTADO DE MORELOS "



T E S I S QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A CARLOS ALBERTO MAGAÑA ALVAREZ



TESIS CON FALLA DE ORIGEN MEXICO, D.F.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE:

	pág.
I. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 ACTIVIDADES	2
1.2.1 TRABAJOS DE CAMPO	2
1.2.2 TRABAJOS DE GABINETE	4
II. GENERALIDADES	6
2.1 LOCALIZACION Y EXTENSION	6
2.2 POBLACION	6
2.3 VIAS DE COMUNICACION	7
2.4 DESARROLLO SOCIOECONOMICO	9
III. HIDROLOGIA SUPERFICIAL	11
3.1 CLIMATOLOGIA	11
3.1.1 PRECIPITACION	12
3.1.2 TEMPERATURA	14
3.1.3 EVAPORACION POTENCIAL	15
3.2 ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES	16
3.3 USO ACTUAL DEL AGUA SUPERFICIAL	18
3.4 BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES	19
IV. GEOLOGIA	21
4.1 FISIOGRAFIA	21
4.2 MARCO GEOLOGICO	22
4.2.1 UNIDADES GEOHIDROLOGICAS	25
4.2.2 ACUIFEROS	27

V. HIDROGEOQUIMICA	29
5.1 MUESTREO DE AGUA SUBTERRANEA	29
5.2 ANALISIS FISICO-QUIMICOS	30
5.2.1 TEMPERATURA	31
5.2.2 POTENCIAL DE HIDROGENO	31
5.2.3 SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	31
5.2.4 CATIONES	32
5.2.5 ANIONES	33
5.2.6 DIAGRAMAS TRIANGULARES DE PIPER	34
5.2.7 DIAGRAMAS DE WILCOX	35
5.3 INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA	38
5.4 CALIDAD DEL AGUA	39
VI. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	41
6.1 PIEZOMETRIA	41
6.1.1 PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO	41
6.1.2 ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO	43
6.1.3 EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO	44
6.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS ACUIFEROS	45
6.3 USO ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA	49
6.4 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	50
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7.1 CONCLUSIONES	59
7.2 RECOMENDACIONES	60
VIII. APENDICES	61
IX. BIBLIOGRAFIA	62

I. INTRODUCCION

Uno de los recursos hidráulicos más importantes en nuestro país es el agua subterránea, principalmente en las regiones áridas y semiáridas, por lo cual su aprovechamiento en dichas zonas se ha llevado a cabo en forma intensiva, siendo en muchos casos la base del desarrollo económico alcanzado en ellas.

El uso del agua subterránea en México ha tenido un desarrollo acelerado en las últimas cuatro décadas. Este desarrollo, sin estudio ni planeación, ha provocado situaciones muy contrastantes en lo referente al aprovechamiento de los acuíferos de la República Mexicana; en las zonas donde existe gran escasez, producida por el aumento en la demanda por crecimiento de actividades económicas y la falta de fuentes de agua superficiales, los acuíferos han sido sobreexplotados; en otras zonas, contrariamente, existe potencialidad aún no explotada que puede propiciar su desarrollo económico.

La disponibilidad del agua subterránea se obtiene por medio de un estudio geohidrológico, el cual permite conocer las características geológicas, hidráulicas e hidrogeológicas y, en función de éstas, su comportamiento ante cualquier tipo de acción externa a que se le sujete. En la actualidad, dichos estudios tienen la finalidad de implantar las políticas de explotación que lleven al aprovechamiento del agua subterránea en forma racional, mediante un manejo adecuado de la misma.

El estado de Morelos, al igual que muchas regiones del país, ha incrementado el número de sus habitantes, debido por un lado al crecimiento natural y por otro a que en los últimos años se ha observado un buen desarrollo industrial y agrícola. Por ello, la entidad ha desarrollado sus recursos hidráulicos en gran medida dentro de los sectores primario y terciario, sin descuidar el industrial, el cual se ha desplantado en el área metropolitana de Cuernavaca.

Debido a la vital importancia que tiene este recurso, para la sobrevivencia y desarrollo económico de la entidad, es necesario conocer la cuantía y calidad del agua subterránea, para tener un mejor aprovechamiento y control, a fin de satisfacer las distintas demandas de agua a corto, mediano y largo plazo.

1.1 OBJETIVOS

Mediante este trabajo, se determinarán las condiciones geohidrológicas de los acuíferos estatales. A continuación se enlistan los objetivos que se pretenden alcanzar mediante este estudio.

- a) Definir las condiciones de explotación en que se encuentran los acuíferos.
- b) Conocer el tipo y la calidad del agua subterránea del estado.
- c) Establecer el esquema del flujo subterráneo.
- d) Determinar la magnitud de la recarga de los acuíferos.
- e) Establecer la magnitud del volumen susceptible de aprovecharse de los acuíferos.
- f) Proponer políticas de explotación de los acuíferos para el mejor aprovechamiento del agua subterránea.

1.2 ACTIVIDADES

1.2.1 TRABAJOS DE CAMPO

Las actividades de campo que se desarrollaron con la finalidad de integrar este estudio, fueron las siguientes:

- a) Reconocimiento general del área de estudio

Se realiza una visita de campo a nivel regional para adquirir una idea general de las características del área: geológicas, geomorfológicas, topográficas e hidráulicas.

- b) Censo de los aprovechamientos hidráulicos

Se efectúan los recorridos de campo necesarios para localizar los aprovechamientos de agua subterránea: manantiales, pozos, norias, galerías, etc., ubicándolos en un mosaico fotográfico a escala conveniente, o a falta de él, en un plano seleccionado previamente para tal efecto. Asimismo, se recaban datos respecto a sus características constructivas y régimen de operación.

c) Observaciones piezométricas

Una vez concluido el censo o conforme éste se valla llevando a cabo, se seleccionan los pozos, que por su ubicación y características constructivas, sean adecuados para la observación periódica de los niveles piezométricos de los acuíferos.

Estas observaciones tienen la finalidad de conocer la posición de los niveles de agua a través del tiempo y la amplitud de sus variaciones bajo diferentes condiciones de recarga y descarga, a las que está sometido un acuífero.

La lectura de niveles estáticos se efectúa introduciendo una sonda eléctrica, la cual consta de un cable graduado que tiene en la parte inferior dos electrodos y una plomada, además de un amperímetro que registra el instante en que los electrodos hacen contacto con el agua dentro del pozo.

d) Trabajos de nivelación

Se hace una selección de los pozos de observación, en base a su ubicación y características constructivas, para referir sus brocales al nivel del mar, a fin de que sirvan como referencia en las observaciones piezométricas.

e) Determinación de los volúmenes de extracción de agua subterránea

Con base en el censo de pozos, se hace una selección de los aprovechamientos que, por las características de su equipo de bombeo y/o régimen de operación, tengan influencia significativa en el volumen total de extracción. Según el uso o usos a que se destinen los pozos seleccionados, se elige la forma más conveniente de estimar su volumen de extracción.

f) Pruebas de bombeo

Durante el levantamiento del censo de aprovechamientos, se toma nota de aquellos pozos que presenten condiciones favorables para la ejecución de una prueba de bombeo; en especial, se buscan pozos en los que puedan realizarse pruebas con pozos de observación.

La selección de los pozos para llevar a cabo las pruebas, se basa en la configuración piezométrica, dando preferencia a pozos situados en secciones en las que interesa cuantificar el caudal de flujo subterráneo.

g) Muestreo de agua subterránea

Una vez terminado el plano base con localización de pozos, se seleccionan los sitios para tomar muestras de agua subterránea. Si es de utilidad para el estudio hidrogeoquímico, se muestrea también el agua superficial en presas, ríos, canales, drenes, etc.

h) Reconocimientos geohidrológicos

Tienen la finalidad de conocer las características geohidrológicas de la zona en estudio verificando las unidades geológicas, así como sus características estructurales y formacionales: fracturamiento, cementación, desarrollo cárstico.

i) Exploraciones geofísicas

Por medio de ellas se pueden definir las características de las estructuras geológicas del subsuelo, en aquellos sitios que plantean interés desde el punto de vista geohidrológico.

Cabe señalar que para el presente trabajo solamente se efectuó el reconocimiento general de la entidad, por lo cual, la información de las demás actividades de campo se obtuvieron de los estudios preexistentes del estado, así como de reportes provenientes de la Gerencia Estatal de Morelos.

1.2.2 TRABAJOS DE GABINETE

Estos consistieron, primeramente, en la recopilación y análisis de información proveniente de estudios preexistentes, referentes a las cuatro zonas geohidrológicas emplazadas en el estado.

Después, se elaboró el plano base de la entidad con ayuda de las cartas topográficas del INEGI, escala 1: 50 000, para posteriormente vaciar los datos obtenidos durante la etapa de recopilación.

Con la información obtenida de las estaciones climatológicas seleccionadas, se realizaron los histogramas de precipitación, temperatura y evaporación potencial, para mostrar gráficamente las condiciones de clima que prevalecen en la entidad.

Con base a los cartas geológicas del INEGI y al Plano de Isoyetas Medias Anuales para la Región Hidrológica No. 18 (periodo 1930-1970), se elaboraron los planos Hidrogeológico y de Isoyetas, respectivamente.

Los resultados de los análisis químicos se procesaron y se vaciaron en los diagramas de Piper, para identificar los diferentes tipos de agua existentes en la entidad. Asimismo, se trazaron en el plano base las curvas de igual contenido de sales disueltas y los diferentes iones analizados.

Del procesamiento de la información referente a la historia piezométrica de los acuíferos de Morelos, se elaboraron los planos de profundidad al nivel estático, elevación del nivel estático y evolución de los niveles de agua subterránea.

Mediante la interpretación de las pruebas de bombeo, con los métodos de Jacob o Theis, se obtuvo una de las características hidráulicas de los acuíferos (Transmisividad).

Finalmente, se estableció la ecuación de balance geohidrológico, para calcular la recarga de cada una de las zonas estudiadas.

II. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACION Y EXTENSION

El estado de Morelos se localiza al sur de la meseta central de la República Mexicana, entre los paralelos 18°22'05" y 19°17'10" de latitud norte y los meridianos 98°37'00" y 99°30'08" de longitud oeste (Figura No. 1). Limita al norte con el Distrito Federal y el estado de México, al este con Puebla, al sur con Guerrero y al oeste con los estados de México y Guerrero.

Tiene una área de 4941 km², que representan el 0.25% del territorio nacional, la cual lo clasifica dentro de los estados más pequeños del país (ocupa el tercer lugar).

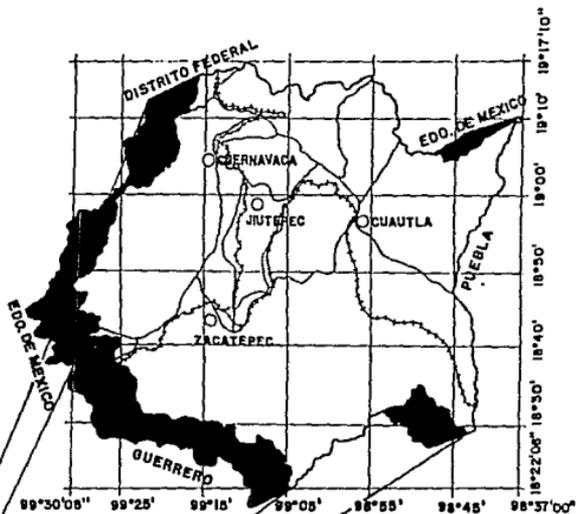
Políticamente se encuentra dividido en 33 municipios. De estos, los que tienen mayor extensión son Tlalquitenango, Tepalcingo y Ayala (Figura No. 2).

2.2 POBLACION

De acuerdo con las cifras obtenidas en el XI Censo General de Población y Vivienda de 1990, la población total del estado es de 1 195 381 habitantes, de los cuales 584 954 (49%) son hombres y 610 427 (51%) son mujeres, encontrándose distribuidos en los 33 municipios que conforman el estado (Tabla 1). Tiene una densidad de población de 241 hab/km² que lo clasifica como una entidad de alta fecundidad.

Por su extensión y número poblacional, los municipios más importantes de la entidad son Cuernavaca, Cuautla y Jiutepec.

De los censos realizados de 1960 a 1990, se observa que la población rural ha venido disminuyendo porcentualmente respecto a la total. Contrariamente, la población urbana ha tenido incrementos porcentuales con respecto a la total. De acuerdo a las tasas de crecimiento indicadas por el CONAPO, se espera que para el año 2010 la población estatal ascienda a cerca de 2 millones de habitantes, de los que sólo el 22% pertenecerán a comunidades rurales y el resto a localidades urbanas (Figura No. 3).



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

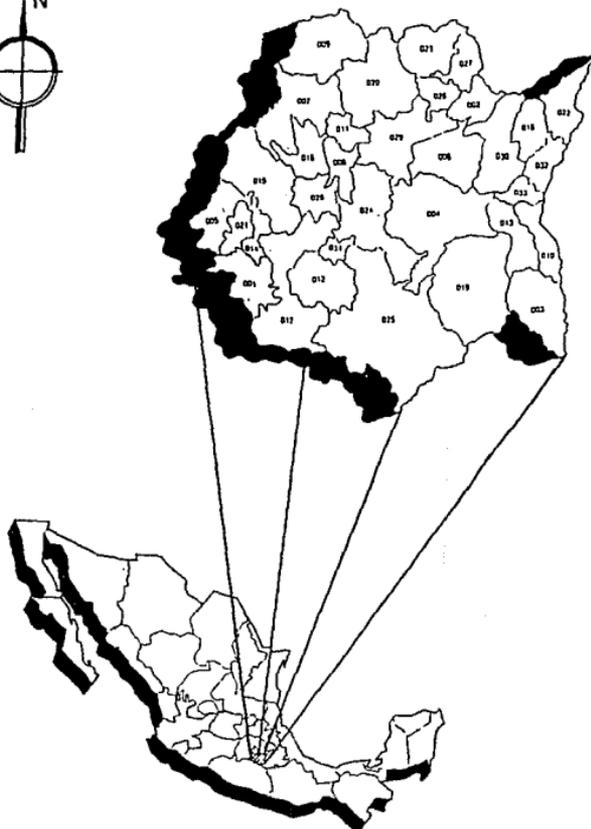


LOCALIZACION DEL ESTADO

TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIG. No. 1



DIVISION MUNICIPAL

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 01. AMACUZAC | 18. TEMIXCO |
| 02. ATLATLALAHUACAN | 19. TEPALCINGO |
| 03. AXOCHIAPAN | 20. TEPOZTLAN |
| 04. AYALA | 21. TETECALA |
| 05. COATLAN DEL RIO | 22. TETELA DEL VOLCAN |
| 06. CUAUTLA | 23. TLALNEPANTLA |
| 07. CUERNAVACA | 24. TLALTIZAPAN |
| 08. EMILIANO ZAPATA | 25. TLALQUITENANGO |
| 09. HUIJTILLAC | 26. TLAYACAPAN |
| 10. JANTETELCO | 27. TOTOLAPAN |
| 11. JIUTEPEC | 28. XOCHITEPEC |
| 12. JOJUTLA | 29. YAUTEPEC |
| 13. JONACATEPEC | 30. YECAPITLA |
| 14. MAZATEPEC | 31. ZACATEPEC |
| 15. MIACATLAN | 32. ZACUALPAN DE AMILPAS |
| 16. OCUTLUCO | 33. TEMOAC |

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



DIVISION MUNICIPAL

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 2

POBLACION POR MUNICIPIO EN EL ESTADO DE MORELOS

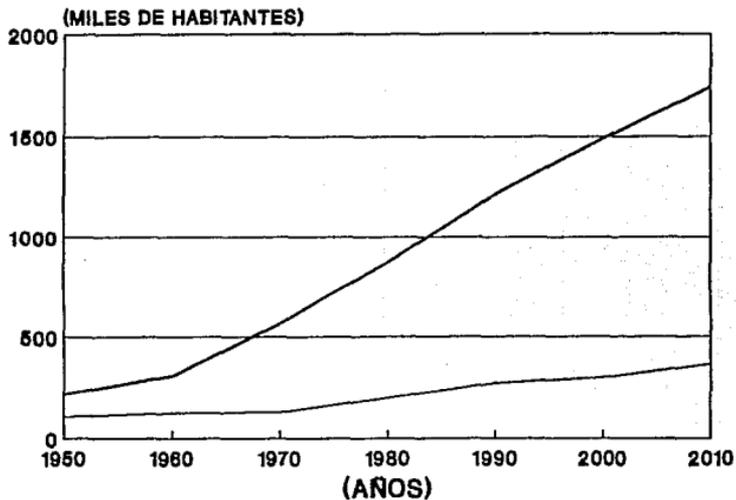
CLAVE	MUNICIPIO	POBLACION		
		HOMBRES	MUJERES	TOTAL
001	AMACUZAC	6 743	6 929	13 672
002	ATLALAHUACAN	4 623	4 633	9 256
003	AXOCHIAPAN	13 879	13 197	26 276
004	AYALA	26 100	26 921	53 021
005	COATLAN DEL RIO	4 324	4 330	8 662
006	CUAUTLA	57 741	62 560	120 301
007	CUERNAVACA	135 298	146 454	281 752
008	EMILIANO ZAPATA	16 610	17 137	33 747
009	HUITZILAC	5 364	5 390	10 754
010	JANTETELCO	5 771	5 789	11 480
011	JIUTEPEC	49 309	52 140	101 529
012	JOJUTLA	22 995	24 835	47 830
013	JONACATEPEC	5 626	5 671	11 297
014	MAZATEPEC	3 562	3 629	7 191
015	MIACATLAN	9 786	9 286	19 072
016	OCUITUCO	6 630	6 550	13 080
017	PUNTE DE IXTLA	21 746	22 240	43 994
018	TENIXCO	33 866	34 119	67 985
019	TEPALCINGO	10 352	10 203	20 555
020	TEPDZTLAN	13 775	13 905	27 680
021	TETECALA	2 893	3 160	6 053
022	TETELA DEL VOLCAN	7 841	6 775	13 816
023	TLALNEPANTLA	2 173	2 209	4 832
024	TLALTIZAPAN	18 505	10 928	37 513
025	TLALQUITENANGO	13 473	13 544	27 017
026	TLAYACAPAN	4 902	4 882	9 864
027	TOTOLAPAN	3 226	3 119	6 345
028	XOCHITEPEC	13 786	14 807	27 775
029	YAUTEPEC	29 744	30 054	60 328
030	YECAPIXTLA	13 406	13 513	26 919
031	ZACATEPEC	14 710	15 949	30 659
032	ZACUALPAN DE AMILPAS	3 473	3 457	6 930
033	TENOC	4 900	5 346	10 246
		504 954	610 427	1 195 381

FUENTE: INEGI

CIFRAS PRELIMINARES

POBLACION REFERIDA AL 12 DE MARZO DE 1990.

TABLA No. 1



FUENTE: CONAPO

— POBLACION RURAL
 - - - POBLACION URBANA

U.N.A.M.		
E.N.E.P. ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
	POBLACION	TESIS PROFESIONAL
	REALIZO: CARLOS MAGARA A.	FIG. No. 3

En lo referente a la educación, el estado cuenta con un bajo índice de analfabetismo, ya que el 88.4% de una población de 1 018 026 habitantes, de 6 años y más, sabe leer y escribir, el 11.4% es analfabeta y el 0.2% no está especificada.

2.3 VIAS DE COMUNICACION

La integración vial de Morelos ha sido fácil y rápida, gracias a su reducida extensión territorial.

El estado está bien comunicado interiormente y hacia las entidades vecinas; otros factores que han favorecido su excelente red de comunicaciones son su colindancia con el Distrito Federal y su situación intermedia -paso obligado- entre éste y el puerto de Acapulco, primer centro turístico del país. Dichos factores han sido decisivos en el desarrollo económico del estado, ya que gracias a su red caminera, las diversas zonas de la entidad están en posibilidad de convertirse en centros receptores de la industria -desde ahí pueden transportarse los diferentes productos a diversos puntos del mercado nacional con rapidez y seguridad, utilizando las carreteras federales o de cuota, o el ferrocarril, el transporte más barato en la actualidad-.

CARRETERAS

Morelos se comunica con el Distrito Federal a través de cuatro carreteras pavimentadas. La más importante es la autopista México-Cuernavaca (95D), la cual tiene una longitud de 86 km y consta de dos carriles en cada dirección. Esta carretera atraviesa el Eje Neovolcánico, se inicia en el Ajusco, hasta llegar a Cuernavaca.

La carretera Federal México-Acapulco (95) cruza las poblaciones de Tres Cumbres, Cuernavaca, Temixco, Puente de Ixtla y Amacuzac; ésta, como la anterior, atraviesa todo el territorio morelense por su parte occidental, desviándose, a partir de Amacuzac, de su ruta paralela a la autopista para llegar a Taxco, Guerrero, y continuar después al puerto de Acapulco.

La carretera Federal de cuota México-Cuatla (115D) es un ramal de la autopista a Cuernavaca, se desprende de ésta en el km 71 y pasa por Tepoztlán, Oacalco y Oaxtepec.

La cuarta de las vías es la 115, que sale de la ciudad de México, pasa por Amecameca y tiene como meta, también, a Cuatla.

Otros caminos federales de importancia para el estado son: la carretera México-Oaxaca, en su tramo Cuautla-Izúcar de Matamoros (140), que comunica a la entidad con los estados de Puebla y Oaxaca, hasta el puerto de Salina Cruz; la carretera federal No. 92 que, partiendo de Apuyeca, toca poblaciones como Miacatlán y Tetecala, para continuar hasta Ixtapan de la Sal -conocida como vía corta a las grutas de Cacahuamilpa, y que comunica a Morelos con el estado de México-, y la carretera federal Cuernavaca-Cuautla (138), que pasa por Tejalpa, Yautepec y Cocoyoc, y atraviesa el macizo central de la sierra de Tepoztlán, por el Cañon de Lobos.

Las poblaciones importantes del estado están comunicadas a través de las siguientes vías: la carretera federal Cuernavaca-Tepoztlán, y las estatales Tejalpa-Zacatepec (E15), Yautepec-Tlaltizapán-Jojutla (E21), con una prolongación hacia el norte, a Tlayacapan, Jonacatepec, Atotonilco y Tepalcingo, el camino Cuatla-Ayala-Tlaltizapán; los de Jojutla-Zacatepec-Alpuyeca, Jojutla-Tequesquitengo-Vista Hermosa, etc.

FERROCARRILES

Actualmente las vías férreas alcanzan una longitud de 351 kilómetros dentro de la entidad. Como eje principal está el que cubre el trayecto México-Estación Balsas, y que toca los siguientes puntos: Tres Cumbres, Cuernavaca, Jiutepec, Zacatepec, Puente de Ixtla y Amacuzac. Por otro lado, Cuautla se comunica con la capital del país, vía Ozumba y Amecameca y con la ciudad de Puebla por Izúcar de Matamoros. Un ramal de vía angosta que parte de Cuautla va hacia Yautepec, en donde gira hacia el sur pasando por Tlaltizapán y Jojutla, para llegar a Puente de Ixtla.

Por último hay otro pequeño ramal que conecta las ciudades de Zacatepec y Jojutla.

AEROPUERTOS

Existen en el estado sólo seis pistas de aterrizaje, todas de terracería, que permiten las operaciones de avionetas o aviones pequeños únicamente, y se encuentran situadas en Cuernavaca, Cuautla, Tequesquitengo, Chiconcuac, Xochitepec y Puente de Ixtla.

Actualmente se está construyendo en Cuautla un aeropuerto auxiliar del Internacional de la Ciudad de México.

SERVICIOS

El sistema de comunicaciones de la entidad está complementado, de manera eficiente, por los siguientes servicios: correo, telégrafo y teléfono.

Para la comunicación postal existen 20 administraciones, 7 sucursales, 57 agencias y 33 expendios de timbres. En lo que se refiere a comunicaciones telegráficas funcionan 27 administraciones y sucursales y 12 oficinas telefónicas y radiofónicas.

El servicio telefónico se proporciona a través de 44 952 líneas y 77050 aparatos. En la Ciudad de Cuernavaca se tiene mayor porcentaje de aparatos, las otras ciudades que concentran este servicio son Cuautla, Jojutla y Yautepec.

2.4 DESARROLLO SOCIOECONOMICO

La migración es un fenómeno en el que juegan un papel muy importante los parámetros de ingreso, educación y servicios. Por ello, los municipios de Amacuzac, Cuernavaca, Jiutepec, Jojutla, Puente de Ixtla, Tlaltizapán y Zacatepec muestran un nivel migratorio por abajo de la media estatal, mientras que los restantes tienen un nivel igual a la media estatal.

En los primeros el nivel de ingreso es mayor al medio del estado, se concentran los servicios y las actividades industriales, y existe porcentaje relativamente alto de enseñanza. Por lo contrario, los demás municipios muestran índices inferiores a la media estatal para los parámetros citados, evidenciando el atraso en el nivel económico, social y cultural con respecto al resto del estado.

La importancia que tienen los sectores productivos dentro de los aspectos socioeconómicos antes señalados, es relevante; el sector primario ha sido, en las últimas dos décadas, un gran apoyo a la economía estatal, debido al aumento en la producción pecuaria del 229% de 1970 a 1980 y al incremento en las superficies regadas y beneficiadas con infraestructura hidroagrícola, 80% y 38%, respectivamente. Mientras tanto el sector terciario es el que más mano de obra ocupa, pero su participación al valor total de la producción no es de consideración. El sector secundario resalta por su acelerado crecimiento, tanto en habitantes ocupados como en el valor de la producción, donde las ramas de minería, manufacturera y de construcción han sido fundamentales.

Durante la década pasada, el estado de Morelos tuvo un notable crecimiento en todos los sectores de la economía. El valor de la producción estatal creció a una tasa promedio real de 9.8% anual y la producción per cápita al 3.6% anual (Figura No. 4).

El desarrollo del sector industrial en el estado de Morelos se concentra básicamente en cinco de sus ciudades principales: Cuernavaca, Zacatepec, Cuautla, Yautepec y Jiutepec.

Los diferentes giros industriales que se desarrollan en esta entidad se deben, fundamentalmente, a las condiciones naturales en cuanto a la producción de materia prima se refiere; sin embargo, existen otros factores que recientemente han propiciado un desarrollo más acelerado, en el proceso de industrialización, siendo el más importante su localización geográfica respecto a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, lo que favorece a la entidad como uno de los polos de descentralización de la actividad económica.

El turismo es otra de las actividades que aportan al desarrollo económico del estado de Morelos; sobresalen como sitios turísticos más importantes:

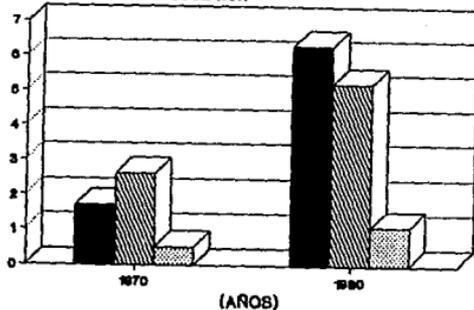
La ciudad de Cuernavaca, cuenta con balnearios y manantiales, como el del Túnel (que suministra agua potable a la población de la capital) y los de Chapultepec. Dentro de ésta misma ciudad existen sitios de interés histórico, como el Palacio de Cortés y la Catedral.

Otra localidad importante es Cuautla, debido a que es una ciudad netamente turística, con balnearios de aguas termales y medicinales perfectamente acondicionados, como el de Agua Hedionda, uno de los más antiguos del estado, precursor en la conquista del turismo y el segundo centro recreativo de la entidad. Otro balneario muy visitado es el de los Limones.

Sin embargo, no son estas localidades las únicas que tiene algún interés turístico en Morelos, ya que en todo el estado, el clima y las bellezas naturales atraen a un gran número de vacacionistas cada año. Así, tenemos Oaxtepec, en Yautepec; Las Estacas, en Tlaltizapán, El Rollo, en Tlaquiltengo, San Ramón, en Xochitepec, y antiguas haciendas, que han sido adaptadas, como Temixco, Real del Puente, Vistahermosa, Cocoyoc, etc.

VALOR DE LA PRODUCCION

(MILLONES DE PESOS DE 1960)

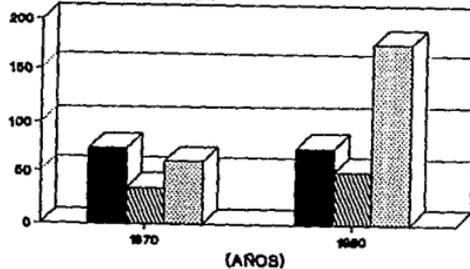


SIMBOLOGIA

- AGROPECUARIO
- INDUSTRIAL
- SERVICIOS

POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA

(MILES DE HABITANTES)



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



**PRODUCCION Y POBLACION
ECONOMICAMENTE ACTIVA**

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 4

III. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

A pesar de que la Geohidrología se refiere al estudio del agua subterránea, es necesario saber, al menos en sus términos más generales, todos los aspectos del ciclo hidrológico, ya que las aguas subterráneas solo representan una parte del ciclo en su totalidad.

En este capítulo se pretende mostrar, en forma general, el marco hidrológico del estado, describiendo su climatología, corrientes que integran su red hidrológica, la infraestructura existente para el manejo y aprovechamiento del agua superficial, así como su disponibilidad y uso actual, para finalmente concluir con el balance de aguas superficiales.

3.1 CLIMATOLOGIA

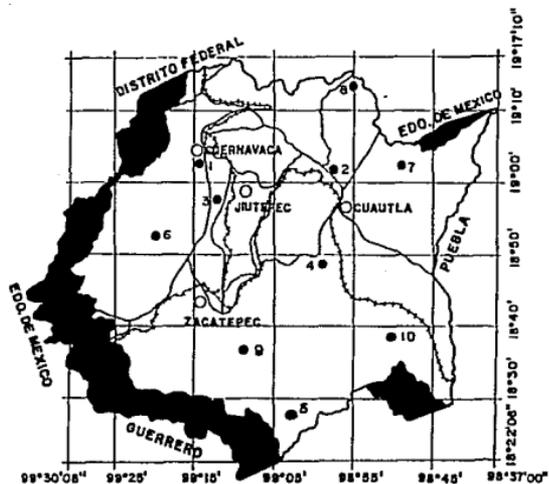
El clima que predomina en Morelos es el cálido, que rige sobre todo en las partes bajas de los ríos Amacuzac y Nexapa. Este clima se caracteriza por tener una temperatura media anual mayor de 22°C.

En menor grado se presenta el clima de tipo semicálido en una franja que va de este a oeste situada en la región norte, en la zona de transición entre la sierra y los valles. Predominando una temperatura media anual que varía entre 18 y 22°C.

Otro clima que se presenta en el estado, principalmente en las partes altas de los valles de Cuernavaca y de Cuautla, es el de tipo templado, que se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 12 y 18°C.

Finalmente, los climas semifríos se reducen a pequeñas áreas en el extremo norte, concentrándose en las partes más altas de la sierra, como son la Cordillera Neovolcánica y la Sierra Nevada o Transversal. Se caracterizan por tener una temperatura media anual menor de 16°C.

La cantidad y distribución de la precipitación, la temperatura y la evaporación potencial fueron obtenidas de los registros medidos en 10 estaciones climatológicas, pertenecientes a la S.A.R.H., que abarcan un periodo 21 años (1963-1984). Los nombres y la localización de dichas estaciones se muestran en la figura No. 5.



SIMBOLOGIA

- CIUDAD _____ ○
 CARRETERA _____ ———
 FERROCARRIL _____ —+—+—+—
 ESTACION CLIMATOLOGICA _____ ●

ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

1. CUERNAVACA
2. YAUTEPEC
3. TEMIXCO
4. TEMILPA
5. HUAUTLA
6. EL RODEO
7. YECAPIXTLA
8. TLAQUALERA
9. TEQUESQUITENGO
10. TEPALCINGO

U.N.A.M.		
E.N.E.P. ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
	LOCALIZACION DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS	TESIS PROFESIONAL
REALIZO: CARLOS MAGARA A.		FIGURA No. 5

Procesando los valores de precipitación, temperatura y evaporación potencial, para cada una de las estaciones, se calcularon:

- 1) Lámina de precipitación (mm)
 - Promedio mensual
 - Promedio anual
- 2) Temperatura (°C)
 - Promedio mensual
 - Promedio anual
- 3) Lámina de evaporación potencial (mm)
 - Promedio mensual
 - Promedio anual

3.1.1 PRECIPITACION

En base a los resultados obtenidos con el procesamiento de datos de precipitación promedio mensual y anual de las estaciones analizadas, para el periodo de 1963-1984, se observa que la época de lluvia se presenta en los meses de junio a septiembre, con precipitaciones que varían entre 148.7 y 272.6 mm; la precipitación máxima se presentó en el mes de agosto con un valor promedio de 272.6 mm en la estación Cuernavaca, localizada en la porción noroeste de Morelos. Por su parte, la época de estiaje se registra en los meses de noviembre a abril con láminas que varían de 1.0 a 18.1 mm; la mínima precipitación se registró en el mes de noviembre con una lámina promedio de 1.0 mm en la estación Huautla, la cual se encuentra ubicada al sur de la entidad (Tabla No. 2)

Por otro lado, la precipitación mínima anual se observó en la estación Tlacualera, localizada al noreste de la entidad, con una lámina de 451 mm en el año de 1970. La estación Huautla registró el valor máximo en el año de 1976, con una lámina de 1756 mm. La lámina de precipitación promedio anual varía entre 787 y 1188 mm; la primera corresponde al valor registrado en la estación Tequesquitengo, ubicada al suroeste del estado y la segunda al registrado en la estación Cuernavaca (Tabla No. 3).

PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CUERNAVACA	14.1	4.8	7.7	15.8	56.9	248.5	249.5	272.6	239.2	99.2	11.1	4.6
VAUTEPEC	13.9	2.9	4.7	18.6	69.9	174.8	172.5	178.7	199.1	75.2	9.6	5.5
TENIXCO	11.8	4.4	6.1	9.2	68.7	193.9	163.8	176.4	178.8	68.1	13.5	3.7
TEMILPA	18.6	3.1	4.9	8.9	69.2	189.2	168.8	174.9	151.8	63.8	4.7	3.3
HUAUTLA	8.9	2.9	3.8	11.1	63.1	223.4	187.3	198.8	288.4	49.5	1.8	1.6
EL RODEO	13.2	3.2	3.1	12.5	69.3	192.1	165.4	194.8	188.7	72.4	18.1	5.1
YECAPITLA	14.8	4.1	7.5	18.1	75.4	231.7	194.8	211.1	281.6	73.6	13.3	4.4
TLACUALERA	21.4	11.8	8.7	16.1	63.6	171.8	186.3	175.9	169.8	62.4	11.9	6.4
TEQUESQUITENGO	18.4	3.8	3.2	9.9	191.6	148.7	144.1	158.9	168.7	66.8	3.8	2.5
TEPALCINGO	12.8	4.2	7.2	16.9	61.8	165.8	154.5	156.8	145.8	53.8	5.8	2.3

TABLA No. 2

PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL (mm)

ESTACIONES	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	PROM
CUERNAVACA	--	--	1141	1203	1535	1219	1170	966	1387	1090	--	1081	--	1635	954	1389	850	1228	--	934	1231	--	1188
YAUTEPEC	802	806	856	865	1056	892	1111	775	1089	801	1139	796	936	1130	986	783	785	922	--	817	951	--	911
TEMIXCO	944	--	922	--	1078	855	839	694	1070	807	1055	810	915	973	806	848	776	1002	--	547	1021	772	881
TEMILPA	847	827	834	831	951	725	765	677	1109	611	900	835	923	817	913	--	760	924	--	586	824	867	838
HUATLA	933	705	997	893	--	802	1147	475	--	500	1756	989	--	1461	1381	860	921	1128	--	576	--	853	959
EL RODEO	1022	1148	1052	917	1120	812	826	781	1176	966	878	--	885	997	961	817	685	956	1223	635	741	--	930
VECAPIXTLA	--	1154	921	1091	1180	1153	1513	1147	970	860	1214	861	1072	--	984	934	--	1036	1204	--	--	--	1081
TLACUALERA	478	776	909	944	920	618	594	451	691	1107	1152	256	--	--	839	1003	--	1301	1469	742	--	--	847
TEQUESQUITENGO	800	744	840	663	911	763	815	545	819	857	723	781	798	765	959	981	717	834	--	753	--	681	787
TEPALCINGO	1078	658	890	--	730	810	1012	574	751	--	--	--	--	817	743	901	653	849	--	632	--	822	795

TABLA No. 3

Para determinar la lámina de precipitación media anual del estado se requirió del plano de isoyetas (Plano No. 1), el cual se elaboró en base al Plano de Isoyetas Medias Anuales de la República Mexicana para la Región Hidrológica No. 18 (periodo 1930-1970), debido a que las 10 estaciones consideradas en el estudio no fueron suficientes para cubrir toda la entidad, y no se logró obtener información de otras estaciones que tuvieran el mismo periodo de análisis. De este plano se observa que la precipitación, en la zona noroeste del estado, decrece en forma radial de las partes altas y sierras hacia las partes bajas o valles. Por lo contrario, en la zona noreste, las precipitaciones aumentan de norte a sur de las partes altas a las bajas. En la zona este y oeste de la entidad, los valores de precipitación aumentan de poniente a oriente.

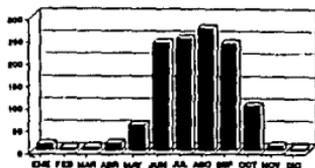
La lámina de precipitación promedio anual de Morelos es de 1045 mm, que representa un volumen llovido de 5166 Mm³/año; de ellos 4466 corresponden a la subcuenca del río Grande de Amacuzac y los 700 complementarios a la del río Atoyac (Tabla No. 4). Se presenta un valor máximo de 1800 mm, en los alrededores del Popocatepetl y un mínimo de 700 mm, en la zona cercana al parteaguas con la cuenca del Valle de México, en la Sierra del Ajusco.

LAMINA DE PRECIPITACION Y VOLUMEN LLOVIDO			
CUENCA HIDROLOGICA	PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN (mm)	AREA (km ²)	VOLUMEN (Mm ³)
RIO ATOYAC	1 0 1 9	687	700
RIO GRANDE DE AMACUZAC	1 8 5 0	4254	4466
TOTAL	1 0 4 5	4941	5166

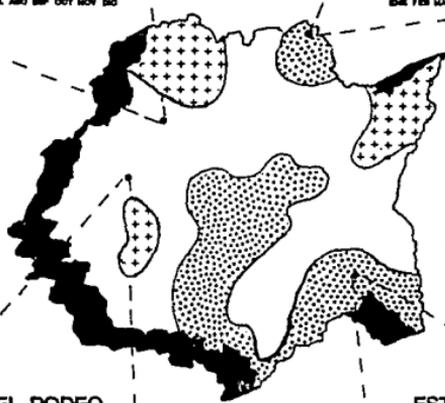
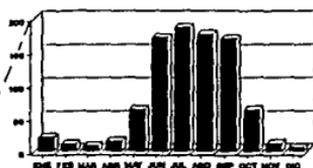
TABLA No. 4

Dentro de la entidad, se identifican tres rangos de precipitación con láminas que varían de 700-900 mm, de 900-1200 mm y mayores de 1200 mm. De las estaciones analizadas se observa que, en el primer rango están comprendidas las estaciones de Temixco, Temilpa, Tlacualera, Tequesquitengo y Tepalcingo. Las estaciones de Cuernavaca, Yautepec, Yecapixtla, El Rodeo y Huautla, se encuentran en el segundo rango (Figura No. 6).

ESTACION CUERNAVACA
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(PERIODO 1983-1984)



ESTACION TLACUALERA
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(PERIODO 1983-1984)



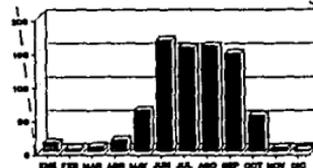
RANGOS DE PRECIPITACION

- DE 700 A 900 mm
- DE 900 A 1200 mm
- MAYOR DE 1200 mm

ESTACION EL RODEO
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(PERIODO 1983-1984)



ESTACION TEPALCINGO
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(PERIODO 1983-1984)



PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL
(PERIODO 1983-1984)

ESTACION:

CUERNAVACA	1185 mm
EL RODEO	980 mm
TLACUALERA	847 mm
TEPALCINGO	795 mm

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



DISTRIBUCION DE LA
PRECIPITACION EN MORELOS

TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 6

3.1.2 TEMPERATURA

La temperatura máxima se presentó en el mes de mayo con un promedio de 27.8°C en la estación Tequesquitengo, localizada en la zona de valle al suroeste del estado y la mínima, con un valor de 11.4°C, se registró en el mes de enero en la estación Tlacualera, ubicada en la zona de sierra al noreste de la entidad.

En los meses de abril y mayo se registraron las temperaturas más altas con valores de 16.8 a 27.8°C y las más bajas de 11.4 a 22.1°C en los meses de diciembre y enero (Tabla No. 5).

La temperatura mínima anual y la mínima promedio se presentaron en la estación Tlacualera; la primera con un valor de 12.1 °C en los años de 1977 y 1980, y la segunda con promedio de 14.3°C, para el periodo de 1963-1984. Por su parte, la estación Huautla registró la temperatura máxima anual de 25.9°C en 1974 y 1976 y la máxima promedio con un valor de 24.5°C (Tabla No. 6).

Las temperaturas más bajas se registraron en la porción noreste de Morelos, en los límites con los estados de México y Distrito Federal, en las estaciones Tlacualera y Yecapixtla. La porción sur y suroeste registraron las temperaturas más altas, en las estaciones Huautla y Tequesquitengo (Figura No. 7).

TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)

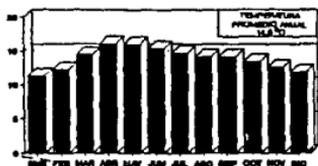
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CUERNAVACA	18.8	19.6	21.5	22.8	23.3	21.8	21.1	20.7	20.3	20.2	19.3	18.7
YAUTEPEC	17.5	18.8	21.3	23.2	23.5	22.3	21.3	21.2	21.0	20.3	19.8	17.6
TENIXCO	19.7	20.9	24.4	26.1	26.2	24.6	23.4	23.1	22.9	22.5	21.6	20.8
TENILPA	20.3	21.5	24.8	25.8	26.3	25.2	23.8	23.5	23.2	22.7	21.2	20.5
HUAUTLA	22.9	23.4	24.5	26.4	26.2	25.9	25.2	25.0	24.8	24.4	24.1	22.1
EL RODEO	28.8	22.2	24.9	26.8	26.7	24.6	23.4	23.4	22.9	22.6	21.7	20.9
YECAPIXTLA	17.7	18.6	20.8	22.6	22.9	21.5	21.0	19.9	19.8	19.9	19.1	18.0
TLACUALERA	11.4	12.3	14.5	16.1	16.8	15.4	14.7	14.2	14.2	13.5	12.6	11.9
TEQUESQUITENGO	21.1	22.4	25.4	27.6	27.8	25.9	24.5	24.4	24.8	23.1	21.8	20.9
TEPALCINGO	19.1	20.2	22.0	24.9	25.7	24.6	23.3	23.1	22.6	22.3	20.6	19.5

TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL (°C)

ESTACIONES	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	PROM
CUERNAVACA	--	18.9	20.3	20.0	21.2	20.5	21.4	21.2	20.9	20.2	--	20.2	20.5	20.5	20.8	20.8	21.1	21.3	--	21.5	21.1	--	20.7
YAUTEPEC	21.3	21.0	20.7	20.4	19.1	20.1	20.7	19.9	20.0	20.2	20.1	20.1	19.9	20.2	20.6	21.0	21.3	21.3	--	21.5	20.9	--	20.5
TENIXCO	--	--	23.0	--	--	23.1	23.9	23.5	23.4	23.7	23.6	22.9	22.8	22.8	23.1	23.2	23.4	23.5	--	23.4	22.6	20.5	23.1
TENTILPA	23.4	23.6	23.2	23.2	23.4	23.1	23.9	23.2	23.6	21.4	23.2	22.6	22.8	23.0	22.9	--	23.2	23.5	--	23.0	23.4	23.1	23.2
HUAUTLA	23.2	23.6	23.6	23.6	22.0	23.3	24.0	24.9	--	24.9	25.8	25.9	--	25.9	25.4	--	25.4	25.4	--	25.4	--	25.4	24.5
EL RODEO	24.1	23.8	23.4	23.1	23.5	23.6	24.6	23.9	23.4	23.7	23.8	--	22.6	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	--	22.7	22.7	--	23.3
YECAPIXTLA	20.6	20.6	20.5	20.2	20.2	20.1	20.6	19.8	19.8	20.2	20.0	19.8	18.5	--	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	--	--	--	19.4
TLACUALERA	14.4	15.2	17.0	15.8	16.4	16.6	17.4	14.1	14.0	13.2	13.1	12.6	--	--	12.1	12.0	--	12.1	12.7	13.4	--	--	14.3
TEQUESQUITENGO	24.3	24.3	23.2	21.9	22.5	24.1	24.6	23.9	23.7	24.5	24.2	24.9	24.1	24.2	24.0	24.5	24.5	24.6	--	--	--	--	24.0
TEPALCINGO	23.2	23.0	23.0	--	23.4	23.3	18.2	14.4	--	--	--	--	--	--	22.5	22.6	23.3	23.2	--	--	--	--	21.8

TABLA No. 6

ESTACION TLACUALERA
TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)
(PERIODO 1963-1984)



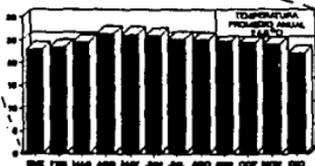
ESTACION YECAPIXTLA
TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)
(PERIODO 1963-1984)



ESTACION TEQUESQUITENGO
TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)
(PERIODO 1963-1984)



ESTACION HUAUTLA
TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)
(PERIODO 1963-1984)



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



HISTOGRAMAS DE TEMPERATURA
PROMEDIO MENSUAL
(PERIODO 1963-1984)

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 7

3.1.3 EVAPORACION POTENCIAL

Como sabemos, la evaporación potencial es producida, en gran parte, por la radiación solar (sin olvidar el viento y las diferencias en presión de vapor). Por ello, se observa que los valores máximos se presentan en los meses que registran las temperaturas más altas, es decir, en los meses de marzo a mayo. Por lo contrario, los valores mínimos se registran en los meses de noviembre a enero, en los cuales la temperatura desciende notablemente.

El valor máximo de evaporación potencial se registró en la estación Tequesquitengo, con una lámina de 286.0 mm, en el mes de abril. En el mes de diciembre se presentó el mínimo valor, con un promedio de 81.0 mm, en la estación Tlacualera (Tabla No. 7).

En la tabla No. 8 se presentan los promedios anuales de evaporación potencial, para el periodo de 1963-1984, para cada una de las estaciones climatológicas analizadas. En esta se observa que el máximo valor se presentó en el año de 1969, con una lámina de 2617 mm, en la estación Cuernavaca y el mínimo en 1968, en la estación Tlacualera, con un valor de 1235 mm.

En la figura No. 8 se presentan los histogramas de evaporación potencial promedio mensual (Periodo 1963-1984), de las estaciones que registraron los promedios anuales más altos, Cuernavaca y Tequesquitengo, y los más bajos, Yautepec y Tlacualera.

EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL (mm)

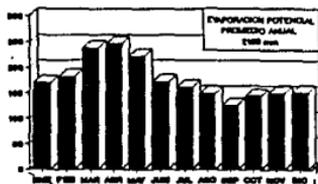
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CUERNAVACA	178.4	182.8	238.2	245.9	221.9	171.5	161.7	149.2	126.2	144.1	158.4	151.6
YAUTEPEC	188.5	125.8	181.8	193.6	186.7	148.7	142.8	137.8	113.3	118.4	98.3	86.7
TENIXCO	166.8	188.3	258.8	265.5	238.5	182.9	168.5	167.7	135.7	142.8	143.7	145.3
TENILPA	121.6	146.3	286.5	222.4	221.1	189.8	172.4	159.7	133.2	126.3	114.2	189.6
HUAUTLA	164.7	178.9	289.4	239.5	239.9	191.6	177.7	172.1	158.6	155.5	169.6	167.2
EL RODEO	151.8	174.2	238.4	245.5	248.1	186.7	166.5	163.7	141.5	141.2	132.6	131.4
VECAPIXTLA	145.8	172.7	235.4	248.8	239.8	169.3	158.8	139.4	121.7	142.2	148.6	136.2
TLACUALERA	92.8	187.4	158.4	168.2	158.1	125.7	117.3	186.4	182.2	93.9	86.6	81.8
TEQUESQUITENGO	154.4	179.1	254.1	286.8	263.2	214.8	184.8	163.6	153.2	142.8	127.7	123.9
TEPALCINGO	152.1	145.4	218.8	249.4	242.4	285.8	196.4	179.8	153.2	164.2	143.4	146.7

EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO ANUAL (mm)

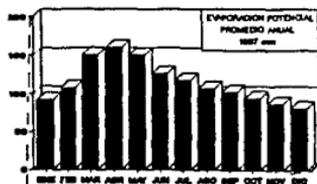
ESTACIONES	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	PROM	
CUERNAVACA	--	--	2074	2153	2386	2272	2617	2417	1812	2164	--	2182	--	2071	1951	--	2076	1998	--	2284	2174	--	2159	
VAUTEPEC	1627	1704	1781	1780	1680	1599	1963	1729	1656	1643	1542	1618	1549	1622	1641	--	1532	1522	--	1520	--	--	1641	
TEMIXCO	2156	--	2293	--	--	2172	2403	2296	2156	2241	2252	2300	2237	2240	2326	2258	2428	2363	--	1982	1825	1680	2196	
TEMILPA	2104	2189	2065	2010	2002	--	--	--	--	--	--	--	2009	--	--	--	--	--	--	1974	--	--	2039	
HUAUTLA	2042	1944	2088	2100	--	2269	2289	2035	--	2354	2306	--	--	--	--	--	2354	2100	--	2195	--	--	2173	
EL RODEO	2256	2306	2227	2161	2081	1962	2239	2256	2060	1965	1997	--	1950	1785	1952	2269	2287	2138	--	2168	2107	--	2114	
YECAPIXTLA	2073	2152	2164	2091	2185	2197	1785	1455	1745	1936	2045	2049	2087	--	2120	2136	2171	2037	2083	--	--	--	2029	
TLACUALERA	1491	1599	1463	1553	--	1235	--	1216	1308	--	--	--	--	--	1379	--	1320	1313	--	1385	--	--	1387	
TEQUESQUITENGO	2331	--	2322	2271	2235	2245	2149	--	--	--	--	--	2315	2479	2284	2231	2196	2244	--	--	--	--	2275	
TEPALCINGO	2060	2033	--	--	--	1902	1856	--	1877	--	--	--	--	--	--	--	2562	--	--	--	--	--	2589	2114

TABLA No. 8

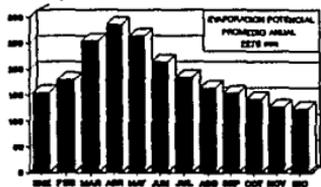
ESTACION CUERNAVACA
 EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL (mm)
 (PERIODO 1963-1984)



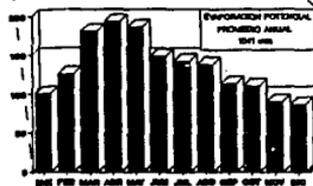
ESTACION TLACUALERA
 EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL (mm)
 (PERIODO 1963-1984)



ESTACION TEQUESQUITE
 EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL (mm)
 (PERIODO 1963-1984)



ESTACION YAUTEPEC
 EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL (mm)
 (PERIODO 1963-1984)



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



HISTOGRAMAS DE EVAPORACION
 POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL
 (PERIODO 1963-1984)

**TESIS
 PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 8

3.2 ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

La red hidrográfica de Morelos forma parte de las cuencas de los ríos Grande de Amacuzac (F) y Atoyac (A), ambas pertenecientes a la "Región Hidrológica "Río Balsas" (No. 18), como se muestra en la figura No. 9. La primera cubre una superficie de 4254 km² y tiene un escurrimiento de 1414 Mm³/año, en ella destacan los ríos: Amacuzac, Yautepec y Cuautla. La cuenca del río Atoyac cuenta con una superficie dentro del estado de 687 km², en ella destacan los ríos de Amatzinac y Tepalcingo, los cuales forman parte de la subcuenca del río Nexapa. Por esta cuenca escurren, aproximadamente, 80 Mm³ por año.

El río Amacuzac se origina en las faldas del volcán Nevado de Toluca, a una altitud de 2600 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.), en las inmediaciones del poblado Tequesquiapan, en donde la corriente se conoce como río Texcaltitlán. Inicia su recorrido por territorio de Morelos con el nombre de río Amacuzac por la parte suroeste, después de emerger en las Grutas de Cacahuamilpa; antes de esto confluyen subterráneamente los ríos Ixtlahuaca y San Jerónimo. Fluye con dirección general hacia el este-sureste hasta la confluencia con el río Cuautla; recibiendo durante este tramo, de 62 km aproximadamente, varias aportaciones, entre ellas la del río Yautepec. Después de esta confluencia cambia su rumbo hacia el sur, hasta confluir con el río Balsas o Mezcala. Sin contar la aportación del río Yautepec, la corriente tiene un escurrimiento natural de 1136 Mm³ (Figura No. 10).

Por su parte, originado en los manantiales de Oaxtepec, en la parte baja de la vertiente sur del Ajusco, el río Yautepec fluye con rumbo suroeste. Durante su recorrido recibe diversas aportaciones, entre ellas la del río Apatlaco; después de la cual recorre 8 km para confluir con el río Amacuzac. Aporta un escurrimiento medio anual de 140 Mm³, de los cuales 111 corresponden a la corriente del río Apatlaco.

El río Cuautla tiene sus orígenes en las faldas del volcán Popocatepetl a una elevación de 3600 m.s.n.m., en su parte alta toma el nombre de Barranca del Volcán, aguas abajo recibe el nombre de río Yecapixtla, donde recibe por su margen derecha, las aportaciones del río Achichipico; pasa por la ciudad de Cuautla en donde recibe el nombre de río Cuautla, y es en ese lugar donde se le agregan las aguas de diversos manantiales, que le provocan un escurrimiento medio anual de 138 Mm³. De ahí recorre alrededor de 45 km para confluir con el río Amacuzac.

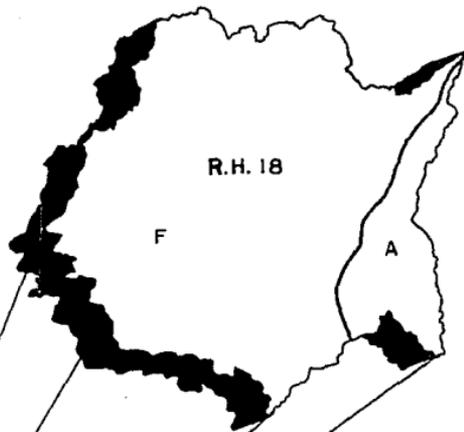
REGIONES HIDROLOGICAS DE LA REPUBLICA MEXICANA

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. BAJA CALIFORNIA NORTE-GRANDE | 19. COSTA GRANDE DE SURENOS |
| 2. BAJA CALIFORNIA CENTRO-OESTE | 20. COSTA CHILA DE SURENOS |
| 3. BAJA CALIFORNIA SUROESTE | 21. COSTA DE OAJACA |
| 4. BAJA CALIFORNIA NOROESTE-LAGUNA SALADA | 22. TERNANTEPEC |
| 5. BAJA CALIFORNIA CENTRO-ESTE | 23. COSTA DE CHIAPAS |
| 6. BAJA CALIFORNIA SURESTE | 24. RIO SANJO |
| 7. RIO COLORADO | 25. RIO SAN FERNANDO Y SOTO LA RAMA |
| 8. SONORA NORTE | 26. RIO YAMICO |
| 9. SONORA SUR | 27. RIO TULUMAHUILA |
| 10. SINALOA | 28. RIO PAHUALDAPAN |
| 11. RIO PRESIDIO R. SAN PEDRO | 29. RIO COATZACOCHCOS |
| 12. LERMA-CAMPALA - SANTIAGO | 30. RIO GATLAN-VO-OSAPACINTA |
| 13. RIO MUCICICILA | 31. YUCATAN PONIENTE |
| 14. RIO AMECA | 32. YUCATAN NORTE |
| 15. COSTA DE AMILCO | 33. YUCATAN ORIENTE |
| 16. RIO MEXICIA Y R. COMAYATLAN | 34. CUENCAS CERRADAS DEL NORTE |
| 17. COSTA DE MICHOCAN | 35. PAPUJI |
| 18. RIO BALBAS | 36. RIO MAZAS Y R. AGUAYANIL |
| | 37. RIO SALADO |



SIMBOLOGIA

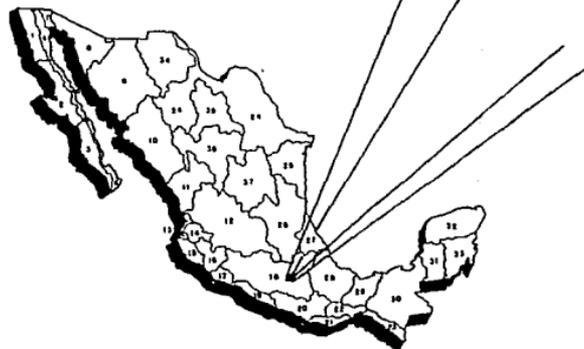
— CUENCA



**REGION HIDROLOGICA No. 18
(RIO BALBAS)**

CUENCA A 687 km²
CUENCA F 4254 km²

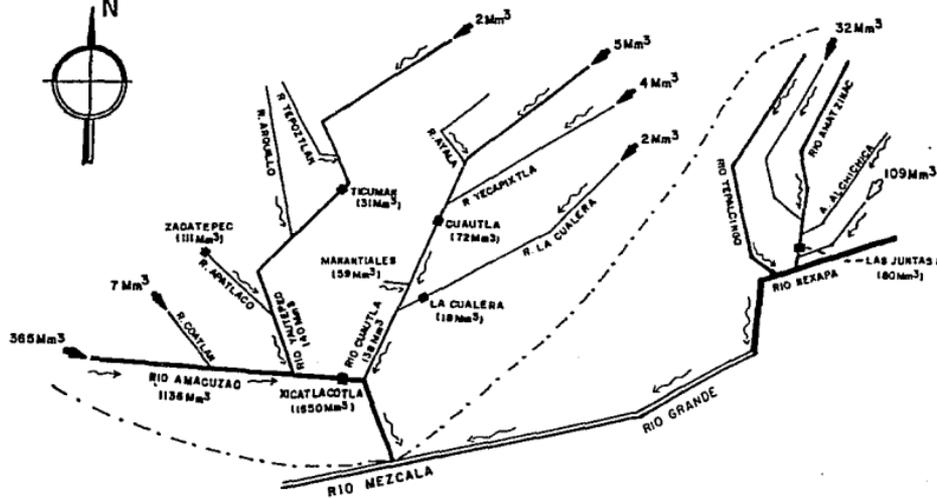
TOTAL 4941 km²



U.N.A.M.		
E.N.E.P. ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
	REGION HIDROLOGICA Y CUENCAS	TESIS PROFESIONAL
	REALIZO: CARLOS MAGARA A.	FIGURA No. 9

CUENCA DEL RIO GRANDE DE AMACUZAC

CUENCA DEL RIO ATOYAC



- ESTACION HIDROMETRICA
- LIMITE DE CUENCA
- DIRECCION DEL ESCURRIMIENTO
- APORTACION DEL ESTADO DE MEXICO
- APORTACION DEL ESTADO DE PUEBLA

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



PRINCIPALES OORRIENTES
SUPERFICIALES DE MORELOS

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 10

El río Amatzinac se origina en las faldas del volcán Popocatepetl, en su parte sur, a una elevación de 3300 m.s.n.m. y fluye con una dirección general hacia el sur, hasta confluir con el río Nexapa. Durante su recorrido recibe diversas aportaciones, entre ellas la del arroyo de Alchichica; después de esta aportación recorre 4 km para finalmente verter su caudal al río Nexapa. Tiene un escurrimiento medio anual de 80 Mm³.

Finalmente, originado en el volcán Popocatepetl, el río Tepalcingo desciende con dirección sur, hasta derivar su caudal al río Nexapa, con un recorrido de 60 km. Esta aportación no puede cuantificarse, dentro de la entidad, debido a que no existen estaciones hidrométricas sobre esta corriente.

3.3 USO ACTUAL DEL AGUA SUPERFICIAL

Para el manejo y aprovechamiento de las aguas superficiales Morelos cuenta con 10 presas de almacenamiento con capacidad útil de 47 Mm³; de éstas, la de San José de Palas con capacidad de 1 Mm³ es exclusivamente para abastecimiento de agua potable, y las restantes se utilizan con fines agrícolas (entre éstas, destaca el almacenamiento natural de la laguna el Rodeo, con una capacidad útil de 20 Mm³). El almacenamiento artificial de mayor capacidad es la presa Emiliano Zapata, con una capacidad útil de 6 Mm³. Además, existen 138 presas derivadoras y tomas directas, de las cuales se extrae un volumen de 497 Mm³, así como 150 abrevaderos, clasificados como tanques de almacenamiento, de los cuales se aprovecha un volumen de 315 Mm³.

Con esta infraestructura se aprovechan 859 Mm³ por año, de este volumen, 837 Mm³ son destinados a la agricultura en una superficie regada de 48 261 hectáreas (has), diseminadas dentro del Distrito de Riego No. 16, con 17 867 usuarios en 35 188 has y en unidades de riego del Distrito de Desarrollo Rural No. 001, con 6035 usuarios en 13 073 has.

Para satisfacer las demandas domésticas y comerciales, requeridas por una población de 1 195 000 habitantes, se destina un volumen de 16 Mm³, mientras que para las industriales se destinan 6 Mm³, en 32 empresas existentes. Otro uso de menor importancia es el pecuario, para el cual se extraen cerca de 0.3 Mm³ (Tabla No. 9).

Para fines recreativos se utilizan, con una capacidad total de 150 Mm³, el lago de Tequesquitengo y la laguna de Coatetelco.

USO DEL AGUA SUPERFICIAL			
TIPO DE USO	VOLUMEN DEMANDADO (Mm ³)		
	CUENCAS		TOTAL
	RIO AMACUZAC	RIO ATOYAC	ESTADO
AGROPECUARIO	736	187	837
DOMESTICO Y COMERCIAL	16	8	16
INDUSTRIAL	6	8	6
TOTAL	752	187	859

TABLA No. 9

3.4 BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES

Como se sabe, no todo el volumen llovido escurre en forma superficial sino que gran parte de este retorna a la atmósfera, por medio de la evapotranspiración y otro poco se infiltra al subsuelo recargando los acuíferos. El volumen que escurre superficialmente (Vesc) se determina mediante los registros medidos en las estaciones hidrométricas que, con ayuda de diversos aparatos, miden los caudales que transitan a través de ellas. Para este caso se obtuvieron los datos de las estaciones localizadas en las principales corrientes que integran la red hidrográfica de Morelos.

$$\begin{aligned} V_{esc} &= 1414 + 80 \text{ (escurrimiento de los ríos Amacuzac y Amatzinac)} \\ V_{esc} &= 1494 \text{ Mm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El volumen de lluvia que se evapotranspira se calculó mediante la fórmula de Turc, que se expresa como:

$$E_{tr} = hp^2 / \{ 0.90 + (hp^2 / L^2) \}^{1/2}$$

donde:

- E_{tr} = Lámina de evapotranspiración (mm/año)
- hp = Lámina de precipitación promedio = 1045 mm/año
- L = $300 + 25T + T^2$
- T = Temperatura media anual = 19.5°C

Sustituyendo los valores de hp y T en sus ecuaciones correspondientes, tenemos que:

$$E_{tr} = 678 \text{ mm/año}$$

Por lo tanto, el volumen que se evapotranspira (V_{etr}) es igual a:

$$\begin{aligned} V_{etr} &= 0.678 \text{ m/año} \times 4941 \times 10^6 \text{ m}^2 \\ V_{etr} &= 3350 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año} = 3350 \text{ Mm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Para determinar el volumen de infiltración (V_{inf}), en forma somera, se recurrió a la ley de conservación de la masa, que para este caso se expresa:

$$\text{Volumen llovido} = V_{esc} + V_{etr} + V_{inf}$$

$$V_{inf} = \text{Volumen llovido} - V_{esc} - V_{etr}$$

$$V_{inf} = (5166 - 1494 - 33350) \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$V_{inf} = 322 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

De lo anterior se concluye que:

Morelos recibe anualmente un volumen de lluvia de 5166 Mm^3 en promedio, con la siguiente distribución: 1494 Mm^3 escurren superficialmente (29%), otros 322 Mm^3 se infiltran alimentando a los acuíferos (6%) y los 3350 Mm^3 restantes retornan a la atmósfera por evapotranspiración (65%). Además, recibe aportaciones de 417 y 109 Mm^3 por parte de los estados de México y Puebla, que suman un escurrimiento anual de 526 Mm^3 .

En la actualidad, escapan del estado 1161 Mm^3 de escurrimiento medio anual hacia los estados de Guerrero y Puebla; de este volumen, 1047 salen por la cuenca del río Grande de Amacuzac, a través del río Amacuzac, y los restantes 114 por la cuenca del río Atoyac, a través de los ríos Amatzinac y Tepalcingo.

Con este balance se entiende que en general la entidad cuenta con abundantes recursos hidráulicos superficiales, sin embargo no tiene suficiente infraestructura hidráulica ni las condiciones naturales necesarias para llevar a cabo las mismas, para aprovechar al máximo dicho recurso. (Cuadro No. 1)

BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES

LLUVIA 5166 	⇒	DISTRIBUCION DE LA LLUVIA	VOLUMEN MEDIO ANUAL
		ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES	1484
		INFILTRACION	322
		EVAPOTRANSPIRACION	3350

APORTES EXTERNOS E INDUCIDOS	VOLUMEN MEDIO ANUAL
ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES PROCEDENTES DE LOS ESTADOS DE MEXICO Y PUEBLA	520
LLUVIA MAS OTRAS APORTACIONES	5692

SALIDAS Y EXTRACCION	VOLUMEN MEDIO ANUAL
EVAPOTRANSPIRACION	3350
INFILTRACION	322
EXTRACCION SUPERFICIAL	850

DISPONIBILIDAD EXCEDENTE DE AGUA SUPERFICIAL (VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO QUE ESCAPA DE MORELOS A TRAVÉS DE LOS RIOS AMACUZAC, AMATZINAC Y TEPALCINGO)	1161
---	------

CUADRO No. 1

IV. GEOLOGIA

4.1 FISIOGRAFIA

El estado de Morelos se encuentra comprendido en las provincias fisiográficas denominadas : Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, como se muestra en la figura No. 11. La primera comprende alrededor de 2810 km² de la porción norte y sureste de la entidad. Se caracteriza por la predominancia de aparatos volcánicos de tipo andesítico y riolítico, que aún conservan su forma cónica. En su parte norte destaca el volcán Popocatepetl con una altura de 5452 metros sobre nivel de mar (m.s.n.m.) , y desde el cual se extiende una serranía hasta el cerro de Zempoala, con una elevación de media de 2700 m.s.n.m. . Además , se encuentran las elevaciones formadas por rocas ígneas de composición basáltica , entre las que destacan: la Sierra Chichinautzin con una altura de 3450 m.s.n.m., la cual constituye el parteaguas entre los valles de Cuernavaca y México; los cerros de Achichipico y Santa Barbara con una elevación de 1900 m.s.n.m..

Al poniente de la provincia se localizan los cerros de Monte Negro y Tres Cruces con una altura promedio de 1600 m.s.n.m., los cuales se encuentran constituidos por rocas calizas.

La porción centro-sur está representada por una sierra volcánica de laderas escarpadas y un cañón. La sierra está sumamente disectada por lo que tiene tipo de emjambre de cerros, y su altitud va aumentando desde la periferia, con una altura de 1000 m.s.n.m., hasta el centro, donde alcanza una altura máxima de 1650 m.s.n.m..

Otra unidad de importancia , es la representada por el gran llano de lomerios, a una elevación de 1250 m.s.n.m., que se extiende desde Yautepec hasta Axochiapan y cuya población más importante es Cuautla.

Por su parte, la provincia de la Sierra Madre del Sur abarca una superficie de 2171 km² de la porción centro y suroeste del estado. La porción noroeste de la provincia está representada por una serie de afloramientos calcáreos que, en conjunto, forman las sierras alargadas con una dirección predominante de noreste a sureste, originando como una secuencia de estructuras anticlinales y sinclinales.

La porción suroeste se encuentra constituida por una gran meseta con lomeríos que va de 900 a 1200 m.s.n.m., la cual está constituida por depósitos aluviales erosionados.

Otro rasgo característico dentro de la zona lo constituyen: la llanura aluvial con lomeríos, en el valle del río Yautepec; la llanura aluvial que se extiende al sur de Cuernavaca desde Emiliano Zapata hasta Jojutla; la gran meseta calcárea con cañadas que se extiende desde la ruinas de Xochicalco hasta Tehuixtla.

4.2 MARCO GEOLOGICO

El marco geológico de Morelos está constituido por afloramientos de rocas ígneas, tanto extrusivas como intrusivas, y sedimentarias. Estas últimas, son las más antiguas que se encuentran en la entidad y están representadas por rocas calizas, pertenecientes al periodo Cretácico. Por su parte, las rocas ígneas son las más jóvenes y las más abundantes, están representadas por los basaltos del Grupo Chichinautzin que pertenecen al periodo Cuaternario o Reciente.

A continuación se describen las rocas que afloran en el estado, de acuerdo con el periodo al que pertenecen: Cretácico, correspondiente a la era del Mesozoico; Terciario y Cuaternario, pertenecientes a la era del Cenozoico.

CRETACICO

Está representado por rocas sedimentarias como calizas, dolomías, areniscas, limolitas y lutitas. Las rocas más antiguas de este periodo son las calizas, que presentan un color que varía de gris oscuro a negro debido al alto contenido de material carbonoso y cuyo espesor varía de 1 a 30 cm. En la parte superior de las calizas se observan delgados lentes de pedernal, que se extienden lateralmente algunos metros. Los principales afloramientos de esta roca se localizan: en el cerro de Xochicalco, al norte de la población de Alpuyeca; en el cerro de Jumiltepec, en las proximidades de la localidad Xochitepec; al suroeste del cerro Acuitlapán, al poniente de Buenavista de Cuellar.

Por otra parte, se localizan en gran parte de la entidad, sobre todo en los límites con los estados de México y Guerrero, estratos formados por dolomías y calizas, de un color que varía de gris claro a negro, con espesores que van de 20 a 60 m. Estos estratos calcáreos y dolomíticos, se encuentran principalmente: en las inmediaciones de Zacatepec y Jojutla de Juárez formando una estructura anticlinal; en la porción nororiental, en el cerro de Tres Cumbres y en la Cañada de Lobos, a unos 30 km al oriente de la ciudad de Cuernavaca.

Las calizas más recientes dentro de este periodo presentan una variación de textura entre calcilutita y calcarenita de color crema, gris claro o gris oscuro; sus principales afloramientos se localizan al poniente de la ciudad de Cuautla, en la parte central de la entidad y cerca del poblado de Tepoztlán.

Por último, se encuentran estratos formados por lutitas, limolitas calcáreas y areniscas, en la parte occidental del anticlinal de Ticuman, en el sur y sureste de la ciudad de Jojutla y en las partes bajas de los sinclinales de Dacalco y Tetecalita.

TERCIARIO

Este periodo está constituido por rocas ígneas y sedimentarias. Entre las primeras se encuentran: intrusivas, como diques y granito, y extusivas, representadas por riolitas y andesitas. Los principales afloramientos de diques se localizan en la parte oriental de la localidad de Emiliano Zapata y los de granito en las inmediaciones del cerro Jumiltepec, donde se encuentra este cuerpo intrusivo con un diámetro aproximado de 500 m.

Las riolitas, representadas por tobas y brechas de coloración que varía de rosa claro a pardo oscuro, tienen su principal afloramiento en los alrededores de Tilzapotta, donde presentan un espesor total de 250 m; además de estar distribuida en el suroeste de Amacuzac, sureste de Jojutla y norte de Temimilcingo. Existen otros afloramientos de esta roca en el sureste de Ticuman, representada por tobas de color gris y en la porción surcentral, al oeste de Huehuetlán el Chico, representada por tobas de color rosado.

Los principales afloramientos de andesitas se localizan: al norte, sur y oriente del poblado de Tepozotlán y en la parte noroccidental de la ciudad de Cuernavaca, donde se encuentran fragmentos con grado de redondez variable, los cuales están empaquetados en una matriz tobácea o arcillo arenosa; al sur y poniente de la población de Tilzapotla, en donde las rocas presentan una coloración variada, predominando el gris claro y gris oscuro; en la población de Huitzilac y la ciudad de Cuernavaca, representadas por derrames, brechas y tobas de coloración variada; al poniente de la ciudad de Cuernavaca, en los alrededores del lago de Tequesquitengo y al noroeste de Amacuzac, donde se encuentran en forma cantos rodados, guijas y guijjarros, empaquetados en arena y arcilla.

Por su parte, las rocas sedimentarias están representadas por anhídritas, yesos, calizas lacustres, conglomerados calcáreos y areniscas. Estas rocas se encuentran formando los valles altos que han quedado protegidos de los agentes erosivos y presentan fracturas y fallas producidas por los eventos tectónicos.

CUATERNARIO

Está representado por rocas ígneas extrusivas, básicamente por basaltos, en forma de derrames, brechas, tobas y escorias que afloran en gran parte de la porción norte de la entidad. Principalmente se encuentran formando la Sierra Chichinautzin, que es la localidad tipo de este afloramiento y el cerro de Tres Marías.

Finalmente, se encuentran los depósitos aluviales constituidos por arcillas, arenas, boleas, gravas y materia orgánica, los cuales forman el relleno de las partes bajas o valles del estado.

4.2.1 UNIDADES GEOHIDROLOGICAS

Las características más importantes que presentan las rocas, desde el punto de vista hidráulico, son la capacidad de almacenar y transmitir al agua a través de su interior; éstas dependen de la permeabilidad, de la relación con otras rocas y de la topografía del terreno donde afloran.

La permeabilidad de las rocas está definida por la capacidad que tienen para conducir el agua a través de los conductos o canales que forman sus poros. Por lo tanto, depende del grado de porosidad y textura de las rocas, así como de las propiedades del agua. Las rocas pueden ser permeables por porosidad o por fisuración, como es el caso de las agregaciones de arena endurecida, en las que el agua pasa por entre los huecos que los granos dejan entre sí y a la vez a través de las grietas que la masa rocosa pueda presentar.

En el cuadro No. 2 se presentan los rangos de porosidad y permeabilidad de algunas rocas.

ROCA	POROSIDAD (%)	PERMEABILIDAD (cm/s)
ARCILLA	45-55	$10^{-6} - 10^{-7}$
ARENA	35-40	$10^{-5} - 10^{-4}$
GRAVA	30-40	$10^{-4} - 10^{-3}$
GRAVA Y ARENA	20-35	$10^{-5} - 10^{-4}$
ARENISCA	10-20	$10^{-8} - 10^{-6}$
CALIZA	1-10	MUY VARIABLE

CUADRO No. 2

En base a lo establecido anteriormente, las rocas que conforman el estado de Morelos se han clasificado dentro de tres unidades geohidrológicas, de acuerdo con la permeabilidad que presentan. Dichas unidades son: Unidad de Permeabilidad Alta (U1), Unidad de Permeabilidad Media (U2) y Unidad de Permeabilidad Baja (U3), cuya distribución se muestra en el plano No. 2.

Unidad de Permeabilidad Alta (U1)

Está constituida por basaltos, clásticos de origen volcánico y aluvión. Los basaltos, pertenecientes al Grupo Chichinautzin, son los más importantes desde el punto de vista geohidrológico, considerando los grandes volúmenes de agua que sobre ellos se precipitan, y que debido a su estructura vesicular y a las fracturas que presentan, gran parte de esta se infiltra, constituyendolo como un acuífero potencial.

Los clásticos de origen volcánico y el aluvión están constituidos por depósitos de materiales angulosos y subangulosos que varían en su granulometría de arena y grava, con escasa presencia de arcilla, por lo que presentan buena porosidad y alta permeabilidad, que disminuye en cuanto mayor es el contenido de material arcilloso.

Unidad de Permeabilidad Media (U2)

Esta unidad geohidrológica está formada por rocas calizas, que en su estado natural presentan mala porosidad y baja permeabilidad, pero debido a su fracturamiento, ocasionado por los eventos tectónicos y a la presencia de canales de disolución, provocados por el fenómeno de karstificación, permiten la infiltración del agua de lluvia. Por ello, su comportamiento geohidrológico se restringe a su fracturamiento y cársticidad, por lo cual se considera que tienen una permeabilidad de tipo ocasional.

Unidad de Permeabilidad Baja (U3)

Esta unidad se encuentra constituida por rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas ígneas son tanto extrusivas como intrusivas. Las primeras están representadas por tobas y brechas de composición andesítica y riolítica. Los cuerpos intrusivos están representados por granito y diques. Ambas rocas presentan fracturamiento escaso y por consiguiente mala porosidad y baja permeabilidad.

Por su parte, las rocas sedimentarias están representadas por lutitas, limolitas, areniscas, yeso y conglomerado calcáreo, que en algunas ocasiones constituyen asociaciones, como es el caso de la lutita-arenisca y arenisca-yeso. Debido a su mala porosidad, ocasionada por su alta compacidad y mala granulometría, estas rocas tienen baja permeabilidad.

4.2.2 ACUIFEROS

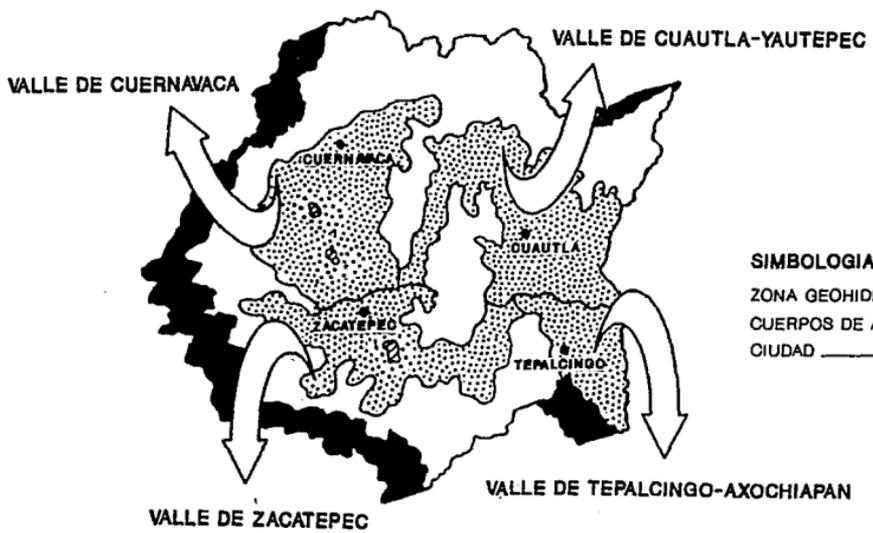
Un acuífero es un depósito subterráneo natural que almacena y transmite agua, normalmente de buena calidad, de tal manera que pueda extraerse en cantidades económicamente aprovechables.

El agua tiene lugar tanto en materiales rocosos consolidados (roca dura), como en materiales sueltos no consolidados (roca suave). Cualquier tipo de roca ígnea, sedimentaria y metamórfica, consolidada o no, puede constituir un acuífero si es suficientemente porosa y permeable.

De acuerdo al tipo de aberturas que presentan las rocas que conforman un acuífero, este puede clasificarse como: **primario**, cuando las aberturas están constituidas por huecos comprendidos entre las partículas de tipo granular; **secundario**, constituido por fisuras, disyunciones o fracturas y **kárstico**, formado por canales de disolución y cavernas en las calizas y dolomitas.

Desde el punto de vista hidráulico los acuíferos se clasifican en tres tipos, estos son: **acuífero libre**, aquel que presenta una superficie libre del agua a la presión atmosférica (a esta superficie se le conoce como nivel freático); **acuífero confinado**, está limitado por un techo superior o capa confinante de baja permeabilidad que mantiene al agua bajo una presión mayor que la atmosférica y **acuífero semiconfinado**, aquel que se encuentra limitado superiormente por una formación de poca permeabilidad (permeabilidad media). En los acuíferos confinados y semiconfinados la superficie imaginaria formada por el agua, que se encuentra por encima del nivel freático, se le conoce como nivel piezométrico. Ambos acuíferos se pueden convertir en uno de tipo libre cuando su nivel piezométrico desciende por abajo del nivel de confinamiento según el caso.

Para facilitar el estudio en cuestión, el estado de Morelos se ha dividido en cuatro zonas geohidrológicas, denominadas: "Valle de Cuernavaca", "Valle de Cuautla-Yautepec" y "Valle de Zacatepec", emplazadas en la cuenca del Río Grande de Amacuzac y la del "valle de Tepalcingo-Axochiapan", localizada dentro de la cuenca del Río Atoyac (Figura No. 12).



SIMBOLOGIA

- ZONA GEOHIDROLOGICA _____ □
- CUERPOS DE AGUA _____ ▨
- CIUDAD _____ ●

U.N.A.M.		
E.N.E.P. ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
	LOCALIZACION DE ZONAS GEOHIDROLOGICAS	TESIS PROFESIONAL
	REALIZO: CARLOS MAGARA A.	FIGURA No. 12

La zona geohidrológica del Valle de Cuernavaca se localiza en la porción noroccidental del estado y cubre una superficie aproximada de 1450 km². En ella se identifican tres tipos diferentes de acuíferos: el inferior, constituido por calizas que presentan alto grado de carsticidad, tiene un espesor medio de 300 m y sobre él se encuentra una capa confinante, de espesor irregular, constituida por conglomerados, tobas, lutitas y limolitas calcáreas; el superior o superficial, con un espesor medio de 250 m, está formado por basaltos del Grupo Chichinautzin, por material piroclástico, lahárico y aluvial con litología variable y, por último, la intercalación de materiales permeables e impermeables que ocasionan la formación de acuíferos colgados de baja producción, los cuales se han logrado captar mediante norías muy profundas, complementadas con galerías filtrantes laterales (Figura No. 13).

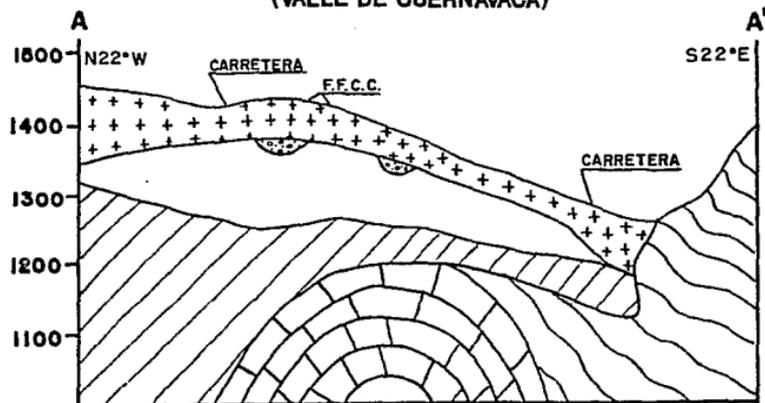
Emplazada en la porción nororiental, la zona del Valle de Cuautla-Yautepec abarca una superficie de 500 km². En esta zona, al igual que en la del Valle de Cuernavaca, se encuentran tres tipos de acuíferos: el de tipo granular superior, con un espesor de hasta 150 m en Yautepec, constituido por depósitos aluviales; el inferior, formado por las calizas del cretácico, las cuales presentan alto grado de carsticidad y el constituido por las rocas basálticas del Grupo Chichinautzin, que forman los acuíferos colgados, y que a su vez alimentan tanto lateral como verticalmente a las calizas subyacentes (Figura No. 14).

Por otra parte, en la porción centro suroccidental de la entidad, con una área aproximada de 1100 km², se localiza la zona geohidrológica del Valle de Zacatepec, en la que se encuentran dos tipos de acuíferos. El superior, constituido por materiales sedimentarios de tipo granular y el inferior, formado por conglomerados volcánicos y calcáreos, calizas lacustres, arenas y derrames volcánicos interestratificados (Figura No. 15).

Finalmente, la zona del Valle de Tepalcingo-Axociapan se encuentra emplazada en la porción suoriental del estado, cubriendo una superficie de 350 km². El principal acuífero de la zona está constituido por clásticos de origen volcánico, los cuales se encuentran poco consolidados y cementados, y por conglomerado formado por fragmentos redondeados de andesita y basalto. Tiene un espesor medio de 350 m (Figura No. 16).

Las secciones hidrogeológicas esquemáticas, presentadas en las figuras del No. 13 al 16, se obtuvieron a partir de las secciones geológicas realizadas en los estudios preexistentes de las cuatro zonas acuíferas que integran el estado.

SECCION HIDROGEOLOGICA ESQUEMATICA A-A'
(VALLE DE CUERNAVACA)



SIMBOLOGIA

-  ALUVION
-  BASALTO
-  CANTOS RODADOS, GUIJAS Y GUIJARROS DE COMPOSICION ANDESITICA EMPACADOS EN ARENA Y ARCILLA
-  CONGLOMERADOS Y DERRAMES VOLCANICOS, CONGLOMERADOS CALCAREOS, CALIZAS LACUSTRES, LIMOS Y ARENAS.
-  CALIZAS ARCILLOSAS, LUTITAS Y LIMOLITAS CALCAREAS, ARENISCAS Y CONGLOMERADO FINO
-  CALIZAS

FUENTE: ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DEL VALLE DE CUERNAVACA

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



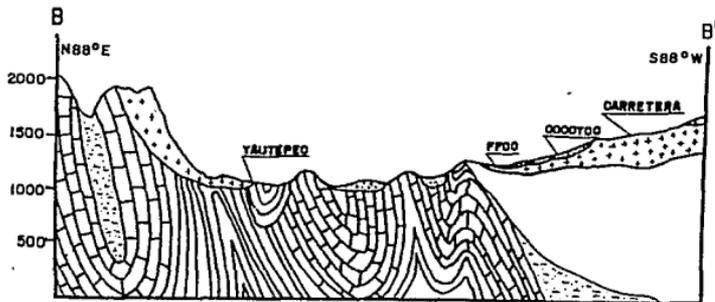
SECCION HIDROGEOLOGICA
ESQUEMATICA

TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGANA A.

FIGURA No. 13

**SECCION HIDROGEOLOGICA ESQUEMATICA B-B'
(VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC)**



SIMBOLOGIA

-  BASALTO DEL GRUPO CHICHINAUTZIN
-  ALUVION
-  CALIZAS POCO FRACTURADAS
-  ESTRATOS CALCAREOS Y DOLOMITICOS
-  LAVA ANDESITICA Y CONGLOMERADO
-  LIMOLITA, LUTITA Y ARENISCA

FUENTE: ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR
DEL VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



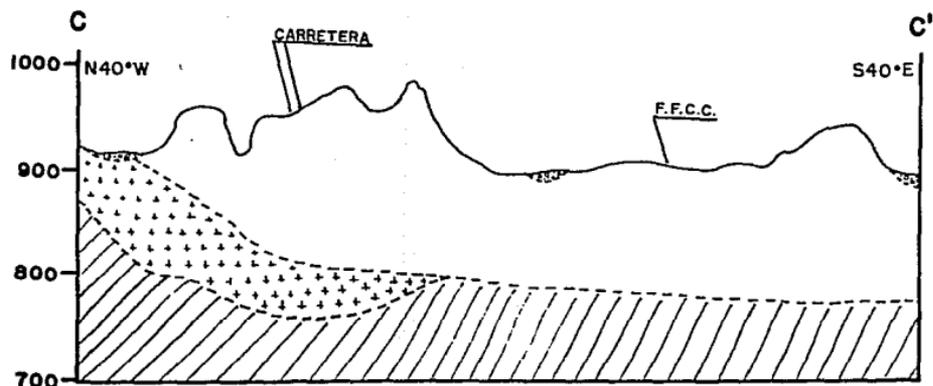
SECCION HIDROGEOLOGICA
ESQUEMATICA

**TRABO
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 14

SECCION HIDROGEOLOGICA ESQUEMATICA C-C'
(VALLE DE ZACATEPEC)



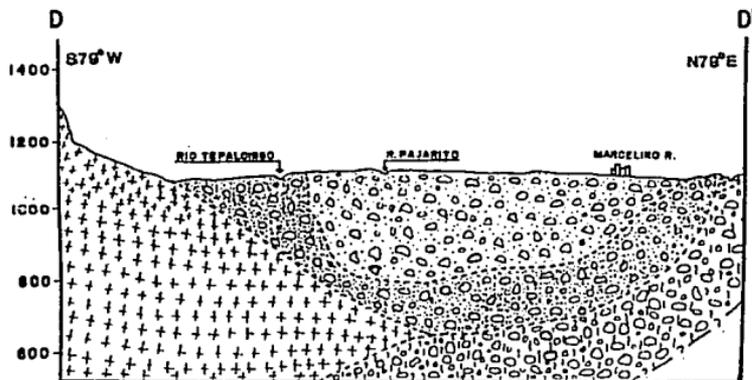
FUENTE: ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR
DEL VALLE DE ZACATEPEC

SIMBOLOGIA

-  ALUVION
-  CANTOS RODADOS, GUIJAS Y GUIJARROS DE COMPOSICION ANDESITICA EMPACADOS EN ARENA Y ARCILLA
-  TOBAS Y BRECHAS DE COMPOSICION RIOLITICA
-  CONGLOMERADOS Y DERRAMES VOLCANICOS, CONGLOMERADOS CALCAREOS, CALIZAS LACUSTRES, LIMOS Y ARENAS.
- CONTACTO HIDROGEOLOGICO INFERIDO

U.N.A.M.		
E.N.E.P. ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
	SECCION HIDROGEOLOGICA ESQUEMATICA	TESIS PROFESIONAL
REALIZO: CARLOS MADARA A.	FIGURA No. 15	

**SECCION HIDROGEOLOGICA ESQUEMATICA D-D'
(VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN)**



FUENTE: ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR
DEL VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

SIMBOLOGIA

-  CLASTICOS DE ORIGEN VOLCANICO
-  CONGLOMERADO FORMADO POR FRAGMENTOS REDONDEADOS DE ANDESITA Y BASALTO
-  LUTITAS, LIMOLITAS CALCAREAS Y CONGLOMERADOS DE COLOR ROJIZO CON FRAGMENTOS SEMIREDONDEADOS DE CALIZAS
-  DERRAMES ANDESITICOS
- CONTACTO HIDROGEOLOGICO INFERIDO

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



SECCION HIDROGEOLOGICA
ESQUEMATICA

TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 16

V. HIDROGEOQUIMICA

La hidrogeoquímica es una ciencia de gran auxilio en la integración de los estudios geohidrológicos, debido a que contempla las características físico-químicas del agua subterránea en relación con las formaciones geológicas por las cuales circula.

Los acuíferos contienen el agua de lluvia que se precipita e infiltra a través de las diversas rocas, con las cuales entra en contacto y disuelve los minerales y las sales solubles existentes, cambiando así su composición química. La cantidad de elementos disueltos en el agua subterránea depende de varios y complejos factores, como son: la temperatura y composición química del agua y de la roca, el área de contacto del agua con las formaciones geológicas, la transmisibilidad del acuífero, la longitud del recorrido, la facilidad de solubilidad de los diferentes minerales, etc.

Lo anterior permite inferir, a partir de la variación espacial de las características físico-químicas del agua, la composición de las rocas a través de las cuales circula, la dirección del flujo subterráneo y la ubicación de las zonas en donde se infiltra.

Cabe destacar que para el presente trabajo, en lo referente al estudio hidrogeoquímico, no fué posible realizar el muestreo y, por lo tanto, el análisis físico-químico del agua, por lo cual se recurrió a información de estudios anteriores realizados en las cuatro zonas geohidrológicas que integran el estado. Sin embargo, se explicará en que consiste cada uno de ellos.

5.1 MUESTREO DE AGUA SUBTERRANEA

Para llevar a cabo el muestreo de agua se debe hacer una selección de los diversos aprovechamientos existentes, tomando en cuenta su ubicación (distribución espacial dentro de la zona de estudio) y características constructivas (pozo, noria, etc.).

Posteriormente, se obtienen las muestras en frascos de polietileno con capacidad de dos litros y con doble tapón, para evitar el posible derramamiento del líquido.

A continuación se exponen algunas de las recomendaciones que deben considerarse en una zona de estudio:

1.- Los frascos deben ser llenados en su totalidad, evitando así la presencia de burbujas que, mediante la fasicación de algunos compuestos, puedan alterar la composición de la muestra.

2.- Inmediatamente después de la toma de cada una de las muestras, para evitar alteraciones, se determinaran "in situ" la temperatura, la conductividad eléctrica (C.E.) y el potencial de hidrógeno (pH).

3.- Se deben identificar cada una de las muestras mediante de una etiqueta, la cual debe contener: el número y tipo de aprovechamiento, fecha y hora, temperatura, pH, conductividad, observaciones y nombre del que tomó la muestra.

4.- Finalmente, las muestras deben ser enviadas a un laboratorio, en donde se les realice un análisis físico-químico.

5.2 ANALISIS FISICO-QUIMICOS

La finalidad de estos análisis es de gran importancia, ya que por medio de éstos se llega a conocer la procedencia y comportamiento de cada uno de los componentes del agua que forman los acuíferos de una zona geohidrológica.

Mediante estos análisis, se realizan las siguientes determinaciones:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Conductividad eléctrica (C.E.)
- Dureza total (DT)
- Sólidos totales disueltos (STD)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Sodio (Na)
- Bicarbonatos (HCO_3)
- Carbonatos (CO_3)
- Cloruros (Cl)
- Sulfatos (SO_4)

Los resultados de los análisis químicos, mostrados en las tablas del No. 10 al 13, corresponden a las muestras obtenidas de 100 aprovechamientos, los cuales se encuentran distribuidos en las cuatro zonas geohidrológicas que conforman el estado (25 aprovechamientos por zona).

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

ZONA VALLE DE CUERNAVACA

NUMERO DE POZO	TEMP °C	PH LAB	C.E. μ hos/cm	DUREZA TOTAL ppm	STD ppm	CATIONES (+)						ANIONES (-)							
						Ca	Ca	Mg	Mg	Na	Na	HCO ₃	HCO ₃	CO ₃	CO ₃	Cl	Cl	SO ₄	SO ₄
						ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l
3	18	6.5	648	397	454	188	5.39	31	2.55	12	0.52	457	7.49	27	0.88	35	8.99	17	8.35
14	28	6.5	738	449	511	184	5.19	46	3.78	13	0.57	366	6.08	45	1.47	39	1.18	85	1.77
76	18	6.5	658	448	468	84	4.19	56	4.61	4	0.17	366	6.08	9	0.29	28	0.79	188	2.88
113	19	7.8	165	137	116	12	0.68	26	2.14	8	0.88	128	2.18	8	0.88	14	0.39	1	0.82
125	19	8.8	118	69	61	8	0.48	12	0.99	8	0.88	54	0.89	8	0.88	14	0.39	1	0.82
126	28	6.5	175	128	123	12	0.68	24	1.97	8	0.88	146	2.39	8	0.88	12	0.34	3	0.86
131	19	7.8	115	98	81	8	0.48	19	1.56	8	0.88	73	1.28	8	0.88	17	0.48	1	0.82
137	21	7.8	113	87	79	12	0.68	14	1.15	8	0.88	73	1.28	8	0.88	17	0.48	8	0.88
164	21	6.5	163	128	114	28	1.88	17	1.48	8	0.88	188	1.64	4	0.13	21	0.59	3	0.86
165	19	6.5	238	199	166	24	1.28	34	2.88	8	0.88	164	2.69	9	0.29	19	0.54	8	0.88
195	19	6.3	145	98	181	8	0.48	17	1.48	9	0.88	189	1.79	8	0.88	14	0.39	8	0.88
286	19	6.8	125	188	88	12	0.68	17	1.48	8	0.88	91	1.49	8	0.88	14	0.39	8	0.88
216	19	7.3	524	417	367	116	5.79	31	2.55	8	0.88	482	6.59	8	0.88	19	0.54	4	0.88
238	19	6.8	184	98	129	8	0.48	19	1.56	16	0.78	128	2.18	8	0.88	12	0.34	11	0.23
244	19	6.5	386	269	278	52	2.59	34	2.88	8	0.88	237	3.88	8	0.88	17	0.48	51	1.86
245	19	7.9	231	158	162	24	1.28	22	1.81	7	0.38	146	2.39	8	0.88	23	0.65	14	0.29
256	19	7.3	488	218	285	28	1.48	36	2.96	41	1.78	274	4.49	18	0.59	28	0.79	8	0.88
258	19	8.8	449	347	314	68	2.99	48	3.95	8	0.88	274	4.49	18	0.59	38	0.85	24	0.58
263	19	6.5	481	178	281	48	2.88	19	1.56	45	1.96	228	3.74	9	0.29	44	1.24	12	0.25
273	19	6.3	717	411	582	112	5.59	32	2.63	8	0.88	238	3.98	8	0.26	39	1.18	194	4.84
276	19	7.7	491	348	343	72	3.59	39	3.21	2	0.89	311	5.18	4	0.13	17	0.48	57	1.19
288	19	6.5	433	319	383	52	2.59	46	3.78	8	0.88	256	4.28	4	0.13	21	0.59	55	1.15
282	19	6.5	556	399	389	84	4.19	46	3.78	8	0.88	366	6.08	8	0.88	21	0.59	59	1.23
424	19	8.8	218	177	152	28	1.88	31	2.55	8	0.88	164	2.69	8	0.88	21	0.59	8	0.88
476	19	8.3	288	167	148	16	0.88	31	2.55	8	0.88	153	2.51	8	0.88	17	0.48	1	0.82

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

ZONA VALLE DE CUATLA-YAUTEPEC

NUMERO DE POZO	TEMP °C	PH LAB	C.E. μmhos/cm	DUREZA TOTAL PPM	STD ppm	CATIONES (+)						ANIONES (-)							
						Ca		Mg		Na		HCO ₃		CO ₃		Cl		SO ₄	
						PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l
2	22	6.5	256	69	179	16	0.00	7	0.50	34	1.40	0	0.00	10	0.33	26	0.73	86	1.79
6	23	6.7	589	220	356	24	1.20	39	3.21	48	2.09	160	2.75	19	0.62	18	0.51	126	2.62
8	20	7.0	595	321	416	48	2.40	49	4.03	34	1.40	264	4.33	0	0.00	50	1.41	186	2.21
15	22	6.7	415	179	290	16	0.00	34	2.00	42	1.83	176	2.00	12	0.39	14	0.39	86	1.79
20	23	7.0	193	110	135	16	0.00	19	1.56	0	0.00	37	0.61	22	0.72	12	0.34	48	1.00
25	22	6.7	522	362	366	66	3.29	48	3.95	0	0.00	246	4.03	34	1.11	30	0.85	67	1.39
26	23	7.0	565	403	395	76	3.79	52	4.20	0	0.00	252	4.13	36	1.10	30	1.07	70	1.46
20	23	6.7	625	479	438	80	3.99	60	5.59	0	0.00	273	4.47	39	1.20	40	1.13	77	1.60
32	23	6.4	324	240	227	32	1.60	39	3.21	0	0.00	137	2.25	17	0.56	14	0.39	50	1.21
33	23	7.0	432	315	302	39	1.95	53	4.36	0	0.00	160	2.62	27	0.80	35	0.99	70	1.46
36	23	6.7	400	362	336	43	2.15	62	5.10	0	0.00	160	2.75	32	1.05	40	1.13	77	1.60
43	23	6.7	347	260	243	35	1.75	42	3.45	0	0.00	130	2.13	20	0.66	22	0.62	60	1.25
49	23	6.7	309	170	217	32	1.60	24	1.97	12	0.52	142	2.33	5	0.16	16	0.45	50	1.21
54	23	7.0	304	200	269	20	1.00	56	4.61	0	0.00	171	2.00	24	0.79	16	0.45	69	1.44
70	23	6.7	572	372	400	80	4.39	37	3.04	0	0.00	207	3.39	10	0.33	50	1.44	186	2.21
70	23	6.3	409	260	342	32	1.60	44	3.62	20	1.22	170	2.92	17	0.56	20	0.79	186	2.21
79	23	6.7	507	317	355	40	2.00	53	4.36	11	0.40	232	3.00	7	0.23	24	0.60	186	2.21
84	23	6.7	316	150	221	24	1.20	24	1.97	23	1.00	127	2.00	14	0.46	16	0.45	50	1.21
88	23	7.0	504	370	353	56	2.79	50	4.77	0	0.00	290	4.75	17	0.56	22	0.62	50	1.21
91	23	7.0	644	390	450	64	3.19	50	4.77	10	0.44	203	3.33	30	1.25	10	0.51	163	3.39
94	23	6.7	362	240	253	32	1.60	39	3.21	0	0.00	70	1.20	24	0.79	24	0.60	96	2.00
152	20	7.0	646	370	452	56	2.79	50	4.77	29	1.26	361	5.92	0	0.00	36	1.02	96	2.00
170	20	7.0	553	219	307	32	1.60	34	2.00	66	2.07	264	4.33	5	0.16	44	1.24	77	1.60
171	20	7.0	400	200	341	40	2.40	39	3.21	25	1.09	260	4.39	0	0.00	40	1.13	50	1.21
172	20	6.7	470	201	334	32	1.60	49	4.03	26	1.13	264	4.33	10	0.33	40	1.13	40	1.00

TABLA No. 11

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

ZONA VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

NUMERO DE POZO	TEMP °C	PH LAB	C.E. metros/cm	DUREZA TOTAL PPM	STD PPM	CATIONES (+)						ANIONES (-)							
						Ca		Mg		Na		HCO ₃	HCO ₃	CO ₃	CO ₃	Cl	Cl	SO ₄	SO ₄
						PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l	PPM	mg/l
1483	25	7.9	411	156	288	28	1.40	21	1.73	44	1.91	236	3.87	0	0.00	30	0.85	49	1.02
1539	26	7.6	247	123	173	18	0.90	19	1.56	24	1.84	163	2.67	0	0.00	7	0.28	25	0.52
1578			459	251	321	43	2.15	35	2.88	38	1.65	382	4.95	0	0.00	4	0.11	53	1.18
1575	38	7.8	426	226	298	51	2.54	24	1.97	34	1.48	351	5.75	0	0.00	5	0.14	12	0.25
1583			587	287	355	51	2.54	39	3.21	38	1.65	290	4.75	0	0.00	9	0.25	76	1.58
1588	28	7.8	364	286	255	43	2.15	24	1.97	33	1.44	297	4.87	0	0.00	1	0.03	8	0.17
1589	27	7.6	364	215	255	40	2.00	28	2.38	32	1.39	297	4.87	0	0.00	2	0.06	7	0.15
1592	28	7.6	1058	585	748	157	7.83	47	3.87	51	2.22	372	6.10	0	0.00	19	0.54	284	5.91
1593	27	7.5	736	327	515	121	6.84	6	0.49	59	2.57	354	5.80	0	0.00	20	0.56	136	2.93
1599	29	7.5	481	287	337	51	2.54	39	3.21	38	1.65	297	4.87	0	0.00	3	0.08	68	1.25
1688			889	425	622	83	4.14	53	4.36	58	2.18	329	5.39	0	0.00	14	0.39	261	5.43
1611	25	7.8	416	212	291	21	1.05	39	3.21	41	1.78	351	5.75	0	0.00	5	0.14	13	0.27
1614	29	7.7	597	328	418	72	3.59	36	2.96	34	1.48	347	5.69	0	0.00	21	0.59	85	1.77
1619	26	7.8	945	439	662	100	4.99	46	3.78	59	2.57	299	4.90	0	0.00	22	0.62	288	6.00
1622	28	7.5	528	252	378	45	2.25	34	2.88	39	1.78	388	5.85	0	0.00	5	0.14	96	2.00
1638			556	254	389	46	2.38	34	2.98	48	1.74	315	5.16	0	0.00	28	0.79	87	1.81
1632			591	228	414	42	2.10	38	2.47	62	2.78	293	4.88	0	0.00	26	0.73	118	2.29
1636			984	369	689	54	2.69	57	4.69	135	5.87	373	6.11	0	0.00	24	0.68	236	4.91
1648	31	7.5	464	168	325	36	1.88	19	1.56	52	2.26	246	4.83	0	0.00	20	0.56	77	1.68
1642	31	7.8	783	311	492	26	1.38	68	4.94	48	1.74	182	2.98	0	0.00	24	0.68	253	5.27
1644			563	212	394	21	1.05	39	3.21	55	2.39	247	4.85	0	0.00	18	0.51	148	2.91
1658	29	7.6	1385	765	978	234	11.48	44	3.62	5	0.22	195	3.28	0	0.00	31	0.87	568	11.66
1679	26	7.6	455	237	319	52	2.59	26	2.14	36	1.57	283	4.64	0	0.00	41	1.16	25	0.52
1685			288	112	146	28	1.88	15	1.23	16	0.78	99	1.62	0	0.00	5	0.14	41	0.85
1691	26	7.3	2329	1217	1638	331	16.52	95	7.81	58	2.52	253	4.15	0	0.00	24	0.68	998	20.78

TABLA No. 12

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

ZONA VALLE DE ZACATEPEC

NUMERO DE POZO	TEMP °C	PH LAB	C.E. μ ahos/cm	DUREZA TOTAL PPM	STD PPM	CATIONES (+)								ANIONES (-)							
						Ca		Mg		Na		HCO ₃	HCO ₃	CO ₃	CO ₃	Cl	Cl	SO ₄	SO ₄		
						PPM	me/l	PPM	me/l	PPM	me/l	PPM	me/l	PPM	me/l	PPM	me/l	PPM	me/l	PPM	me/l
32	27	7.5	748	498	523	148	6.99	36	2.96	1	0.84	366	6.88	27	0.88	28	0.79	112	2.33		
33	26	7.8	738	497	511	128	5.99	48	3.95	4	0.17	439	7.28	9	0.29	35	0.99	88	1.67		
47	26	7.8	688	417	428	88	3.99	53	4.36	9	0.39	421	6.98	9	0.29	35	0.99	28	0.58		
68	28	6.5	1375	849	963	228	18.98	73	6.88	22	0.96	567	9.29	31	1.02	79	2.23	268	5.41		
74	27	8.8	1198	749	833	168	7.98	85	6.99	17	0.74	567	9.29	31	1.02	62	1.75	288	4.16		
83	38	7.8	448	298	388	68	2.99	36	2.96	12	0.52	329	5.39	4	0.13	32	0.98	3	0.86		
86	27	7.8	944	596	661	148	6.99	68	4.94	28	0.87	475	7.79	9	0.29	79	2.23	128	2.58		
291	28	6.5	755	496	528	128	6.39	43	3.54	8	0.35	384	6.29	27	0.88	42	1.10	92	1.92		
292	28	6.5	883	599	618	128	5.99	73	6.88	5	0.22	457	7.49	27	0.88	44	1.24	125	2.68		
293	25	7.8	642	397	458	88	3.99	48	3.95	15	0.65	293	4.88	9	0.29	42	1.18	112	2.33		
296	27	7.8	943	597	668	168	7.98	48	3.95	7	0.38	482	6.59	9	0.29	55	1.55	184	3.83		
297	27	6.5	733	476	513	188	4.99	55	4.52	8	0.35	347	5.69	13	0.43	37	1.04	138	2.71		
388	28	7.8	614	398	438	188	4.99	36	2.96	13	0.57	347	5.69	13	0.43	51	1.44	47	0.98		
314	29	6.5	1613	949	1129	268	12.97	73	6.88	8	0.35	347	5.69	22	0.72	71	2.08	525	10.93		
323	28	7.8	727	397	589	144	7.19	9	0.74	29	1.26	329	5.39	22	0.72	44	1.24	188	2.88		
345	28	7.8	664	447	465	188	4.99	48	3.95	5	0.22	347	5.69	27	0.88	38	0.85	85	1.77		
348	25	7.8	614	488	438	96	4.79	41	3.37	11	0.48	347	5.69	27	0.88	44	1.24	41	0.85		
757	27	6.5	539	349	391	92	4.59	29	2.39	16	0.78	329	5.39	9	0.29	35	0.99	49	1.02		
766	25	7.8	711	448	498	112	5.59	41	3.37	22	0.96	457	7.49	9	0.29	39	1.18	51	1.06		
769	28	7.5	557	368	398	88	3.99	41	3.37	9	0.39	292	4.79	18	0.59	44	1.24	55	1.15		
1489	27	7.8	588	347	358	68	2.99	48	3.95	12	0.52	366	6.88	18	0.59	38	0.85	3	0.86		
1418	28	7.8	954	597	668	152	7.58	53	4.36	7	0.38	347	5.69	27	0.88	39	1.18	228	4.58		
1746	26	6.5	722	497	585	128	5.99	48	3.95	2	0.89	384	6.29	27	0.88	49	1.38	71	1.48		
1761	31	6.5	1657	899	1168	248	11.98	73	6.88	18	0.78	439	7.28	27	0.88	62	1.75	525	10.93		
1769	28	7.5	1187	699	775	148	6.99	85	6.99	5	0.22	384	6.29	13	0.43	44	1.24	388	6.25		

TABLA No. 13

A continuación se describen los valores y su distribución espacial, dentro de los acuíferos estatales, de cada una de las determinaciones realizadas en los análisis.

5.2.1 TEMPERATURA

Está ligada, principalmente, al hecho de tratarse de aguas superficiales o profundas, puesto que en estas últimas, además de la influencia de la Ley Geotérmica, pueden intervenir incluso determinados fenómenos eruptivos, mientras que en las superficiales tienen mayor acción las variaciones estacionales.

La temperatura del agua subterránea, de acuerdo con las muestras analizadas, varía entre: 18 y 21°C, con promedio de 19°C, en el Valle de Cuernavaca; 20 y 23°C, con promedio de 22°C, en el Valle de Cuautla-Yautepec; 25 y 31°C, con promedio de 28°C, en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan; 25 y 31°C, con promedio de 27°C, en el Valle de Zacatepec. De esto se observa que la temperatura, en cada zona geohidrológica, es poco variable y que los valores máximos se presentan en la porción sur de la entidad (valles de Tepalcingo-Axochiapan y Zacatepec) y los mínimos en el norte (valles de Cuernavaca y Cuautla-Yautepec).

5.2.2 POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

Las concentraciones de hidrógeno (pH) en el agua subterránea varían de 6.0 a 8.0 en el Valle de Cuernavaca, de 6.3 a 7.0 en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 7.3 a 7.9 en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 6.0 a 8.0 en el Valle de Zacatepec. En general, el agua subterránea de Morelos es ácida ($\text{pH} < 7$), a excepción del Valle de Tepalcingo-Axochiapan, donde todas las muestras analizadas resultaron alcalinas ($\text{pH} > 7$).

5.2.3 SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Los sólidos totales disueltos (STD) son el resultado de la suma de los elementos que el agua incorpora en solución durante su recorrido. La cantidad así como el tipo de elementos depende de la composición y solubilidad de las rocas con las cuales tiene contacto.

Las concentraciones en las muestras de agua analizadas varían entre: 61 y 511 ppm en el Valle de Cuernavaca, los valores más bajos se presentan hacia el norte de la zona y se incrementan hacia el sur; 135 y

452 ppm en el Valle de Cuautla-Yautepec, de igual forma las concentraciones aumentan de norte a sur; 146 y 1630 ppm en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan, los valores aumentan de norte a sur, en su parte central, y de sur a norte en su porción noreste; 308 y 1160 ppm en el Valle de Zacatepec, las mayores concentraciones se presentan hacia la porción norte del lago de Tequesquitengo, con valores de 833 ppm, así mismo hacia la parte sur en las inmediaciones de Huixtla, con valores de hasta 1129 ppm, correspondiendo esta zona a la salida del valle (Plano No. 3).

5.2.4 CATIONES

CALCIO (Ca)

El elemento calcio es un ion divalente de carga positiva que se encuentra formando parte de la mayoría de las rocas que constituyen la corteza terrestre (calizas, dolomías, yeso y anhidrita). Por ello es común encontrar a este elemento disuelto en el agua, sobre todo por la que circula a través de las rocas carbonatadas.

El calcio se encuentra en concentraciones que varían de 8 a 116 ppm en el Valle de Cuernavaca, de 16 a 88 ppm en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 18 a 331 ppm en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 60 a 260 ppm en el Valle de Zacatepec (Plano No. 4). Estas concentraciones provienen de la disolución de los feldespatos cálcicos contenidos en las rocas ígneas que afloran en la entidad, así como de algunos horizontes calcáreos existentes dentro de los materiales sedimentarios de tipo granular.

MAGNESIO (Mg)

Este ion corresponde a un elemento que presenta carga positiva y se constituye como elemento de un gran número de rocas, sobre todo de los basaltos y dolomías.

Las concentraciones de este elemento varían entre: 12 y 56 ppm, en el Valle de Cuernavaca; 7 y 68 ppm, en el Valle de Cuautla-Yautepec; 6 y 95 ppm, en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan; 9 y 85 ppm en el Valle de Zacatepec (Plano No. 5). Las concentraciones de este ion, dentro de las zonas geohidrológicas, provienen de las rocas ígneas, principalmente basaltos del Grupo Chichinautzin, las cuales lo contienen en los minerales ferromagnesianos que las constituyen y de las rocas sedimentarias carbonatadas como las calizas y dolomías.

SODIO (Na)

Este elemento junto con el calcio y el magnesio, corresponde a los principales cationes encontrados en la naturaleza. Dentro de la entidad se encuentran bajas concentraciones de este ion que varían de 0 a 45 ppm en el Valle de Cuernavaca, de 0 a 66 ppm en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 5 a 135 ppm en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 1 a 29 ppm en el Valle de Zacatepec (Plano No. 6). Estas concentraciones son debidas a algunos horizontes de tipo evaporítico, así como a la alteración de feldespatos y plagioclasas de rocas ígneas.

5.2.5 ANIONES

BICARBONATOS (HCO_3)

Los valores de este ion varían de 54 a 457 ppm en el Valle de Cuernavaca, de 0 a 361 ppm en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 99 a 372 ppm en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 292 a 567 ppm en el Valle de Zacatepec (Plano No. 7). Las concentraciones de bicarbonatos provienen principalmente de la disolución de rocas calcáreas, así como de reacciones químicas entre el agua y el bióxido de carbono.

CLORUROS (Cl)

Dentro de la entidad encontramos a este ion en concentraciones bajas que varían de 12 a 44 ppm en el Valle de Cuernavaca, de 12 a 58 ppm en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 1 a 41 ppm en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 28 a 79 ppm en el Valle de Zacatepec (Plano No. 8).

Los cloruros provienen de algunos constituyentes de las rocas ígneas que contienen minerales de apatita y feldespatos, especialmente feldespatos sódicos; sin embargo, la mayor cantidad de cloro lo proporcionan las rocas sedimentarias y en especial las evaporitas, que lo han adquirido no solo por disolución de las rocas sino también por concentraciones debidas a la evaporación de cuerpos de agua superficiales.

SULFATOS (SO_4)

Generalmente los sulfatos se encuentran formando parte de algunas rocas, como son los yesos y las anhidritas, de las Formaciones Morelos y Mexcala.

Este anión se encuentra en concentraciones que varían de 0 a 194 ppm en el Valle de Cuernavaca, de 48 a 163 ppm en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 7 a 998 ppm en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 3 a 525 ppm en el Valle de Zacatepec (Plano No. 9).

5.2.6 DIAGRAMAS TRIANGULARES DE PIPER

Para conocer de forma rápida e ilustrativa los diferentes tipos de agua subterránea con respecto a su composición química, se graficaron en el diagrama triangular de Piper los valores de los principales aniones (bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y cationes (calcio, magnesio y sodio), en porcentajes de miliequivalentes por litro (meq/l).

El anión y catión que predominan en una muestra de agua obtenida son conocidos como familia de agua, las cuales se dividen para los cationes en aguas cálcicas, magnésicas, sódicas y mixtas y para los aniones en bicarbonatadas, sulfatadas, cloradas y mixtas, dependiendo de la ubicación de la muestra dentro del triángulo.

De acuerdo a lo anteriormente señalado y a los diagramas de Piper mostrados en las figuras del No. 17 al 24, se prosiguió a determinar las familias de agua, correspondientes a las muestras seleccionadas de las 4 zonas geohidrológicas del estado.

VALLE DE CUERNAVACA

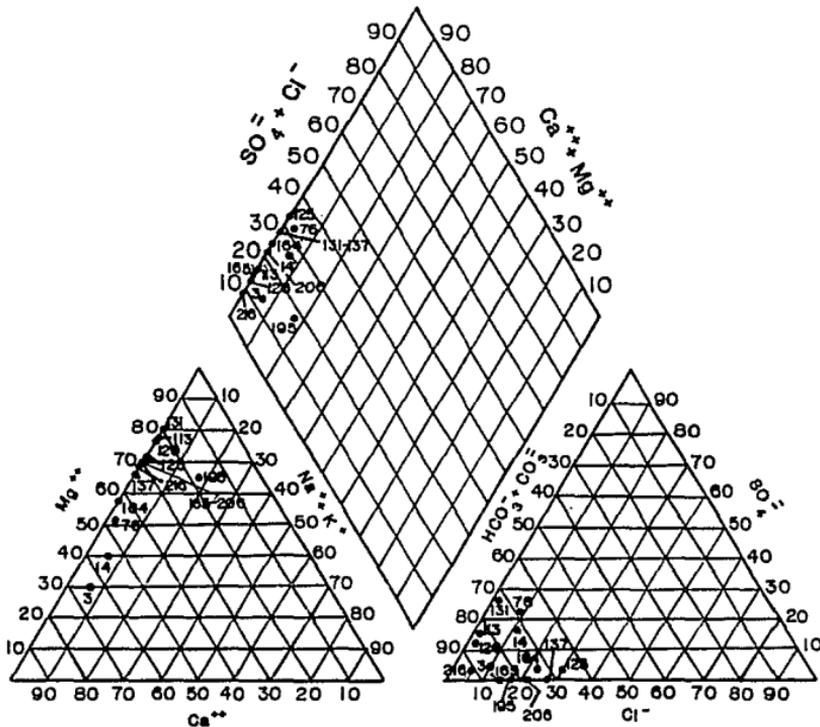
De las 25 muestras seleccionadas 4 pertenecieron a la familia Cálcica-Bicarbonatada, 1 a la Cálcica-Mixta Bicarbonatada, 1 a la Mixta Cálcica-Bicarbonatada y 19 a la Magnésica-Bicarbonatada.

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

En esta zona 4 muestras pertenecieron a la familia Mixta Magnésica-Bicarbonatada, 1 a la Cálcica-Bicarbonatada, 1 a la Sódica-Bicarbonatada, 18 a la Magnésica-Bicarbonatada y 1 a la Magnésica-Mixta Bicarbonatada.

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

Esta zona presentó 4 muestras pertenecientes a la familia Mixta Sódica-Bicarbonatada, 10 a la Mixta Magnésica-Bicarbonatada, 4 a la Mixta Cálcica-Bicarbonatada, 2 a la Cálcica-Bicarbonatada, 2 a la Cálcica-Sulfatada, 1 a la Mixta Cálcica-Sulfatada, 1 a la Magnésica-Sulfatada y 1 a la Mixta Magnésica-Mixta Bicarbonatada.



NUMERO DE POZO	CATIONES				ANIONES			
	Ca	Mg	Na	Cl	SO4	CO3	HCO3	Cl
3	64	38	6	86	10	4		
14	54	40	6	72	31	17		
76	47	51	2	69	9	22		
113	22	78	0	83	16	1		
125	29	71	0	68	30	2		
126	23	77	0	86	12	2		
131	20	80	0	71	28	1		
137	34	66	0	71	29	0		
164	42	58	0	73	24	3		
165	30	70	0	85	15	0		
195	18	64	18	82	18	0		
206	30	70	0	79	21	0		
216	69	31	0	91	7	2		

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

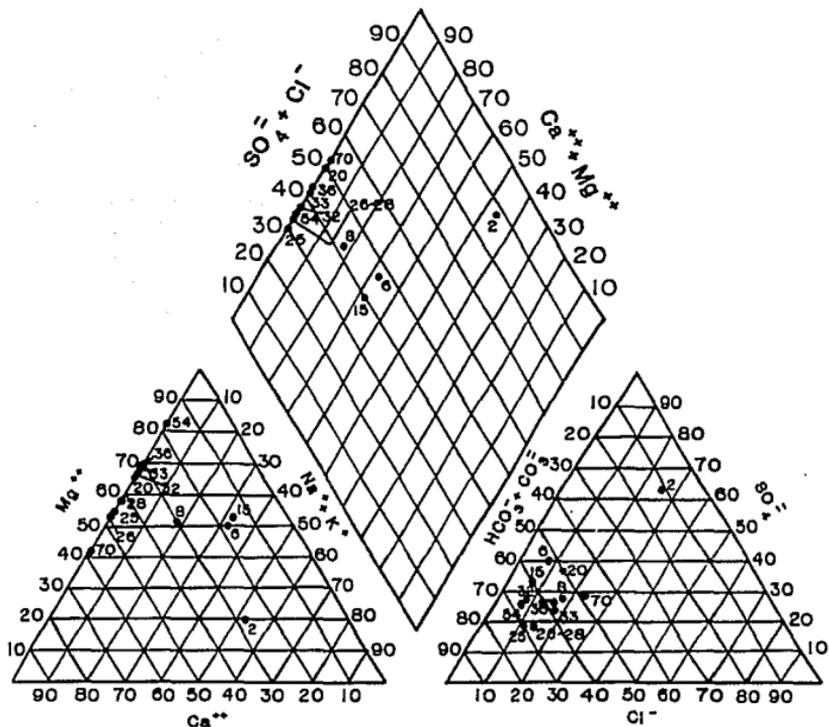


VALLE DE GUERRAMACA
DIAGRAMA TRIANGULAR
DE PIPER

TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 17



NUMERO DE POZO	CATIONES				ANIONES		
	%Ca	%Mg	%Na	%HCO3+CO3	%Cl	%SO4	
2	28	20	52	11	26	63	
6	18	50	32	52	8	40	
8	20	51	19	54	18	28	
15	15	52	33	60	7	33	
20	34	66	0	50	13	37	
25	45	55	0	70	11	19	
26	47	52	0	68	12	18	
28	42	58	0	68	12	19	
32	32	67	0	64	9	27	
33	31	69	0	59	17	24	
36	20	70	0	58	17	25	
54	18	82	0	66	8	26	
70	59	41	0	49	22	29	

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

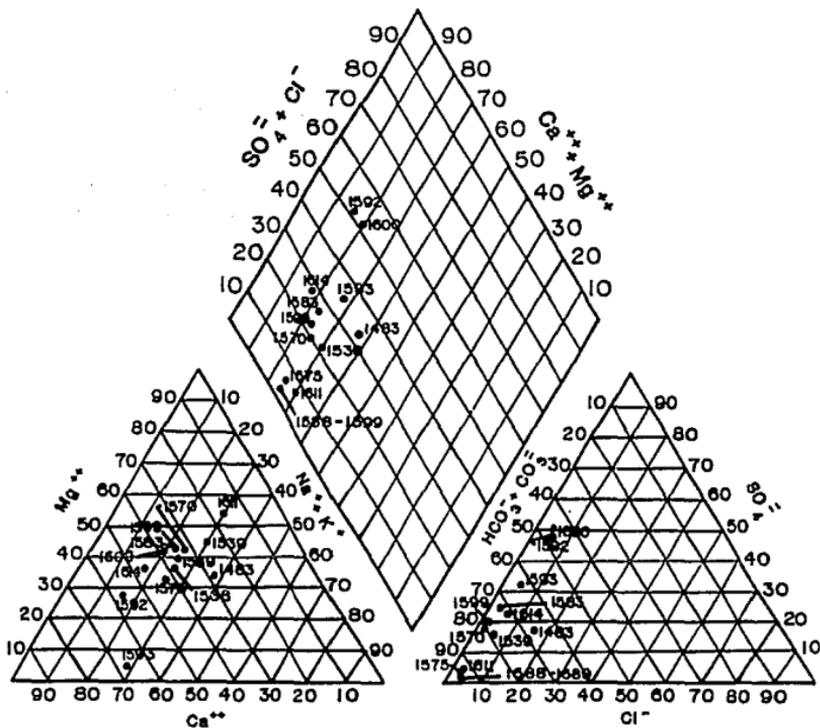


ALLE DE QUAUTLA-MUTEPEO
DIAGRAMA TRIANGULAR
DE PIPER

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 10



NUMERO DE PUNTO	CATIONES			ANIONES			
	Ca	Mg	SO4	Cl	CO3+HCO3	NO3	SO4
1483	28	24	38	67	15	18	
1539	25	45	30	79	6	15	
1578	22	43	25	88	2	18	
1575	42	33	25	94	2	4	
1583	34	43	22	72	4	24	
1588	39	36	25	76	1	3	
1589	35	40	25	76	1	3	
1592	56	28	16	49	4	47	
1593	46	5	29	63	6	31	
1599	34	43	22	78	2	20	
1600	39	41	20	48	4	48	
1611	17	52	30	92	2	5	
1614	45	37	18	71	7	22	

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

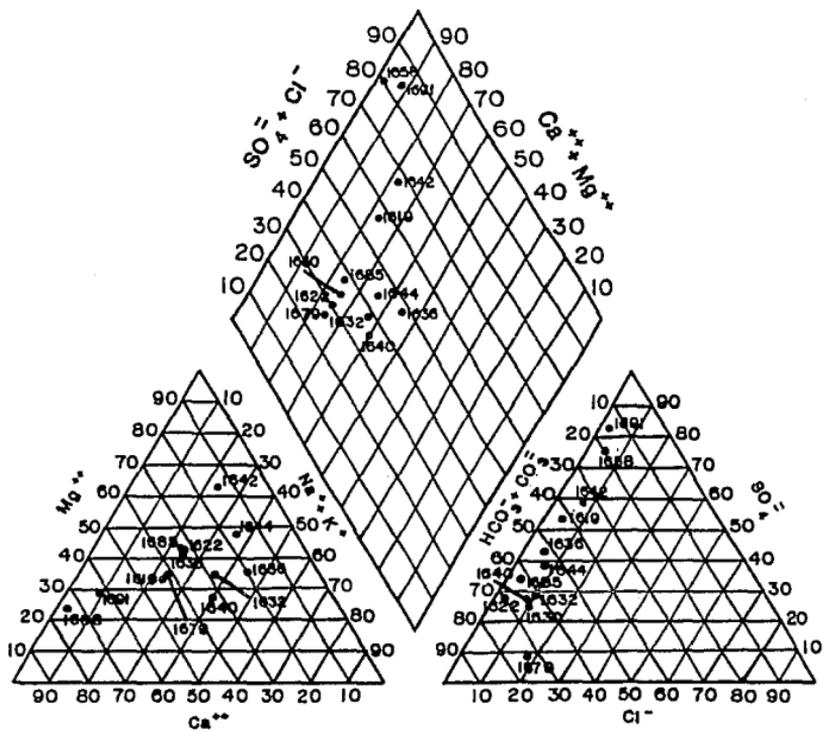


MADE DE TERNINGO-ARDOCHIANN
DIAGRAMA TRIANGULAR
DE PIPER

TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 21



NUMERO Y POS	CATIONES			ANIONES		
	%Ca	%Mg	%S	%CO3+Cl	%Cl	%SO4
1619	44	33	23	43	5	52
1622	33	42	25	70	2	28
1620	34	41	25	66	10	24
1632	29	34	37	61	10	29
1636	20	35	45	52	6	42
1640	22	28	49	65	9	26
1642	16	62	22	33	8	59
1644	16	48	36	54	7	39
1658	75	23	2	20	4	74
1679	41	34	25	73	18	9
1685	34	42	24	62	5	33
1671	62	29	9	16	3	81

U.N.A.M.

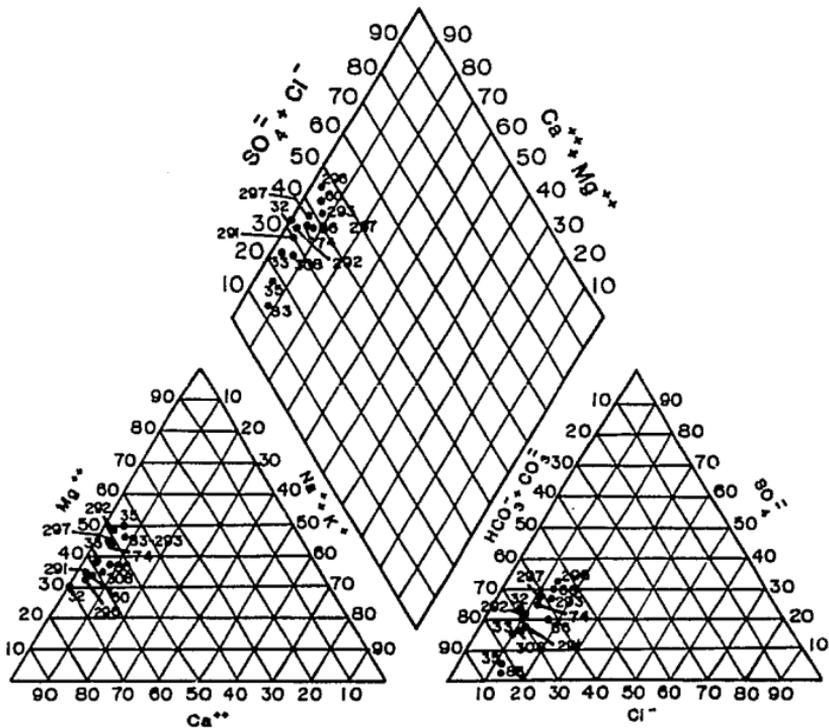
E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

WALLE DE TERCIGUNGO-ANDCHIARAN
DIAGRAMA TRIANGULAR
DE PIPER

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS NAGARA A. **FIGURA No. 22**



NUMERO DE POZO	CATIONES			ANIONES		
	XCa	XMg	X(SO4+Cl)	X(HCO3+CO3)	XCl	XSO4
22	70	30	0	49	8	23
33	59	39	2	74	10	16
35	46	50	4	92	11	7
60	61	34	5	57	13	18
74	51	44	5	64	11	25
83	46	46	8	85	14	1
86	55	38	7	63	17	20
291	62	35	3	70	12	18
292	49	49	2	69	10	21
293	46	46	8	59	14	27
296	65	32	3	56	13	31
297	51	45	4	62	13	27
308	59	35	6	72	17	11

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

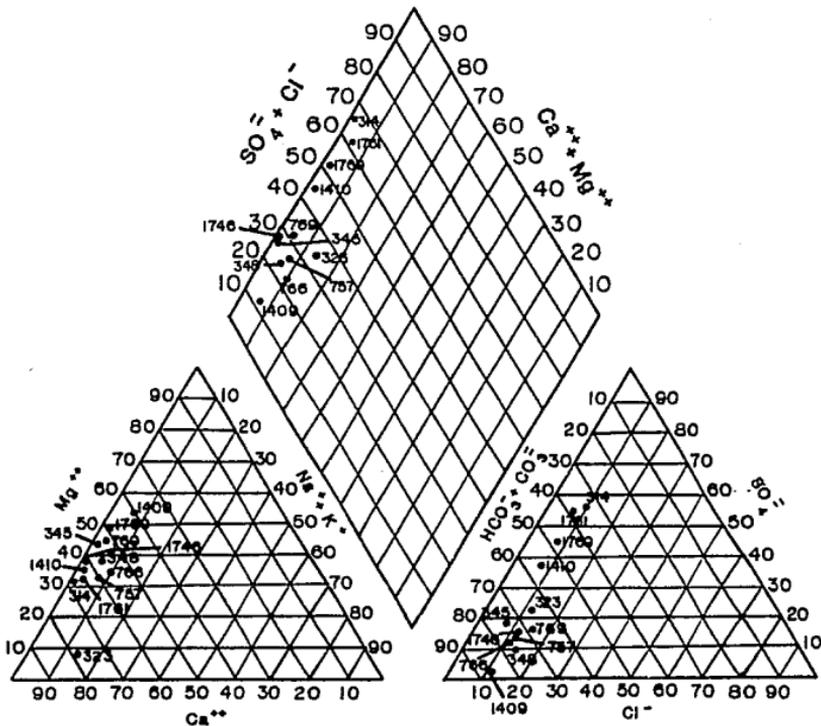


**VALLE DE ZAOTTEPEC
DIAGRAMA TRIANGULAR
DE PIPER**

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 23



NUMERO DE POZOS	CATIONES			ANIONES		
	%Ca	%Mg	%S	%HCO3+CO3	%Cl	%SO4
314	67	31	2	33	10	57
223	78	8	14	65	12	22
345	55	43	2	72	9	19
348	55	39	6	76	14	10
757	60	31	9	74	13	13
766	56	34	10	78	11	11
769	51	44	5	69	16	15
1489	40	52	7	88	11	1
1418	62	36	2	54	9	37
1746	60	39	1	72	13	15
1761	64	32	4	39	8	53
1769	49	49	2	47	9	44

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL



VALLE DE ZAQUEPEO
DIAGRAMA TRIANGULAR
DE PIPER

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 24

VALLE DE ZACATEPEC

En esta zona, de las 25 muestras analizadas, 2 correspondieron a la familia Magnésica-Bicarbonatada, 3 a la Mixta Cálcica-Bicarbonatada, 2 a la Cálcica-sulfatada, 17 a la Cálcica-Bicarbonatada y 1 a la Mixta Magnésica-Mixta Bicarbonatada

En general, las familias de agua más comunes que se presentaron entre las 100 muestras seleccionadas fueron la Magnésica-Bicarbonatada (39%) y la Cálcica-Bicarbonatada (17%).

5.2.7 DIAGRAMAS DE WILCOX

Para poder determinar la calidad del agua para uso agrícola existen varias clasificaciones, sin embargo, la más usual es el conocido método de Wilcox, por lo que se creyó conveniente utilizarlo en el presente trabajo.

Este método consiste en determinar la relación de adsorción del sodio (R.A.S.) que manifiesta el agua, por medio de la siguiente fórmula:

$$R.A.S. = Na / [(Ca+Mg)/2]^{1/2}$$

Con la R.A.S. obtenida y la conductividad eléctrica reportada por el laboratorio se grafican los diagramas correspondientes (Figuras del No. 25 al 32). De ellos se observan las distintas clases de agua:

C1 (BAJA SALINIDAD)

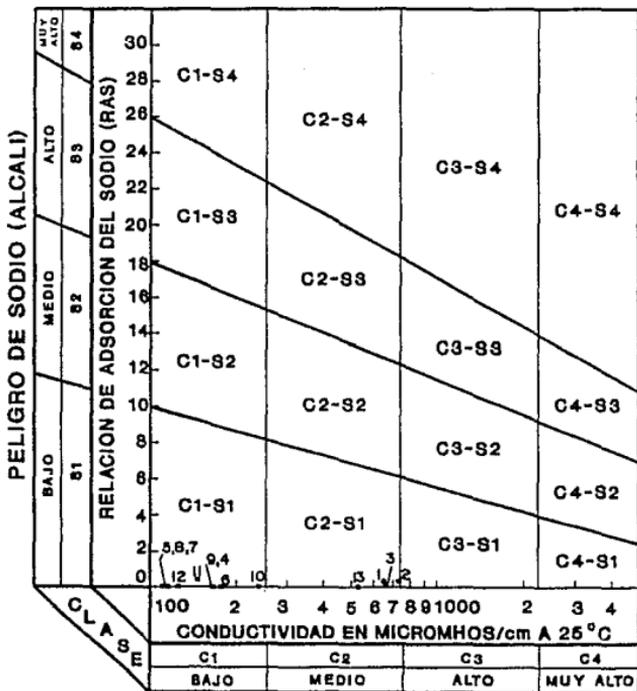
Pueden usarse para riego en todos los suelos y en cualquier cultivo, prácticamente sin peligro de salinización.

C2 (SALINIDAD MEDIA)

Pueden utilizarse en todos los suelos, excepto en los de escasa permeabilidad. Para cultivos con tolerancia moderada a la salinidad no suelen ser necesarias precauciones especiales.

C3 (ALTAMENTE SALINA)

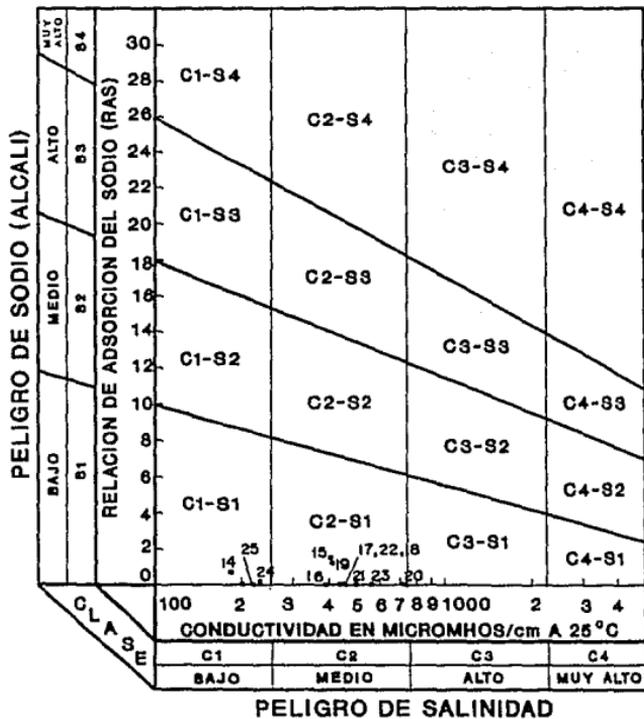
No pueden utilizarse con suelos de drenaje restringido. Aun con drenaje adecuado se requiere de un cuidadoso control de la salinidad. Sólo deben emplearse en cultivos de buena tolerancia salina.



PELIGRO DE SALINIDAD

CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
1	3	8.3	648
2	14	8.3	738
3	76	8.1	658
4	113	8.8	165
5	125	8.8	118
6	126	8.8	175
7	131	8.8	115
8	137	8.8	113
9	164	8.8	163
18	165	8.8	238
11	195	8.4	145
12	286	8.8	125
13	216	8.8	524

U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
	WILCOX VALLE DE GUERNARCA DIAGRAMA DE WILCOX
REALIZO: CARLOS MAGARA A.	TEBIO PROFESIONAL FIGURA No. 25



CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
14	238	8.7	184
15	244	8.8	386
16	245	2.2	231
17	256	1.2	488
18	258	8.8	449
19	263	1.5	481
20	273	8.8	717
21	276	8.8	491
22	288	8.8	433
23	292	8.8	556
24	424	8.8	218
25	476	8.8	288

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

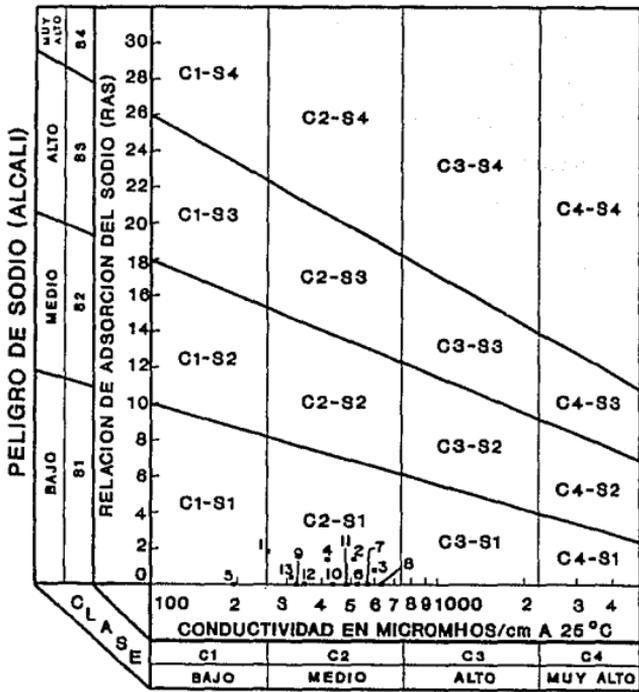
INGENIERIA CIVIL

VALLE DE GUERNAVOCA
DIAGRAMA DE WILCOX

TESIS PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 26



CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
1	2	1.0	256
2	6	1.4	589
3	8	8.0	595
4	15	1.4	415
5	28	8.0	193
6	25	8.0	522
7	26	8.0	365
8	28	8.0	625
9	32	8.0	324
10	33	8.0	432
11	36	8.0	488
12	43	8.0	347
13	49	8.4	389

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

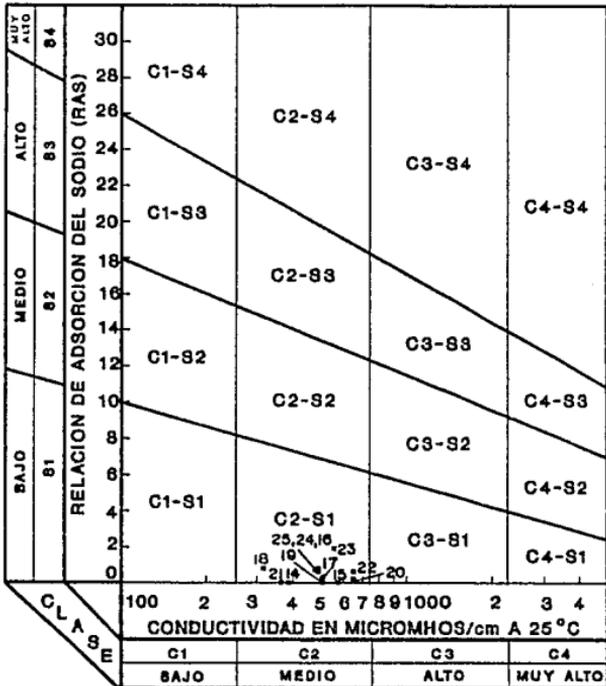
VALLE DE OQUAUTLA-MATEPEO
DIAGRAMA DE WILCOX

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 27

PELIGRO DE SODIO (ALCALI)



PELIGRO DE SALINIDAD

CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
14	54	0.0	384
15	70	0.0	572
16	78	0.0	489
17	79	0.3	587
18	84	0.8	316
19	88	0.0	584
20	91	0.2	644
21	94	0.0	362
22	152	0.6	646
23	170	1.9	553
24	171	0.6	488
25	172	0.7	478

U.N.A.M.

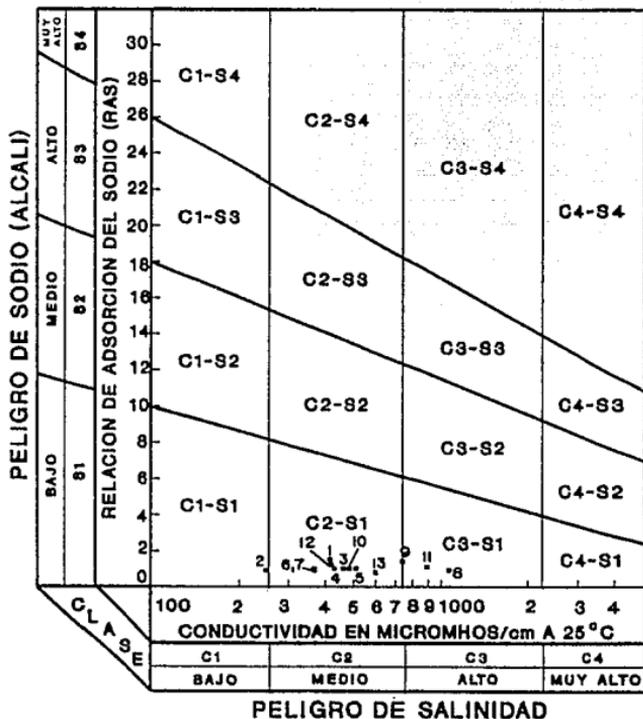
E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

VALLE DE QUAUTLA-VAUTEPEO
DIAGRAMA DE WILCOX

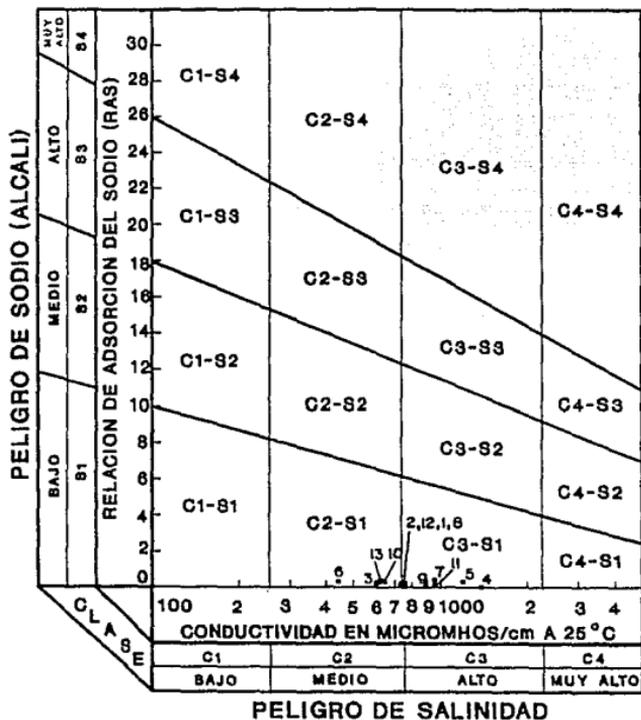
TESIS
PROFESIONAL

REALIZO: CARLOS MAGARA A. FIGURA No. 28



CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
1	1483	1.5	411
2	1539	0.9	247
3	1578	1.0	459
4	1575	1.0	426
5	1583	1.0	587
6	1588	1.0	364
7	1589	0.9	364
8	1592	0.9	1858
9	1593	1.4	736
10	1599	1.0	481
11	1600	1.1	889
12	1611	1.2	416
13	1614	0.8	597

U.N.A.M.		
E.N.E.P. ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
	VILLE DE TETIMINGO-AXOCHIAPAN DIAGRAMA DE WILCOX	TESIS PROFESIONAL
	REALIZO: CARLOS MAGARA A.	FIGURA No. 29



CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
1	32	0.0	748
2	33	4.1	738
3	35	0.2	680
4	68	0.3	1375
5	74	0.3	1198
6	83	0.3	448
7	86	0.4	944
8	291	0.2	755
9	292	0.1	883
10	293	0.3	642
11	296	0.1	943
12	297	0.2	733
13	308	0.3	614

U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

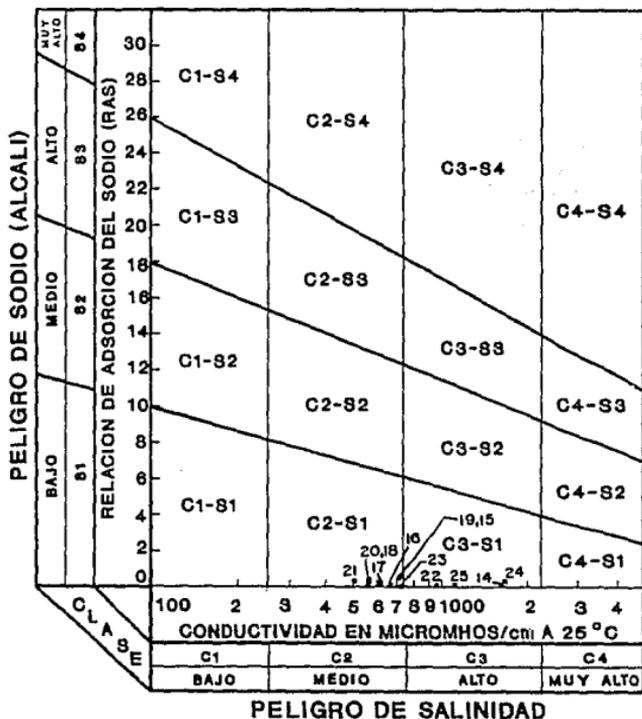
INGENIERIA CIVIL

VALLE DE ZACATEPECO
DIAGRAMA DE WILCOX

**TESIS
PROFESIONAL**

REALIZO: CARLOS MAGARA A.

FIGURA No. 31



CLAVE	No. POZO	RAS	C.E.
14	314	8.1	1613
15	323	8.6	727
16	345	8.1	664
17	348	8.2	614
18	757	8.4	559
19	766	8.5	711
20	769	8.2	557
21	1489	8.3	588
22	1418	8.1	954
23	1746	8.8	722
24	1761	8.3	1657
25	1769	8.1	1187

U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
	TRABAJO PROFESIONAL
VALLE DE ZADATEPEO DIAGRAMA DE WILCOX	
	FIGURA No. 32
REALIZO: CARLOS MAGARA A.	

C4 (MUY ALTAMENTE SALINA)

No son apropiadas para el riego, excepto en condiciones muy excepcionales, tales como suelos muy permeables, drenaje muy intenso y cultivos muy tolerantes a la salinidad. En todo caso, el agua debe aplicarse en exceso para que se consiga un lavado considerable.

S1 (CON POCO SODIO)

Puede utilizarse en todos los suelos, sin peligro de que se eleve el nivel de sodio de cambio.

S2 (CON CONTENIDO MEDIO DE SODIO)

Estas aguas pueden originar un exceso de sodio en suelos de textura fina con alta capacidad de cambio de bases, especialmente en condiciones de escaso lavado, a menos de que exista yeso en el suelo. Pueden usarse en suelos de textura gruesa o suelos orgánicos con buena permeabilidad.

S3 (CON ALTO CONTENIDO DE SODIO)

Pueden producir peligroso porcentaje de sodio de cambio en la mayor parte de los suelos y requieren especial tratamiento de éstos, buen drenaje, abundante lavado y adición de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden resistir el empleo de estas aguas.

S4 (CON MUY ALTO CONTENIDO DE SODIO)

Generalmente no son útiles para riego, excepto si su salinidad es baja o media, en cuyo caso el empleo del yeso o el calcio del propio suelo pueden atenuar la acción desfavorable del sodio.

Las clases de agua determinadas en la entidad, de acuerdo con los diagramas de Wilcox obtenidos, fueron:

C1-S1

A esta clase pertenecieron 15 muestras (15%); de las cuales 12 correspondieron al Valle de Cuernavaca, 2 al Valle de Tepalcingo-Axochiapan y 1 al Valle de Cuautla-Yautepec.

C2-S1

En esta clase cayeron 67 muestras (67%); 13 del Valle de Cuernavaca, 24 del Valle de Cuautla-Yautepec, 17 del Valle de Tepalcingo-Axochiapan y 13 del Valle de Zacatepec.

C3-S1

A esta clase correspondieron 17 muestras (17%); 12 pertenecientes al Valle de Zacatepec y 5 al Valle de Tepalcingo-Axochiapan.

C4-S1

Solamente 1 muestra (1%) cayó dentro de esta clase, la cual correspondió al aprovechamiento No. 1691 ubicado en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan.

De lo anterior, se observa que todas las muestras cayeron dentro del índice S1 debido a su bajo contenido de sodio; la R.A.S. varió entre 0 y 1.8

5.3 INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA

De acuerdo a la distribución espacial de los sólidos totales disueltos (STD) y de las concentraciones iónicas, se concluye para cada zona geohidrológica:

VALLE DE CUERNAVACA

Las concentraciones mínimas se localizan en la parte norte y las máximas en el sur, lo que indica que la dirección del flujo es en sentido norte-sur.

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

Las concentraciones máximas se presentan en la porción suroeste y centro de la zona y las mínimas en el norte y sureste, lo que permite inferir que el flujo subterráneo es, por un lado, de norte a sureste y, por otro, de sur y norte hacia el centro del valle.

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

Las concentraciones mínimas se registran al norte de la zona y las máximas hacia el sur, por lo que la dirección del flujo es de norte a sur.

VALLE DE ZACATEPEC

Las concentraciones mínimas se localizan en la porción suroeste y noreste, las concentraciones máximas se presentan en el noroeste y sureste, por lo cual la dirección del flujo es, por un lado, de suroeste a noroeste y, por otro, de noreste a sureste.

Por otra parte, se observa que el agua subterránea de la entidad es de tipo dulce, ya que los STD no exceden de los 2000 ppm, debido a que la velocidad de circulación es relativamente alta y no esta mucho tiempo en contacto con las rocas a través de las cuales se mueve

5.4 CALIDAD DEL AGUA

Para llevar a cabo la clasificación del agua subterránea se tomaron en cuenta las características de su composición química, dependiendo de éstas la aceptación para su uso potable y agrícola.

CALIDAD DEL AGUA PARA USO POTABLE

La calidad del agua para uso potable se determinó en forma parcial, únicamente se tomaron en cuenta sus caracteres químicos, ya que sus características físicas y bacteriológicas no se realizaron en el presente trabajo.

En la tabla No. 14 se muestran los límites permitidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.) para algunas de las características químicas del agua.

CONSTITUYENTE	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO POR LA S.S.A. (ppm)
Calcio	250
Magnesio	125
Sodio	250
Bicarbonatos	250
Sulfatos	250
S.T.D.	1000

TABLA No. 14

De acuerdo con los resultados de los análisis químicos de las 100 muestras seleccionadas y comparándolos con los límites permisibles por la S.S.A., tenemos que: el 2% de las muestras sobre pasa el límite de calcio, el 10% no cumple con el límite para sulfatos, el 59% sobre pasa el límite de bicarbonatos y el 3% el de sólidos totales disueltos. Por lo cual, el agua encontrada en las 4 zonas geohidrológicas de la entidad es, en general, de buena calidad para uso potable, ya que en pocas ocasiones sobre pasa dichos límites.

CALIDAD DEL AGUA PARA USO AGRICOLA

De acuerdo con la clasificación del agua por el método de Wilcox, realizada anteriormente, se observa que esta es de buena calidad para uso agrícola; debido a que el 82% de las muestras pertenecieron a las clases C1-S1 y C2-S1, el 17% a la clase C3-S1 y el 1% a la clase C4-S1. A continuación se presentan algunos cultivos con su índice de tolerancia a las sales, en orden descendiente de más a menos tolerante.

TOLERANTES	SEMITOLERANTES	SENSIBLES
Espárragos	Girasol	Nuez
Palma datilera	Papa	Nogal Negro
Azucarera	Algodón	Ciruela
Remolacha	Jitomate	Manzano
Alfalfa	Rábano	Uva (malaga)
Gladiola	Chicharos	Higo
Haba	Cebada	Cereza
Cebolla	Trigo	Chabacano
Habo	Maiz	Durazno
Col	Zorzo	Aguacate

CALIDAD DEL AGUA PARA ABREVADERO

Generalmente, el agua destinada para este uso debe cumplir con los mismos requisitos que la potable, debido a que también es utilizada para uso doméstico en ranchos y granjas. A continuación se presentan los límites permisibles, según McKee y Wolf (1963), para algunas especies.

ESPECIE	STD (ppm)
Aves	2 860
Cardos	4 290
Caballo	6 430
Ganado lechero	7 150
Ganado de carne	10 100
Borrego	12 900

De lo anterior se concluye que el agua subterránea de la entidad es de buena calidad para este uso, ya que todas las muestras analizadas presentaron un valor de S.T.D. menor al permitido.

VI. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

La disponibilidad hidráulica de la entidad está basada, principalmente, en el agua subterránea contenida en el subsuelo de la misma; en este capítulo se cuantificarán los recursos subterráneos de agua, en base al análisis de información obtenida por el comportamiento geohidrológico de las formaciones acuíferas y por el proceso de recarga y descarga natural, así como por la descarga producida, que involucradas forman parte del ciclo hidrológico del estado.

6.1 PIEZOMETRIA

Este concepto forma parte esencial de un estudio geohidrológico y se refiere a la medición de las variaciones que a través del tiempo se presentan en los niveles estáticos del agua subterránea y que son producidas tanto por causas naturales como artificiales. En el presente trabajo está observación se basó en los datos obtenidos en el censo de aprovechamientos (Tablas No. 15 al 18). De esta forma, con la información recabada y considerando la topografía de la zona, los afloramientos geológicos, los ríos, lagunas, manantiales y la distribución de pozos, se realizaron los planos de profundidad al nivel estático, elevación y evolución del nivel estático. Es de importancia señalar que los valores considerados en una configuración piezométrica deben corresponder a un mismo acuífero y no ha diferentes; esto se evita obteniendo secciones geológicas que muestren las principales unidades geohidrológicas del subsuelo y conociendo las características constructivas de los pozos de observación.

Debido a la falta de información reciente sobre lecturas de niveles estáticos en las áreas de estudio, se tomaron en cuenta diferentes periodos de análisis para cada valle, en base a los datos disponibles:

- 1980-1987 Zonas de: Zacatepec y Tepalcingo-Axochiapan
- 1982-1989 Zona de: Cuautla-Yautepec
- 1983-1990 Zona de: Cuernavaca

6.1.1 PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO

Se encuentra regida, principalmente, por la topografía del terreno, así como por la distribución espacial de la recarga y del bombeo y por las características hidráulicas de los acuíferos. Esta información permite la selección de zonas favorables para la ubicación de nuevas captaciones; así como para determinar la altura a que habrá de elevarse el agua.

PIEZOMETRIA DEL VALLE DE CUERNAVACA

NUMERO DE OBRA	ELEVACION DEL BROCAL	PROFUNDIDAD AL N.E. NOV-90	ELEVACION DEL N.E. NOV-90	PROFUNDIDAD AL N.E. NOV-83	ELEVACION DEL N.E. NOV-83	EVOLUCION DEL N.E. 83-90
110	1807.95	53.41	1754.54	45.14	1762.81	-8.27
113	1673.27	47.68	1625.59	53.56	1619.71	5.88
122	1595.41	78.75	1516.66	74.80	1520.61	-3.95
128	1490.41	83.80	1406.61	64.85	1425.56	-18.95
130	1838.99	48.16	1790.83	35.90	1803.09	-12.26
135	1707.47	76.47	1631.00	56.11	1651.36	-20.36
137	1638.36	71.14	1567.22	48.61	1589.75	-22.53
143	1520.33	57.64	1462.69	37.82	1483.31	-20.62
145	1545.12	68.47	1476.65	58.11	1487.01	-18.36
155	1468.88	37.48	1451.40	28.56	1468.32	-16.92
161	1496.22	27.34	1468.88	17.88	1478.34	-9.46
172	1435.53	47.52	1388.01	30.52	1405.01	-17.80
173	1409.83	74.27	1335.56	62.98	1346.93	-11.37
175	1441.72	39.54	1402.18	32.85	1408.87	-6.69
189	1433.74	91.04	1342.70	67.81	1366.73	-24.83
193	1416.82	72.20	1343.82	48.80	1367.22	-23.40
205	1381.07	51.16	1329.91	32.87	1349.00	-19.89
211	1365.21	38.19	1335.02	35.21	1330.80	5.82
213	1387.97	27.18	1360.87	7.88	1380.89	-19.22
216	1395.41	11.00	1384.41	7.40	1388.01	-3.60
217	1410.47	10.10	1400.37	4.51	1405.96	-5.59
218	1413.28	10.40	1402.88	5.69	1407.59	-4.71
230	1348.25	23.21	1325.14	19.42	1328.93	-3.79
236	1365.53	26.32	1339.21	24.20	1341.33	-2.12
238	1298.32	32.28	1266.12	32.17	1266.15	-0.83
239	1285.85	31.15	1253.98	27.55	1257.50	-3.60
243	1214.19	21.88	1193.11	10.85	1204.14	-11.83
248	1150.96	25.83	1125.93	24.64	1126.32	-1.39
251	1161.01	29.52	1131.49	28.25	1132.76	-1.27
256	1216.88	24.95	1191.93	24.63	1192.25	-4.32
258	1226.07	51.28	1174.87	24.80	1201.27	-26.40
260	1243.46	18.42	1225.04	11.36	1232.10	-7.86
273	1128.88	44.18	1076.78	40.89	1079.91	-3.21
277	947.26	24.64	922.62	24.85	923.21	-5.59
282	968.32	32.15	928.17	31.82	928.50	-1.33
476	1677.87	28.26	1657.61	14.36	1663.51	-5.90

TABLA No. 15

PIEZOMETRIA DEL VALLE DE CUAUTLA-YAUITEPEC

NUMERO DE OBRA	ELEVACION DEL BROCAL	PROFUNDIDAD AL N.E. MAYO-89	ELEVACION DEL N.E. MAYO-89	PROFUNDIDAD AL N.E. MAYO-82	ELEVACION DEL N.E. MAYO-82	EVOLUCION DEL N.E. 82-89
3	1581.48	165.00	1416.48	176.00	1405.48	11.00
22	1218.65	44.30	1174.35	87.00	1131.35	42.70
23	1228.89	19.00	1209.89	14.62	1205.47	-3.38
25	1118.75	57.00	1061.75	63.50	1055.25	6.50
26	1026.46	3.50	1022.96	6.00	1020.46	2.50
27	970.33	30.00	940.33	8.40	961.93	-21.60
35	1233.84	15.00	1218.84	28.00	1205.84	13.00
39	1266.39	21.00	1244.39	20.00	1246.39	-1.00
40	1235.28	17.45	1217.83	19.30	1215.98	1.85
41	1226.00	25.30	1200.70	40.30	1185.62	15.08
46	1321.72	27.00	1294.72	26.00	1294.92	-0.20
48	1451.47	37.00	1414.47	36.50	1414.97	-0.50
61	1231.84	19.00	1212.84	20.87	1210.97	1.87
66	1466.79	34.00	1431.99	32.85	1433.94	-1.95
67	1350.99	16.00	1334.99	14.70	1336.29	-1.30
68	1357.48	17.20	1340.28	14.82	1342.66	-2.38
73	1343.02	30.00	1313.02	28.35	1314.67	-1.65
78	1258.70	80.00	1178.70	78.35	1180.35	-1.65
111	1347.99	30.00	1317.99	24.65	1323.34	-5.35
120	950.00	3.00	947.00	2.00	948.00	-1.00
124	1013.50	63.00	950.50	83.65	929.85	20.65
127		4.70		25.00		20.30
134		13.50		15.20		1.70
137		4.00		4.30		.30
139		3.80		75.30		71.50
151		47.60		65.50		17.90
153		43.30		83.50		40.20
155		7.10		39.25		32.15
158		22.00		86.30		63.50
159		18.00		84.50		66.50
170		26.20		98.00		71.80
171		34.20		114.50		80.30
174		20.00		31.85		11.85
336	1411.51	65.70	1345.81	56.41	1355.10	-9.29
338		64.00		53.83		-10.17
362		30.00		28.50		-9.50

PIEZOMETRIA DEL VALLE DE TEPALCINGO-AOCHIAPAN

NUMERO DE OBRA	ELEVACION DEL BROCAL	PROFUNDIDAD AL N.E. JUNIO 87	ELEVACION DEL N.E. JUNIO 87	PROFUNDIDAD AL N.E. JUNIO 88	ELEVACION DEL N.E. JUNIO 88	EVOLUCION DEL N.E. 88-87
1482	1395.39	29.54	1365.85	10.79	1384.60	-10.75
1483	1394.92	14.30	1380.62	20.70	1374.22	6.40
1484	1394.57	15.60	1378.97	18.82	1375.75	3.22
1563	1331.60	11.47	1320.13	9.29	1322.31	-2.18
1572	1198.52	23.74	1174.78	21.95	1176.57	-1.79
1575	1260.55	50.88	1210.47	48.28	1212.27	-1.80
1582	1221.10	27.32	1215.66	16.83	1226.15	-10.49
1583	1242.98	33.78	1192.40	23.54	1202.72	-10.24
1585	1226.26	31.72	1194.54	20.51	1205.75	-11.21
1590	1218.72	24.16	1194.56	15.83	1202.89	-8.33
1592	1236.92	22.87	1214.05	22.83	1214.09	-0.04
1595	1199.25	34.65	1164.60	21.23	1178.82	-13.42
1604	1117.60	30.35	1087.25	21.42	1096.18	-8.93
1605	1116.28	19.50	1096.78	9.12	1107.16	-10.38
1607	1152.55	43.48	1109.07	30.16	1122.39	-13.32
1608	1149.17	42.11	1107.06	30.28	1118.97	-11.91
1610	1144.41	38.13	1106.28	25.52	1118.89	-12.61
1611	1146.13	41.87	1104.26	34.40	1111.73	-7.47
1617	1081.28	11.60	1069.68	13.17	1068.11	1.57
1622	1144.70	40.85	1103.93	34.48	1110.30	-6.37
1624	1130.76	34.64	1096.12	34.87	1095.89	.23
1629	1116.19	33.68	1082.51	29.61	1086.58	-4.07
1632	1101.48	29.63	1071.85	25.84	1075.64	-3.79
1642	1080.70	27.36	1053.34	21.65	1059.05	-5.71
1677	1076.17	15.60	1060.57	13.85	1063.12	-2.55
1679	1338.18	10.61	1327.57	23.75	1314.43	13.14
1685	1376.27	3.00	1373.27	2.43	1373.04	-.57
1700	1135.43	32.85	1102.58	20.86	1114.57	-11.99
1703	1149.53	43.83	1105.70	34.58	1114.95	-9.25
1709	1122.10	34.53	1087.57	26.87	1095.23	-7.66
1713	1116.94	28.60	1088.34	17.85	1099.89	-11.55

TABLA No. 17

PIEZOMETRIA DEL VALLE DE ZACATEPEC

NUMERO DE OBRA	ELEVACION DEL BROCAL	PROFUNDIDAD AL N.E. JULIO-87	ELEVACION DEL N.E. JULIO-87	PROFUNDIDAD AL N.E. JULIO-88	ELEVACION DEL N.E. JULIO-88	EVOLUCION DEL N.E. 88-87
30	984.59	21.89	884.72	18.38	884.77	-2.79
32	987.88	19.28	885.85	32.25	885.39	13.86
34	988.18	15.65	886.83	11.32	888.86	-4.33
35	895.68	18.28	884.13	18.98	884.72	.78
74	983.33	67.85	915.82	69.48	913.93	1.55
83	985.75	11.55	898.89	14.86	891.83	3.31
85	925.91	53.31	893.83	32.89	892.25	-21.22
86	983.83	22.94	888.89	24.15	879.69	1.21
284	929.18	9.84	915.28	14.85	915.13	4.21
291	911.54	4.42	987.12	1.64	989.98	-2.78
296	919.18	8.48	987.89	12.15	987.84	3.75
297	916.48	12.88	983.98	11.69	983.58	-1.19
323	983.15	21.53	881.62	28.88	875.15	6.47
345	984.96	11.19	893.56	18.49	886.47	7.38
349	897.41	6.88	893.79	1.15	893.81	-4.85
757	811.41	9.18	882.23	1.18	818.31	-8.88
769	952.84	14.32	888.48	16.43	888.62	2.11
1842	945.74	78.18	915.82	83.82	915.89	4.92
1489	986.79	42.98	898.42	54.18	889.98	11.12
1745	944.28	28.86	911.16	33.48	918.88	5.34
1746	852.96	15.15	849.81	3.86	849.29	-12.89
1761	925.62	1.88	912.94	12.78	913.28	11.78

TABLA No. 18

De acuerdo con las configuraciones de igual profundidad al nivel estático, mostradas en el Plano No. 10, se observa para cada zona geohidrológica:

VALLE DE CUERNAVACA

La profundidad al espejo de agua varía entre 10 y 91 m., para el mes de noviembre de 1990.

En la porción norte del valle los niveles de agua subterránea se encuentran a profundidades que fluctúan entre 30 y 90 m. En la parte sur se presentan a profundidades de entre 10 y 50 m.

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

La profundidad a los niveles de agua varían en esta zona, para el mes de mayo de 1989, entre menos de un metro hasta más de 165 m.

En la zona comprendida entre Oacalco, Yautepec y Oaxtepec, los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que varían entre 0.8 y 40 m. En la porción nororiental del valle, la profundidad al espejo de agua se encuentra a poco más de 160 m. En los alrededores de Ticumán los niveles piezométricos fluctúan entre 5 y 50 m, los más bajos corresponden a las norias y los más altos a los pozos.

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

De acuerdo con las configuraciones realizadas para el mes de junio de 1987, se observa que las profundidades a los niveles de agua varían entre 3 y 50 m.

En la zona Axochiapan-Tetelilla, los niveles del agua subterránea fluctúan entre 10 y 50 m. Por su parte, en la zona cañera de Atencingo-Río Nexapa, los niveles varían entre 3 y 20 m.

VALLE DE ZACATEPEC

La profundidad a los niveles de agua fluctúan entre 1 y 78 m, para el mes de julio de 1987.

En la porción oeste del valle las profundidades al espejo de agua varían entre 10 y 78 m. Por su parte, la porción este presenta profundidades a los niveles de agua que varían entre 1 y 50 m.

6.1.2 ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO

Con la profundidad al nivel estático de los aprovechamientos y, conjuntamente, con el acotamiento de los brocales de los mismos, en m.s.n.m., fué posible realizar las configuraciones de igual elevación del nivel estático, como se muestra en el Plano No. 11. Esto se realizó con el fin de representar gráficamente la dirección natural del flujo subterráneo.

VALLE DE CUERNAVACA

En base a las configuraciones de igual elevación del nivel piezométrico, para el mes de noviembre de 1990, se observa que el esquema del flujo subterráneo es predominantemente de norte a sur, presentando un gradiente hidráulico que varía de 89×10^{-3} a 6×10^{-3} , reflejado este por la topografía superficial del terreno y por los cambios de permeabilidad.

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

De acuerdo a las configuraciones de igual elevación del nivel estático, para el mes de mayo de 1989, se observan dos direcciones de flujo: una de norte a sur en la porción suroccidental, fluctuando paralelamente al río Yautepec; esta área presenta un gradiente hidráulico promedio de 30×10^{-3} . La otra dirección de flujo, noreste-suroeste, inicia al norte del poblado de Atlatlahuacán donde el gradiente hidráulico tiene un valor promedio de 4×10^{-3} , lo cual indica una pendiente suave que se va haciendo abrupta conforme avanza hacia el sur.

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

En base a las configuraciones de igual elevación del nivel estático, para el mes de junio de 1987, se identifican dos direcciones de flujo subterráneo: una con rumbo predominante de norte a sur y un gradiente hidráulico medio de 12×10^{-3} . La otra proveniente del noreste hacia el sur, con un gradiente hidráulico promedio de 7×10^{-3} .

VALLE DE ZACATEPEC

De acuerdo con las configuraciones de igual elevación del nivel estático, para el mes de julio de 1987, se identifican dos direcciones de flujo: una de noroeste-sureste, con un gradiente hidráulico promedio de 8×10^{-3} y la otra con rumbo sureste-noroeste, con gradiente hidráulico promedio de 12×10^{-3} . Se observa, además, que ambos flujos confluyen a la altura de la laguna de Tequesquitengo.

6.1.3 EVOLUCION DE LOS NIVELES DEL AGUA

Las configuraciones de las curvas de igual evolución del nivel estático se presentan en el Plano No. 12. En base a éste, se pueden identificar las zonas de recuperación y abatimiento de los niveles estáticos y cuantificar la variación del almacenamiento del acuífero durante el periodo considerado.

VALLE DE CUERNAVACA

Para el periodo de análisis, que abarca del mes de noviembre de 1983 al mes de noviembre de 1990, se observan abatimientos progresivos que llegan a ser del orden de los 25 m.

En la parte norte se encuentran abatimientos que varían entre 3 y 20m, zona en la cual se localizan la mayor concentración de pozos. Por su parte, en el sur del valle los abatimientos son del orden de 1 a 15 m.

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

De acuerdo con el periodo analizado, mayo de 1982 a mayo de 1989, el agua subterránea ha sufrido descensos progresivos que llegan a ser del orden de 10 m.

En la porción comprendida entre Yautepec e Itzamatitlán, se tienen abatimientos locales, del orden de 1 a 3 m; además de una pequeña zona de recuperación también local de 1 m, al sur de Itzamatitlán.

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

Esta zona ha tenido abatimientos que fluctúan entre 2 y 10 m, en el periodo de junio de 1980 a junio de 1987, presentando una evolución en sus niveles de agua del orden de -4.0 m.

En la porción central del valle se localizan los máximos abatimientos con valores que varían entre 1 y 10 m. Solamente se observa una pequeña zona de recuperación, de 5 m, en la parte norte del área.

VALLE DE ZACATEPEC

De acuerdo con el periodo de análisis, julio de 1980 a julio de 1987, este valle presenta abatimientos del orden de los 3 y 20 m, así como zonas de recuperación con evoluciones que varían entre menos de metro hasta más de 10 m.

6.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS ACUIFEROS

Una vez definidas las características geológicas, hidrogeológicas, geométricas y piezométricas de los acuíferos estatales, se procedió a determinar los parámetros que intervienen en el cálculo de los caudales de agua subterránea que fluyen a través de los mismos y que corresponden a las características de transmisividad y almacenamiento.

PRUEBAS DE BOMBEO

En el presente trabajo no fué posible realizar las pruebas de bombeo en campo, pero se recabó información proveniente de la Gerencia Estatal de Aguas Subterráneas de Morelos sobre 52 pruebas realizadas; 15 pertenecientes al Valle de Cuernavaca, 20 al de Cuautla-Yautepec, 11 al de Tepalcingo-Axochiapan y 6 al de Zacatepec. La interpretación de estas pruebas permitió determinar la transmisividad de los acuíferos estatales.

INTERPRETACION DE PRUEBAS DE BOMBEO

Las variaciones del nivel dinámico del agua, obtenidas durante las etapas de abatimiento y recuperación, fueron graficadas en papel semilogarítmico y logarítmico con la finalidad de interpretarlas posteriormente por algunos de los métodos seleccionados para ello, usando en estos casos los métodos de Theis y el simplificado de Jacob.

Método de Theis

El método gráfico numérico desarrollado por Theis está basado en la ecuación:

$$A = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Donde u es el argumento de la función $W(u)$, siendo igual a:

$$u = \frac{r^2 s}{4Tt}$$

- Q = Caudal de extracción constante.
- A = Abatimiento provocado por la extracción de un caudal constante a una distancia (r) del pozo de bombeo.
- T = Transmisividad del acuífero.
- W(u) = Función de pozo.
- r = Distancia entre el pozo de bombeo y el pozo de observación.
- S = Coeficiente de almacenamiento.
- t = Tiempo transcurrido desde el inicio del bombeo.

El procedimiento de interpretación consiste básicamente en lo siguiente:

- 1) Construir la curva tipo $W(u)-1/u$ en papel doble logarítmico.
- 2) Construir la gráfica abatimiento-tiempo con los datos obtenidos durante la realización de la prueba.
- 3) Buscar la coincidencia entre ambas gráficas al superponerlas manteniendo paralelos los ejes de las mismas.
- 4) Seleccionar un punto de ajuste (x, y) y obtener los valores correspondientes en ambas gráficas.
- 5) Obtener los valores de T y S al sustituir los valores del punto de ajuste en las ecuaciones (a) y (b).

Método de Jacob

Un método más sencillo para la interpretación de pruebas, es el desarrollado por Jacob, el cual está representado por la siguiente expresión:

$$A = \frac{2.3Q}{4\pi} \log \frac{2.25Tt}{r^2S}$$

DESARROLLANDO:

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta S} \log \left[\frac{t_2}{t_1} \right] \quad \text{--- (1)}$$

cuando $t_2 = 10 t_1$,

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta S} \quad \text{--- (2)}$$

Este método gráfico consiste en lo siguiente:

- Construir la gráfica abatimiento (en escala aritmética) contra tiempo (en escala logarítmica).
- Passar una recta por los dos puntos que se alinean, y determinar su pendiente. Los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba se apartan generalmente de la recta, debido a que corresponden a tiempos cortos ($T < 5R^2S/T$) para los cuales no es válida la fórmula de Jacobs.
- Si $t_2 = 10t_1$, se utiliza la fórmula (2) para obtener el valor de la transmisividad, de lo contrario se utilizará la fórmula (1).
- Determinar el valor de T , t_0 , para el cual la prolongación de la recta de ajuste intersecta la línea de abatimiento nulo.
- Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la fórmula:

$$S = \{ 2.26 T t_0 \} / r^2$$

Con la interpretación de dichas pruebas se obtuvo la transmisividad (T); la cual está definida, físicamente, por el producto entre la conductividad hidráulica (k) y el espesor medio del acuífero (b). Los resultados obtenidos en las interpretaciones muestran valores bajos de esta característica, lo cual indica la existencia de acuíferos de tipo libre en las cuatro zonas geohidrológicas de la entidad (Cuadro No. 3).

En las figuras del No.33 al 40 se muestran las pruebas de bombeo, con su respectiva interpretación, de los aprovechamientos que presentaron el menor y mayor valor de transmisividad, dentro de cada una de las zonas de estudio.

Es de importancia señalar que debido a que las pruebas de bombeo se realizaron sin contar con pozos de observación, no fué posible determinar el coeficiente de almacenamiento (S).

Por lo tanto, el coeficiente de almacenamiento se obtuvo a partir de los estudios preexistentes, mediante dos formas:

- De acuerdo al tipo de acuífero.

Los rangos aproximados para el coeficiente de almacenamiento, según el tipo de acuífero, son:

En acuíferos libres 0.01 a 0.30
 En acuíferos confinados 0.00001 a 0.001

En base a este criterio y considerando los materiales que constituyen el acuífero, se determinó un valor de $S = 0.01$ para el valle de Cuautla-Yautepec.

2) Mediante el planteamiento de 2 ecuaciones de balance, con incógnitas, para 2 periodos cortos de 6 meses.

De esta forma se obtuvieron los coeficientes de almacenamiento de los valles de Cuernavaca, Tepalcingo-Axochiapan y Zacatepec.

A continuación se ejemplifica la obtención del coeficiente de almacenamiento para el valle de Cuernavaca.

De acuerdo con la ecuación de balance de aguas subterráneas (página No. 50), tenemos:

$$Eh + Rv - Sh - B - Dn = DVS \quad \dots (1)$$

sustituyendo valores en la ecuación (1), para ambos periodos quedó:

$$23.7 + 1/3 Rv - 5.0 - 31.5 - 25.2 = -567S \quad \dots (2)$$

$$46.8 + 2/3 Rv - 6.7 - 0.0 - 25.0 = +768S \quad \dots (3)$$

despejando de las ecuaciones (2) y (3) Rv , tenemos:

$$Rv = 99 - 1701S \quad \dots (4)$$

$$Rv = 1152S - 22.65 \quad \dots (5)$$

igualando las ecuaciones (4) y (5):

$$99 - 1701S = 1152S - 22.65$$

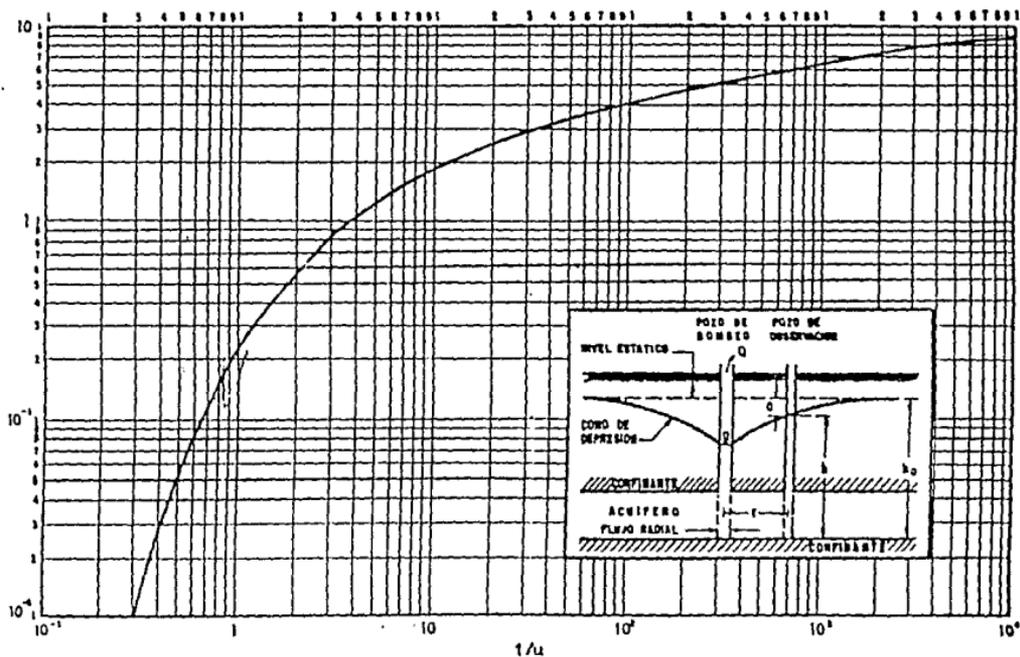
$$2853S = 121.65$$

$$S = 121.65 / 2853$$

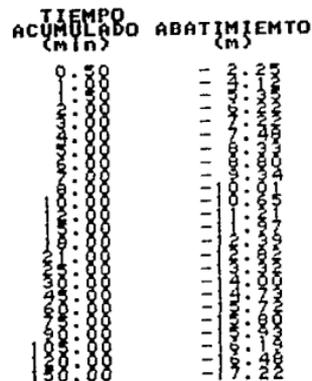
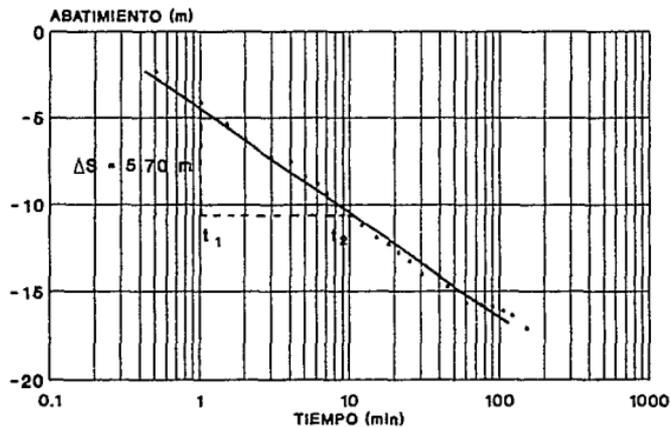
$$S = 0.04$$

En la tabla No. 19 se muestran los valores de Transmisividad, así como el coeficiente de almacenamiento, para cada una de las zonas geohidrológicas que conforman el estado.

CURVA TIPO PARA INTERPRETACION DE PRUEBAS DE BOMBEO EN POZOS TOTALMENTE PENETRANTES EN ACUIFEROS CONFINANTES



VALLE DE CUERNAVACA
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 166)



METODO DE INTERPRETACION: JACOB

N.E. = 109.55 m

Q = 15.00 lps

$\Delta S = 5.70$ m

$t_1 = 1$. . . $\log (t_2/t_1) = 1$

$t_2 = 10$

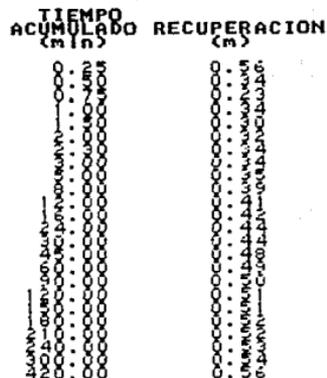
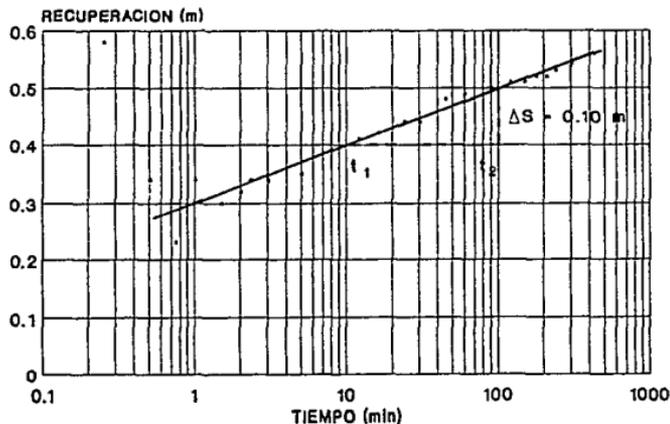
$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.015 \text{ m}^3/\text{s}}{5.70 \text{ m}}$$

$$T = 0.50 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 33

VALLE DE CUERNAVACA
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 212)



METODO DE INTERPRETACION: JACOB

$N.E. = 33.29 \text{ m}$

$Q = 53.60 \text{ lps}$

$\Delta S = 0.10 \text{ m}$

$t_1 = 10$

$\therefore \log (t_2/t_1) = 1$

$t_2 = 100$

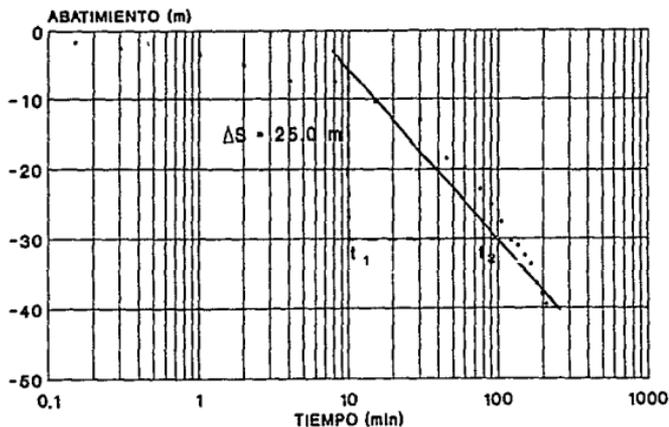
$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.054 \text{ m}^3/\text{s}}{0.10 \text{ m}}$$

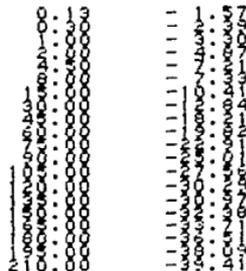
$$T = 98.08 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 34

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 78)



TIEMPO ACUMULADO (MIN) ABATIMIENTO (M)



METODO DE INTERPRETACION: JACOB

$$N.E. = 6.39 \text{ m}$$

$$Q = 4.00 \text{ lps}$$

$$\Delta S = 25.0 \text{ m}$$

$$t_1 = 10 \quad \cdot \cdot \cdot \log (t_2/t_1) = 1$$

$$t_2 = 100$$

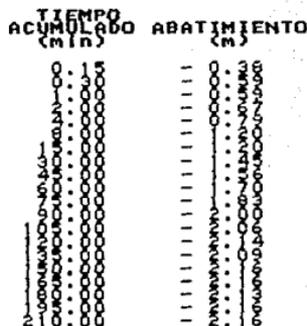
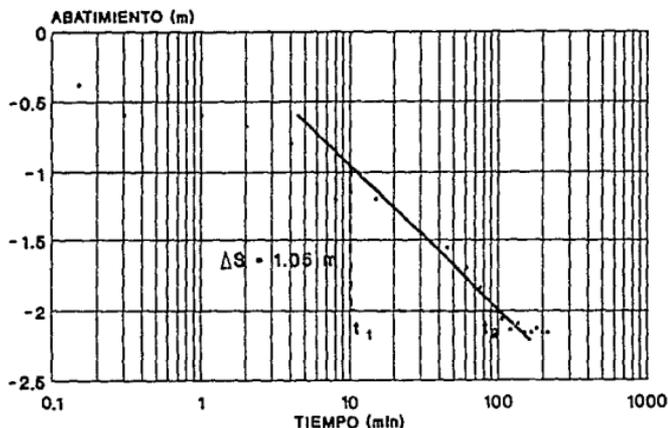
$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.004 \text{ m}^3/\text{s}}{25.0 \text{ m}}$$

$$T = 0.03 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

FIGURA No. 35

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 49)



METODO DE INTERPRETACION: JACOB

$$N.E. = 40.70 \text{ m}$$

$$Q = 60.00 \text{ lps}$$

$$\Delta S = 1.05 \text{ m}$$

$$t_1 = 10$$

$$t_2 = 100 \therefore \log (t_2/t_1) = 1$$

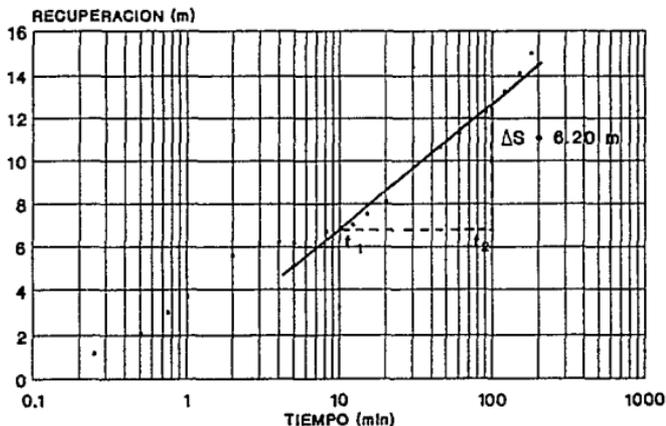
$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.060 \text{ m}^3/\text{s}}{1.05 \text{ m}}$$

$$T = 10.46 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 36

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN
 PRUEBA DE BOMBEO
 (POZO No. 1679)



TIEMPO ACUMULADO (min)	RECUPERACION (m)
0.2	1.5
0.5	3.5
1.0	4.5
2.0	5.5
5.0	7.5
10.0	8.5
20.0	10.5
50.0	12.5
100.0	14.5
200.0	15.5
500.0	16.5
1000.0	17.5

METODO DE INTERPRETACION: JACOB

N.E. = 78.77 m

Q = 5.70 lps

$\Delta S = 6.20 \text{ m}$

$t_1 = 10$

$t_2 = 100 \therefore \log (t_2/t_1) = 1$

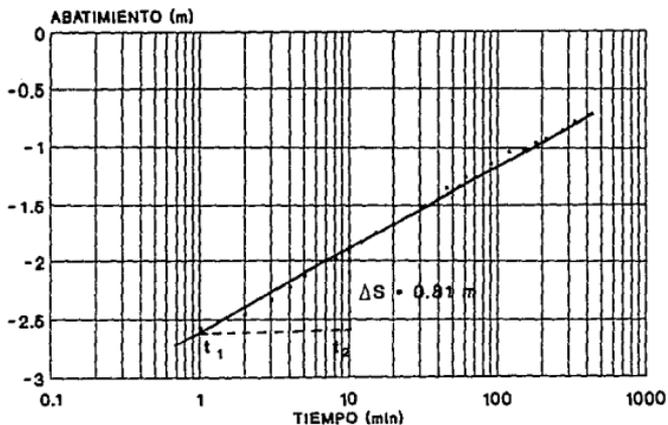
$$T = \frac{0.183Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.006 \text{ m}^3/\text{s}}{6.20 \text{ m}}$$

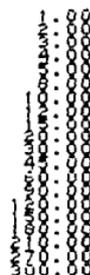
$$T = 0.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 37

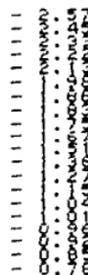
VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 1685)



TIEMPO ACUMULADO (min)



RECUPERACION (%)



METODO DE INTERPRETACION: JACOB

N.E. = 26.55 m

Q = 60.60 lps

$\Delta S = 0.81$ m

$t_1 = 1$ $\therefore \log (t_2/t_1) = 1$

$t_2 = 10$

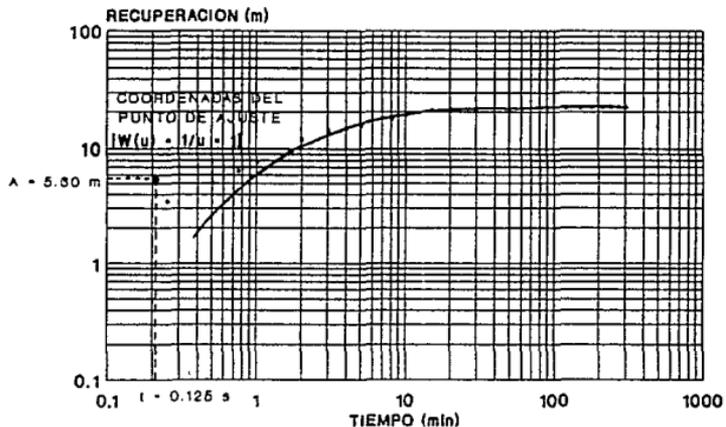
$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.061 \text{ m}^3/\text{s}}{0.81 \text{ m}}$$

$$T = 13.60 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 38

VALLE DE ZACATEPEC
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 35)



TIEMPO ACUMULADO (min) REPERACION (m)

0.1	0.125	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	100.0
0.1	0.125	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	100.0

METODO DE INTERPRETACION: THEIS

N.E. = 33.07 m

Q = 50.00 lps

W(u) = 1.00

1/u = 1.00

A = 5.60 m

t = 0.125 s

$$T = \frac{Q}{4\pi A}$$

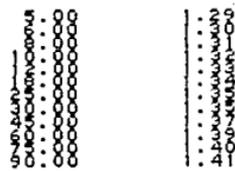
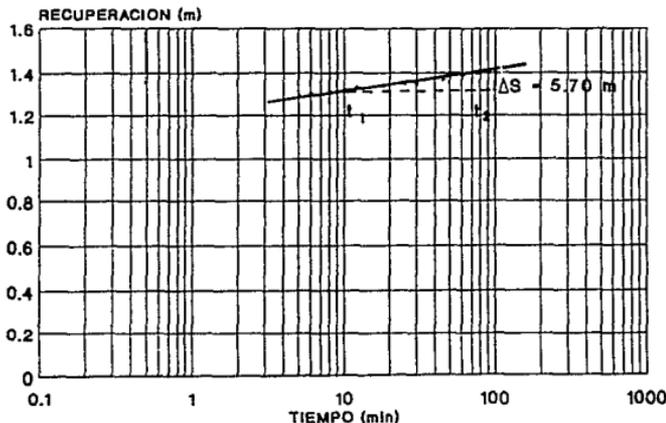
$$T = \frac{0.050 \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi \times 5.60 \text{ m}}$$

$$T = 0.71 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 39

VALLE DE ZACATEPEC
PRUEBA DE BOMBEO
(POZO No. 74)

TIEMPO ACUMULADO (min) RECUPERACION (m)



METODO DE INTERPRETACION: JACOB

N.E. = 69.73 m

Q = 14.30 lps

$\Delta S = 0.10 \text{ m}$

$t_1 = 10$

$\log (t_2/t_1) = 1$

$t_2 = 100$

$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta S}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.01 \text{ m}}$$

$$T = 26.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

FIGURA No. 40

RESULTADOS DE LA INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO

ZONA GEODINAMICA (VALLE DE)	No. POZO	TRANSMISIVIDAD (10^{-3} m ² /s)	ZONA GEODINAMICA (VALLE DE)	No. POZO	TRANSMISIVIDAD (10^{-3} m ² /s)
CUERNAVACA	130	3.88	CUAUTLA-YAUTEPEC	1	4.29
	143	2.75		4	4.58
	166	0.50		5	2.60
	169	2.62		7	3.66
	190	40.07		9	1.27
	191	1.12		11	1.68
	210	0.67		13	5.32
	212	90.00		20	0.63
	244	2.53		23	1.91
	245	2.20		25	3.29
	250	0.83		31	5.82
	276	19.03		49	10.46
	301	51.50		50	7.81
	303	0.95		52	3.22
TEPALCINGO-AXOCHIAPAN	1051	16.20	55	0.18	
	1571	0.82	70	7.54	
	1583	2.00	72	5.57	
	1585	13.60	78	0.03	
	1588	0.10	94	0.16	
	1595	0.90	95	1.33	
	1612	3.10	ZACATEPEC	32	4.22
	1632	1.62		33	3.00
	1642	3.20		35	0.71
	1644	1.70		74	26.16
1666	2.00	86		6.23	
1679	0.16	297	9.15		

CUADRO No. 3

CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS ACUIFEROS

ZONA GEODINAMICA	TRANSMISIVIDAD (10^{-3} m ² /s)	COEF. ALMACENAMIENTO (S) ADIMENSIONAL
CUERNAVACA	0.50 - 90.00	0.04
CUAUTLA-YAUTEPEC	0.03 - 10.46	0.01
TEPALCINGO-AXOCHIAPAN	0.16 - 13.60	0.00
ZACATEPEC	0.71 - 26.16	0.00

TABLA No. 19

6.3 USO ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA

El estado de Morelos cuenta, para el aprovechamiento del agua de origen subterráneo, con: 645 pozos, de los cuales se extrae un volumen de 215 Mm³/año; 213 norias, de las cuales se obtienen anualmente 2 Mm³; y con 82 manantiales que proporcionan un volumen de 316 Mm³ por año (Tablas No. 20 y 21).

Con esta infraestructura la entidad está aprovechando un volumen medio anual de 533 Mm³ de agua del subsuelo; 207 se utilizan para riego de una superficie aproximada de 7 864 ha; unos 121 se destinan para uso potable, satisfaciendo así la demanda de la población asentada en las ciudades; alrededor de 44 son suministrados a las instalaciones industriales; y con 161 se satisfacen las necesidades de la población rural para sus usos doméstico y abrevadero.

La explotación está concentrada en las cuencas del Río Amacuzac y Río Atoyac; en la primera, se aprovechan 448 Mm³ por año, correspondiendo 69 al acuífero del Valle de Cuernavaca, 370 al del Valle de Cuautla-Yautepec y 9 al del Valle de Zacatepec; en la segunda se utilizan 85 Mm³ anualmente, correspondiendo en su totalidad al acuífero del Valle de Tepalcingo-Axochiapan (Tabla No. 22).

TIPOS DE APROVECHAMIENTOS

ZONA	POZO	NORIA	MANANTIAL	SUMAS
CUERNAVACA	237	129	22	388
CUAUTLA-YAUTEPEC	165	34	47	246
TEPALCINGO-AXOCHIAPAN	173	49	6	228
ZACATEPEC	78	1	7	78
TOTAL	645	213	82	948

TABLA No. 20

VOLUMEN DE EXTRACCION POR APROVECHAMIENTOS
(CANTIDADES EN M³)

ZONA	POZO	MORTA	MANANTIAL	SUMAS
CUERNAVACA	51	1	17	69
CUAUTLA-VAUTEPEC	76	1	293	370
TEPALCINGO-AXOCHIAPAN	80	0	5	85
ZACATEPEC	8	0	1	9
TOTAL	215	2	316	533

TABLA No. 21

USO ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA

CUENCA	ACUIFERO (VALLE DE)	USOS DEL AGUA				SUMAS
		AGRICOLA	POTABLE	INDUSTRIAL	DOMESTICO Y ABREVADERO	
RIO ANACUZAC	CUERNAVACA	19	41	8	1	69
	CUAUTLA-VAUTEPEC	113	65	34	158	370
	ZACATEPEC	2	5	1	1	9
SUBTOTALES		134	111	43	160	448
RIO ATOYAC	TEPALCINGO- AXOCHIAPAN	73	18	1	1	85
	SUBTOTALES	73	18	1	1	85
TOTALES		207	121	44	161	533

6.4 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

La evaluación de la potencialidad de un acuífero debe realizarse mediante un método de trabajo que trate directamente con el acuífero, con el agua ya infiltrada y relativamente al margen de los fenómenos que ocurren en la superficie, este método recibe el nombre de **Balance de Aguas Subterráneas**.

Un acuífero es un recipiente subterráneo que tiene recargas, descargas y un cierto almacenamiento. Como respuesta a la acción combinada de las descargas, el nivel de agua del recipiente varía, descendiendo si la recarga es menor y ascendiendo en caso contrario. La recarga, la descarga y las variaciones en el almacenamiento, en un tiempo dado, están relacionadas por un principio universal: **el principio de la conservación de la materia**. El balance de aguas subterráneas se basa en este principio y tiene como objetivo principal la determinación del volumen de recarga de un acuífero, la ecuación general que lo representa se expresa de la siguiente forma:

$$\text{RECARGA} \cdot \text{DESCARGA} = \text{CAMBIO EN EL ALMACENAMIENTO}$$

Analizando detalladamente el término izquierdo de la ecuación, esta se expresa de la siguiente forma:

$$E_h + R_v - S_h - D_n - B - E_v = dV$$

donde:

- E_h = Flujo subterráneo que entra
- R_v = Recarga vertical
- S_h = Flujo subterráneo que sale
- D_n = Descargas naturales (manantiales, etc.)
- B = Extracción por bombeo
- E_v = Evapotranspiración
- dV = Cambio en el almacenamiento

Todos los volúmenes deben corresponder al mismo intervalo de tiempo, de acuerdo a los datos disponibles y según el número de incógnitas se pueden plantear varias ecuaciones, correspondientes a un mismo intervalo de tiempo.

Flujo subterráneo que entra y sale (Eh y Sh)

Los volúmenes subterráneos que entran y salen de los acuíferos estatales, por medio de un flujo horizontal, se determinaron al multiplicar el gasto que circula a través del área transversal de la zona de balance por el periodo de tiempo analizado. La cuantificación de este gasto se realizó mediante la red de flujo, trazada en el plano de elevación del nivel estático (Plano No. 11), y la aplicación de la ley de Darcy, que se expresa como:

$$V = ki$$

donde:

- V = Velocidad media del flujo
- k = Conductividad hidráulica o permeabilidad del acuífero
- i = Gradiente hidráulico

Aplicando la ecuación de continuidad ($Q=VA$) y haciendo referencia del concepto de transmisividad ($T = kb$), tenemos:

$$Q = TiBt$$

donde:

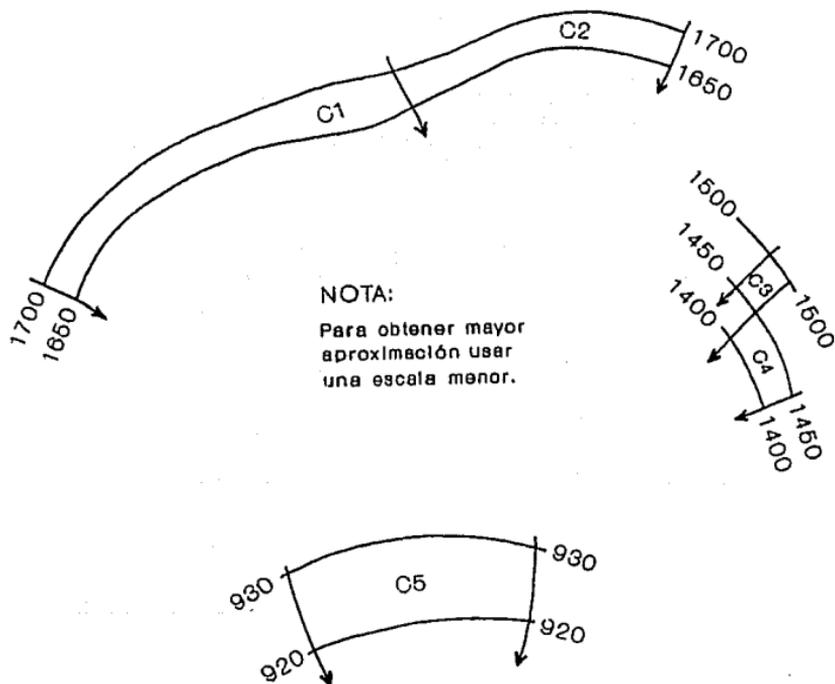
- Q = Caudal que entra o sale ($Mm^3/año$)
- T = Transmisividad del acuífero (m^2/s)
- i = Gradiente hidráulico (adimensional)
- B = Ancho del flujo (m)
- t = Tiempo utilizado para plantear el balance (31.54×10^6 s/año)

Las transmisividades utilizadas para el cálculo de estos caudales son las presentadas en la Tabla No. 19. En la figura No. 41 se ejemplifica la obtención de estos volúmenes, para el valle de Cuernavaca.

Descargas naturales (Dn)

El volumen de descarga del acuífero a un río y en forma de manantial, se cuantificó mediante los datos obtenidos en las estaciones de aforo para medir la descarga de los manantiales y el nivel base de las corrientes.

A continuación se ejemplifica la obtención de este volumen para el valle de Cuernavaca.



**FLUJO SUBTERRANEO QUE ENTRA Y SALE
(VALLE DE CUERNAVACA)**

Nº DE CELDA	Δh (m)	L (m)	i (10^{-3})	T (10^{-3} m ² /s)	B (m)	Q (m ³ /s)	Q (Km ³ /año)	OBSERVACIONES
1	58	788	78.6	2.75	6667	1.29	41	ENTRADA
2	58	667	75.8	2.75	4583	0.95	38	ENTRADA
3	58	684	82.8	8.67	625	0.83	1	ENTRADA
4	58	563	88.9	8.67	1125	0.87	2	ENTRADA
5	18	1688	6.3	5.69	4588	0.54	5	SALIDA

ESCALA 1: 100 000

FIGURA No. 41

El río Apatlaco es el dren principal del valle de Cuernavaca, este río en relación con el acuífero de la zona funciona como efluente, descargando un volumen de $38 \text{ Mm}^3/\text{año}$. Este volumen fué aforado a lo largo del río en las estaciones hidrométricas situadas en la porción media y a la salida de la zona. La primera se localiza en Temixco, aforando un gasto promedio de $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$ y la segunda, ubicada en Zacapetec, con un gasto promedio de $1.66 \text{ m}^3/\text{s}$.

De acuerdo con el hidrograma de gastos medios mensuales para la estación Temixco, mostrado en la figura No. 42, se obtuvo la descarga del flujo subterráneo de la siguiente forma:

ESTACION HIDROMETRICA TEMIXCO

La primera recesión tiene un valor inicial de $K1 = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y toma alrededor de 12 meses para completar un ciclo logarítmico de descarga $K2$. El potencial de descarga total (V_{tp}) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{tp} = K1K2 / 2.3$$

$$V_{tp} = (1.5 \text{ m}^3/\text{s} \times 12 \text{ meses}) (2.6 \times 10^6 \text{ s/mes}) / 2.3$$

$$V_{tp} = 20 \times 10^6 \text{ m}^3$$

El volumen real de agua subterránea descargado durante la recesión real (V_{dreal}), la cual duro aproximadamente 3 meses, se determinó usando la siguiente ecuación:

$$V_{dreal} = [(-K1K2/2.3) / 10^{(t/K2)}] + (K1K2/2.3)$$

$$V_{dreal} = (-20 \times 10^6 \text{ m}^3 / 10^{3/12}) + 20 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{dreal} = 9 \times 10^6 \text{ m}^3$$

RIO APATLACO ESTACION TEMIXCO (HIDROGRAMA DE GASTOS MEDIOS MENSUALES)

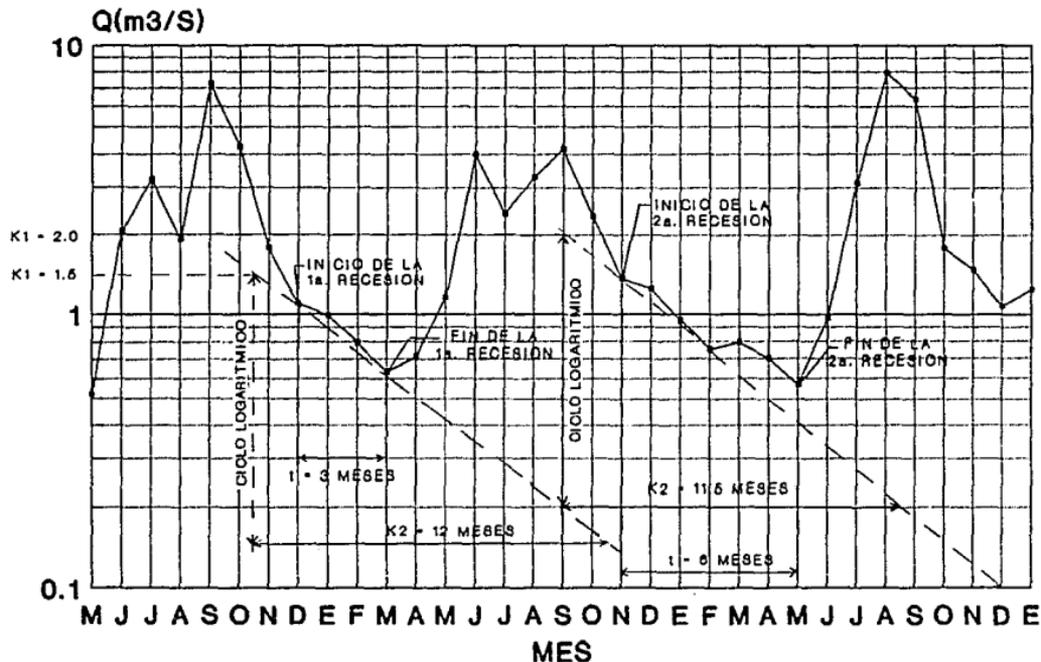


FIGURA No. 42

El flujo base almacenado que todavía permanece al fin de la primera recesión (Vol. potencial remanente), puede determinarse como:

$$\text{Vol. potencial remanente} = V_{tp} - V_{dreal}$$

$$\text{Vol. potencial remanente} = 20 - 9$$

$$\text{Vol. potencial remanente} = 11 \times 10^6 \text{ m}^3$$

En la segunda recesión tiene un valor inicial de $K1 = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ y dura alrededor de 11.5 meses para completar un ciclo logarítmico de descarga $K2$. El volumen potencial de descarga es igual a:

$$V_{tp} = K1K2 / 2.3$$

$$V_{tp} = (2 \text{ m}^3/\text{s} \times 11.5 \text{ meses}) (2.6 \times 10^6 \text{ s/mes}) / 2.3$$

$$V_{tp} = 26 \times 10^6 \text{ m}^3$$

La recarga que tiene lugar entre recesiones es la diferencia de este valor y el potencial remanente de agua subterránea de la recesión anterior, o sea:

$$\text{RECARGA} = 26 - 11$$

$$\text{RECARGA} = 15 \times 10^6 \text{ m}^3$$

El tiempo transcurrido entre las dos recesiones fué de 8 meses, por lo tanto, el caudal promedio por segundo será igual a:

$$Q_n = 15 \times 10^6 \text{ m}^3 / (8 \text{ meses} \times 2.6 \times 10^6 \text{ s/mes})$$

$$Q_n = 0.72 \text{ m}^3/\text{s}$$

De forma similar se obtuvo el gasto promedio de descarga en la estación Zacatepec.

$$Q_n = 1.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto, la descarga promedio anual del acuífero al río Apatlaco es igual a :

$$D_n = [(0.72 \text{ m}^3/\text{s} + 1.66 \text{ m}^3/\text{s}) / 2] \times 31.54 \times 10^6 \text{ s/año}$$

$$D_n = 38 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Extracción por bombeo

La extracción por bombeo, correspondió al volumen explotado por pozos y norias en operación, localizados en la entidad, este volumen se cuantificó en base al censo de aprovechamientos, seleccionándose de él, los que por las características de su equipo de bombeo y/o su régimen de operación tuvieran una influencia significativa en el volumen total.

Existen diversos métodos que se siguen para cuantificar este volumen, entre ellos tenemos:

1. Medidor totalizador de flujo.
2. Consumo de energía eléctrica y caudal.
3. Reloj horario de trabajo del motor y caudal.
4. Superficie y lámina de riego.
5. Agrupando los pozos por diámetro de descarga y uso e investigando el volumen de extracción de los pozos seleccionados en cada grupo.

Un dato importante en la hidrometría de los aprovechamientos que cuentan con equipo de bombeo, es la determinación del caudal que extraen, el cual se puede conocer mediante el aforo de pozos.

Un método práctico y rápido para el aforo de pozos con tubo de descarga horizontal y que pueden estar trabajando parcial o totalmente llenos, es el de la escuadra. Para saber el caudal de extracción, mediante este método, se hace uso del nomograma mostrado en la figura No. 43, el cual contiene además un ejemplo para cada uno de los casos.

NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL GASTO A TRAVES DE UN TUBO

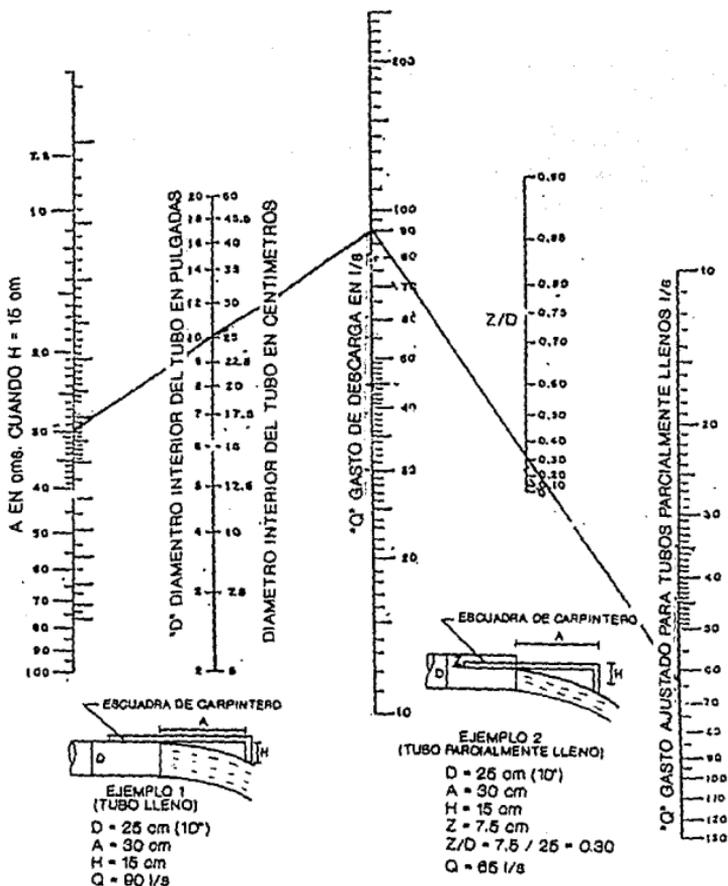


FIGURA No. 43

Evapotranspiración

La evapotranspiración es un término de la ecuación que es difícil de calcular, debido a que depende de varios factores como son: el tipo y densidad de vegetación, humedad ambiente, granulometría de los materiales, profundidad y evolución del nivel de agua. Esta variable solo tiene significado dentro de la ecuación si en el área de estudio existen zonas con nivel freático somero. Por lo tanto, debido a que las zonas de estudio presentan, por lo general, profundidades al nivel de agua mayores a los 10 m., este término no será tomado en cuenta para el balance de aguas subterráneas

Cambio en el almacenamiento

La variación en el almacenamiento se obtuvo en base al plano de evolución al nivel estático (Plano No. 12), mediante la siguiente expresión:

$$dV = nSA$$

donde:

- dV = Cambio en el almacenamiento ($Mm^3/año$)
- n = Valor de la evolución piezométrica ($m/año$)
- S = Coeficiente de almacenamiento (adimensional)
- A = Elemento de área de balance (m^2)

En la figura No. 44 se ejemplifica la cuantificación de esta variación por año, durante el periodo de análisis de 1980-1987, para el valle de Zacatepec.

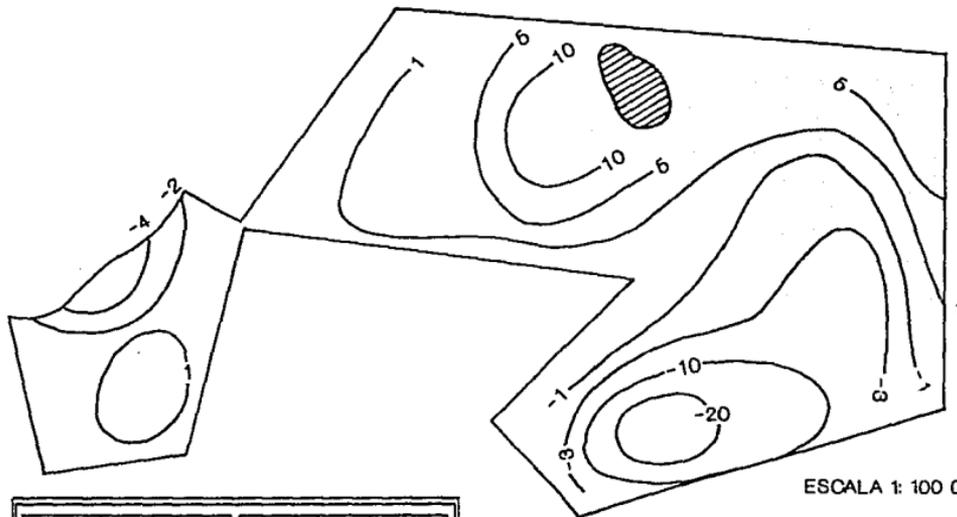
Recarga vertical

La recarga vertical no se puede determinar directamente, por lo tanto, se obtuvo despejándola de la ecuación de balance. Este término se cuantifica cada año, debido a que es un fenómeno que se presenta cíclicamente.

En el presente trabajo el balance de aguas subterráneas fué de tipo multianual, es decir, abarcó 8 años. Sin embargo, los volúmenes de cada miembro de la ecuación de balance se obtuvieron por año.

$$\begin{aligned} (Eh + Rv - Sh - Dn - B - Ev) \times 8 \text{ años} &= dV \\ Eh + Rv - Sh - Dn - B - Ev &= dV/8 \text{ años} \end{aligned}$$

CAMBIO EN EL ALMACENAMIENTO (VALLE DE ZACATEPEC)



ESCALA 1: 100 000

AREA DE BALANCE

AREA (10 ⁶ m ²)	dh (m)	U (10 ⁶ m ³)	AREA (10 ⁶ m ²)	dh (m)	U (10 ⁶ m ³)
3.44	1.0	3.4	10.62	-0.5	- 9.3
16.92	3.0	50.8	16.15	-2.0	- 32.3
3.54	7.5	26.6	8.50	-4.0	- 2.3
3.49	10.0	34.9	9.80	-6.5	- 63.7
14.94	5.0	74.7	7.03	-15.0	-185.5
9.12	0.0	0.0	2.20	-20.0	- 45.6

$$\Sigma V = (190.4 - 258.7) \text{ Mm}^3$$

$$\Sigma V = -68.3 \text{ Mm}^3$$

$$dV = \frac{\Sigma V}{8 \text{ años}}$$

$$dV = \frac{(-68.3)(0.08) \text{ Mm}^3}{8 \text{ años}} = 0.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$dV = -1.0 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

FIGURA No. 44

En las tablas No. 23 y 24 se resumen los valores obtenidos para cada uno de los términos que intervienen en la ecuación de balance de aguas subterráneas, para cada zona geohidrológica y para las cuencas hidrológicas a que la entidad pertenece.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
POR ZONA GEOHIDROLÓGICA

(CANTIDADES EN $\text{Mm}^3/\text{AÑO}$)

ACUÍFERO (VALLE DE)	RECARGA (+)		DESCARGA (-)			dU (-)
	Rv	Eh	B	Dn	Sh	
CUERNAVACA	16	74	52	38	5	5
CUAUTLA-VAUTEPEC	383	58	77	364	3	3
TEPALCINGO-AXOCHIAPAN	65	5	88	8	1	11
ZACATEPEC	9	5	8	4	3	1

TABLA No. 23

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
POR CUENCA HIDROLÓGICA

(CANTIDADES EN $\text{Mm}^3/\text{AÑO}$)

CUENCA	RECARGA (+)		DESCARGA (-)			dU (-)
	Rv	Eh	B	Dn	Sh	
RIO AMACUZAC	488	137	137	486	11	9
RIO ATOYAC	65	5	88	8	1	11
TOTAL	473	142	217	486	12	28

TABLA No. 24

La disponibilidad de un acuífero se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \text{RECARGA TOTAL} - \text{EXTRACCION}$$

donde:

$$\text{- RECARGA TOTAL} = R_v + E_h$$

Cabe señalar que no en todos los casos se considera como recarga para el acuífero al flujo subterráneo que entra, debido a que este volumen puede estar comprometido para algún uso en el valle o zona de donde procede. Para las zonas geohidrológicas en cuestión, solamente en el valle de Cuernavaca se tomó en cuenta, para la recarga total del acuífero, al flujo subterráneo de entrada, ya que este proviene principalmente de la sierra Chichinautzin.

A continuación se muestra la disponibilidad de cada una de las zonas geohidrológicas que conforman la entidad:

VALLE DE CUERNAVACA

$$\text{DISPONIBILIDAD} = (16 + 74) - 52$$

$$\text{DISPONIBILIDAD} = 38 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Este valor corresponde al caudal descargado al río Apatlaco y su disponibilidad depende de si este volumen de agua está o no comprometido para algún uso.

VALLE DE CUAUTLA-YAUTEPEC

$$\text{DISPONIBILIDAD} = 383 - 77$$

$$\text{DISPONIBILIDAD} = 306 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Este valor corresponde principalmente al volumen descargado por los manantiales y su disponibilidad depende de la situación actual en que se encuentre este volumen de agua, si no está comprometida o conccionada para algún uso.

VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN

$$\text{DISPONIBILIDAD} = 65 - 80 \text{ Mm}^3$$

$$\text{DISPONIBILIDAD} = - 15 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

VALLE DE ZACATEPEC

DISPONIBILIDAD = 9 - 8

DISPONIBILIDAD = 1 Mm³/año

De lo anterior se observa que las zonas geohidrológicas de los valles de Cuernavaca, Cuautla-Yautepec y Zacatepec, emplazadas dentro de la cuenca del Río Amacuzac, tienen una disponibilidad de 38, 306 y 1 Mm³/año, respectivamente, lo que las hace considerar como zonas subexplotadas. Por su parte, el acuífero del Valle de Tepalcingo-Axochiapan, emplazado dentro de la cuenca hidrológica del Río Atoyac, presenta un déficit de 15 Mm³, lo que la hace considerar como una zona sobreexplotada.

BALANCE HIDROLOGICO REGIONAL

La disponibilidad del agua en Morelos es de 1634 Mm³/año; de los cuales 1161 corresponden al escurrimiento virgen de los ríos Amacuzac, Amatzinac y Tepalcingo y 473 corresponden a la recarga de los acuíferos. La extracción del recurso es de 1076 Mm³/año, compuesta por 859 de agua superficial y 217 de agua subterránea. Con estas cifras se infiere que la entidad tiene un superavit hidrológico de 1491 Mm³/año.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos señalados para el presente trabajo y a los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones, se plantean las siguientes conclusiones:

- 1a. Las zonas geohidrológicas de los valles de Cuernavaca, Cuautla-Yautepec y Zacatepec, ubicadas dentro de la cuenca hidrológica del Río Amacuzac, tienen una disponibilidad de 38, 306 y 1Mm^3 por año, respectivamente, por lo que se consideran como zonas subexplotadas. El acuífero del Valle de Tepalcingo-Axochiapan, ubicado dentro de la cuenca del Río Atoyac, tiene un déficit de $21\text{Mm}^3/\text{año}$, por ello se considera como zona sobreexplotada.
- 2a. La disponibilidad del Valle de Zacatepec puede incrementarse si existen entradas por flujo subterráneo proveniente del valle de Cuernavaca. De acuerdo con el periodo analizado este valor resultó del orden de los $5\text{Mm}^3/\text{año}$.
- 3a. En general, la calidad del agua subterránea es de buena calidad, por lo tanto es aprovechable casi en su totalidad para cualquiera de sus usos. El 93% de las muestras representativas de los acuíferos cumplieron con las normas de calidad para uso potable, desde el punto de vista inorgánico, debido a que no se tomaron en cuenta sus características bacteriológicas. El 82% de las muestras seleccionadas se clasificaron aptas para uso agrícola sin ninguna restricción; el 18% correspondió a agua de salinidad media con la que se deben tomar en cuenta ligeras precauciones en su uso.
- 4a. En la entidad se identificaron 3 tipos de acuíferos. Los materiales aluviales, conglomerados, tobas, lutitas y limolitas calcáreas forman el acuífero granular superior de geometría irregular. Las calizas que, debido a su alto grado de carsticidad, conforman el acuífero inferior. Las rocas del Grupo Chichinautzin (basaltos) forman los acuíferos colgados, con niveles freáticos más someros que contienen agua de buena calidad.
- 5a. Los niveles de agua subterránea varían de 10 a 91 m. en el valle de Cuernavaca, de 0.8 a 165 m. en el Valle de Cuautla-Yautepec, de 3 a 50 m, en el Valle de Tepalcingo-Axochiapan y de 1 a 78 m,

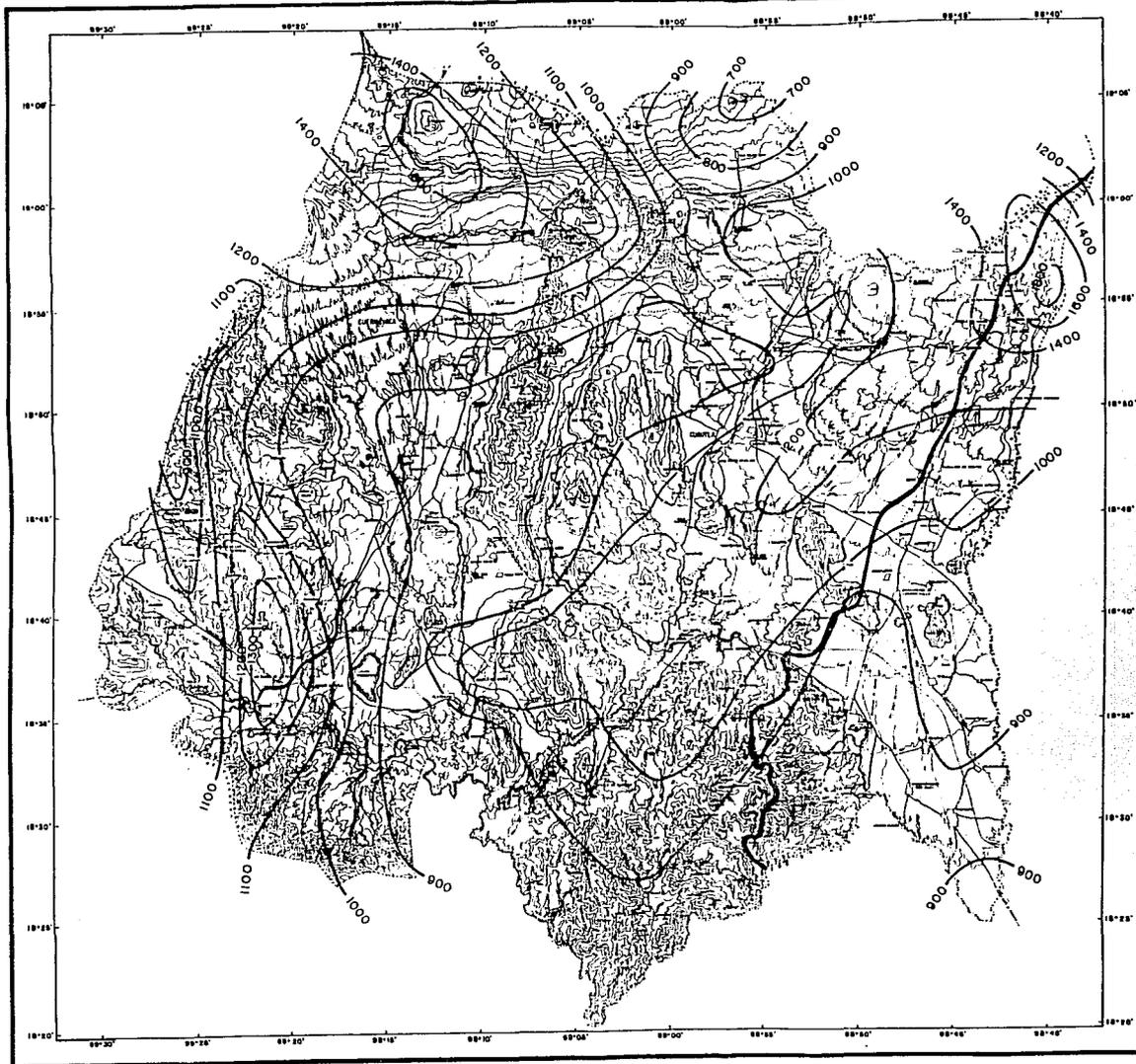
en el Valle de Zacatepec. La diversidad de los niveles se debe a la naturaleza propia de cada uno de los acuíferos estatales y a la posición topográfica de los aprovechamientos.

- 6a. Morelos recibe una recarga de alrededor de 473 Mm^3 al año; esta recarga es originada principalmente en las áreas montañosas de la porción norte y nororiental. La cuenca del Río Amacuzac recibe una recarga de 408 Mm^3 , de la cual: 16,383 y 9 corresponden a los valles de Cuernavaca, Cuautla-Y'atepec y Zacatepec, respectivamente. La zona del Valle de Tepalcingo-Axochiapan, emplazada en la cuenca del Río Atoyac, recibe una recarga de 65 Mm^3 .
- 7a. La salida por flujo subterráneo de la entidad es de $4 \text{ Mm}^3/\text{año}$, de este volumen: 3 salen del valle de Zacatepec al edo. de Guerrero y 1 sale del valle de Tepalcingo-Axochiapan al edo. de Puebla.
- 8a. El esquema general del flujo de agua subterránea en la entidad es, en las 4 zonas geohidrológicas que la conforman, en dirección predominante de norte a sur.

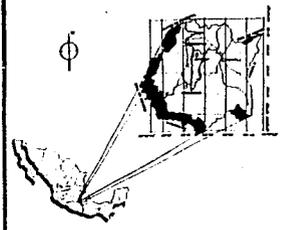
7.2 RECOMENDACIONES

- 1a. Concluir el programa de aforo de los pozos perforados a la fecha, con objeto de determinar la capacidad productora de cada uno de los aprovechamientos y equipar solo los que representan las mejores capacidades específicas.
- 2a. Realizar ensayos de bombeo con pozos de observación, con objeto de determinar los parámetros hidrodinámicos del acuífero (S y T), mismas que permitirán estimar los caudales de entrada y salida de los acuíferos del estado.
- 3a. Estimar pruebas de interferencia que permitan estimar la magnitud de los abatimientos entre captaciones vecinas.
- 4a. De igual importancia se considera en este caso, la obtención de lecturas piezométricas, por lo menos cada 6 meses, a fin de tener un historial completo de pozos; así como llevar un control hidrométrico de las extracciones de agua subterránea por bombeo.

VIII. APENDICES



CROQUIS DE LOCALIZACION



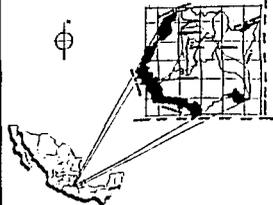
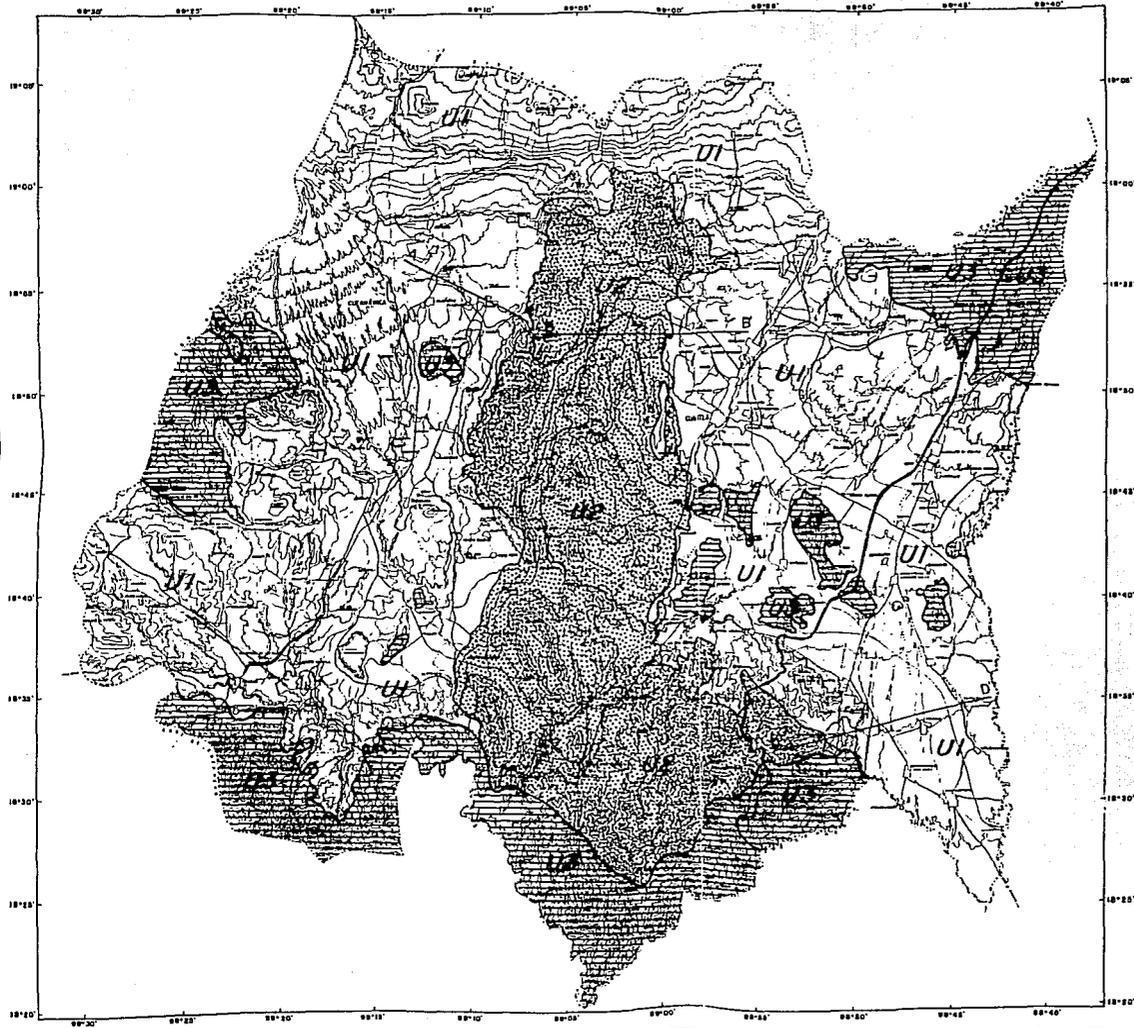
LEGENDA

- CHICHO A PINACAO
- RANCHO
- CARACTERERA PAVIMENTADA
- TERMINERIA
- BRINCA
- FERRETERIA
- ALD & AMONDO
- CURTO DE AVES
- FRONTE ESCALA
- FRONTE DE CIENEN
- CURTO DE AVES PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN MM

FUENTE: PLANO DE ISOYETAS MEDIAN ANUALES DE LA REPUBLICA MEXICANA PARA LA REGION HIDROLOGICA No. 18 (PERIODO 1950-1970) DE LA S.A.H.M.



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
	TOMO PROFESIONAL
PLANO DE ISOYETAS (PERIODO 1950-1970)	PLANO No. 7
REALIZO CARLOS MAGAZA R.	



LEYENDA
LINEALES E HIDROLOGICAS

- 
PERMEABILIDAD ALTA
 (INCLuye, BANCOS CLIMATICOS DE OMBRA
 Y PLUVIADO Y ALIVIOS)
- 
PERMEABILIDAD MEDIA
 (INCLuye, CULTEM, CUARTOS PODIADOS, BUCAS
 Y SUCOSAS DE CONFORMACION ANOMALA)
- 
PERMEABILIDAD BAJA
 (INCLuye, TOSAS Y BARRAS VOLCANICAS,
 GRANITO, BANCOS LITICOS ENCLAVADOS,
 ARENOSAS, YESO, ANFIBOLAS Y
 CONFORMACIONES CAJONADAS)

SIMBOLOGIA

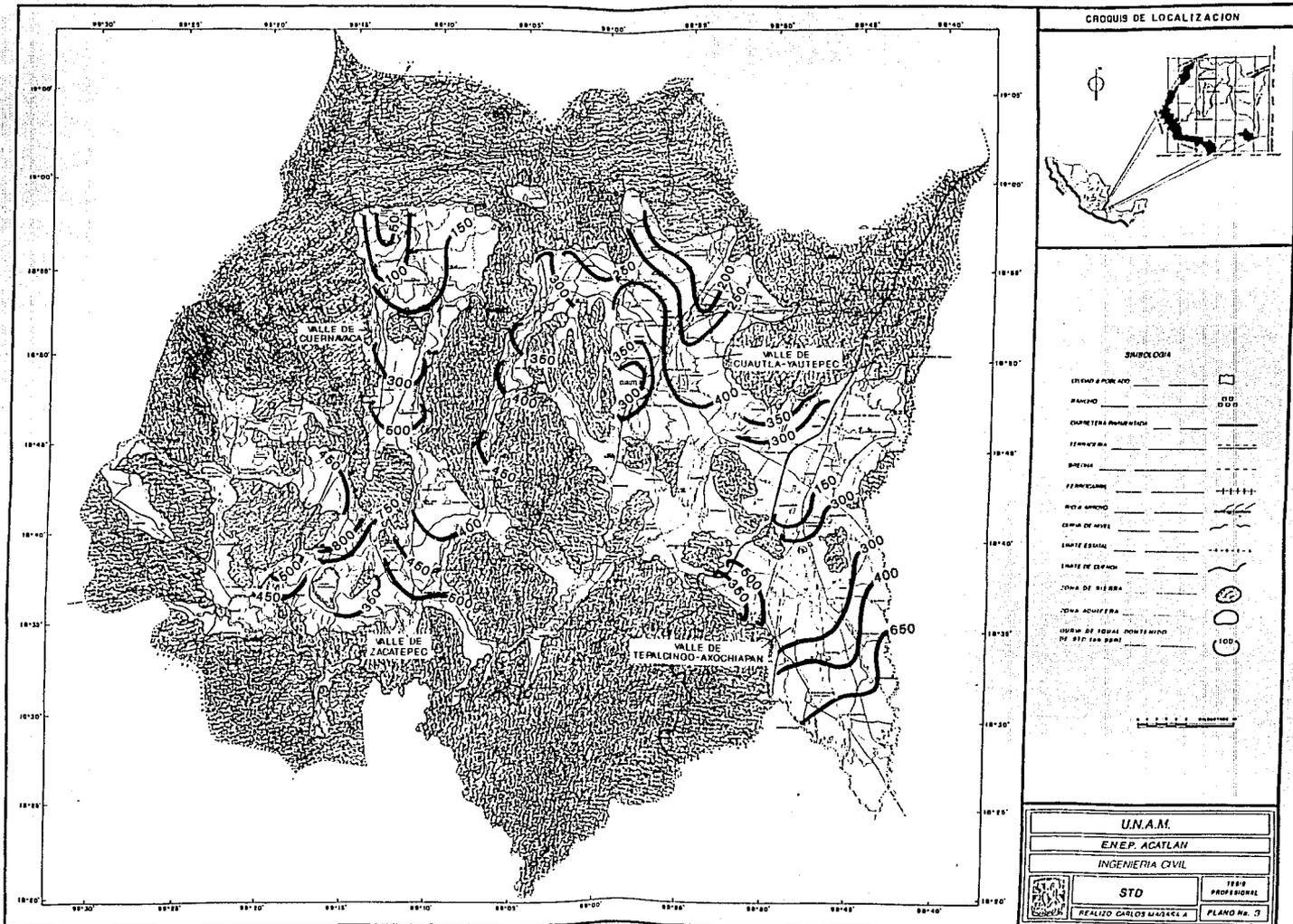
- LINEAS E PORMAS:** 
- RANCHO:** 
- CARRETERAS PRIMARIAS:** 
- TERMINOS:** 
- BRECHAS:** 
- PERMEABILIDAD:** 
- POZO ANFIBOLAS:** 
- CLASIFICACION:** 
- TIPO DE SUELO:** 
- TIPO DE SUELO:** 

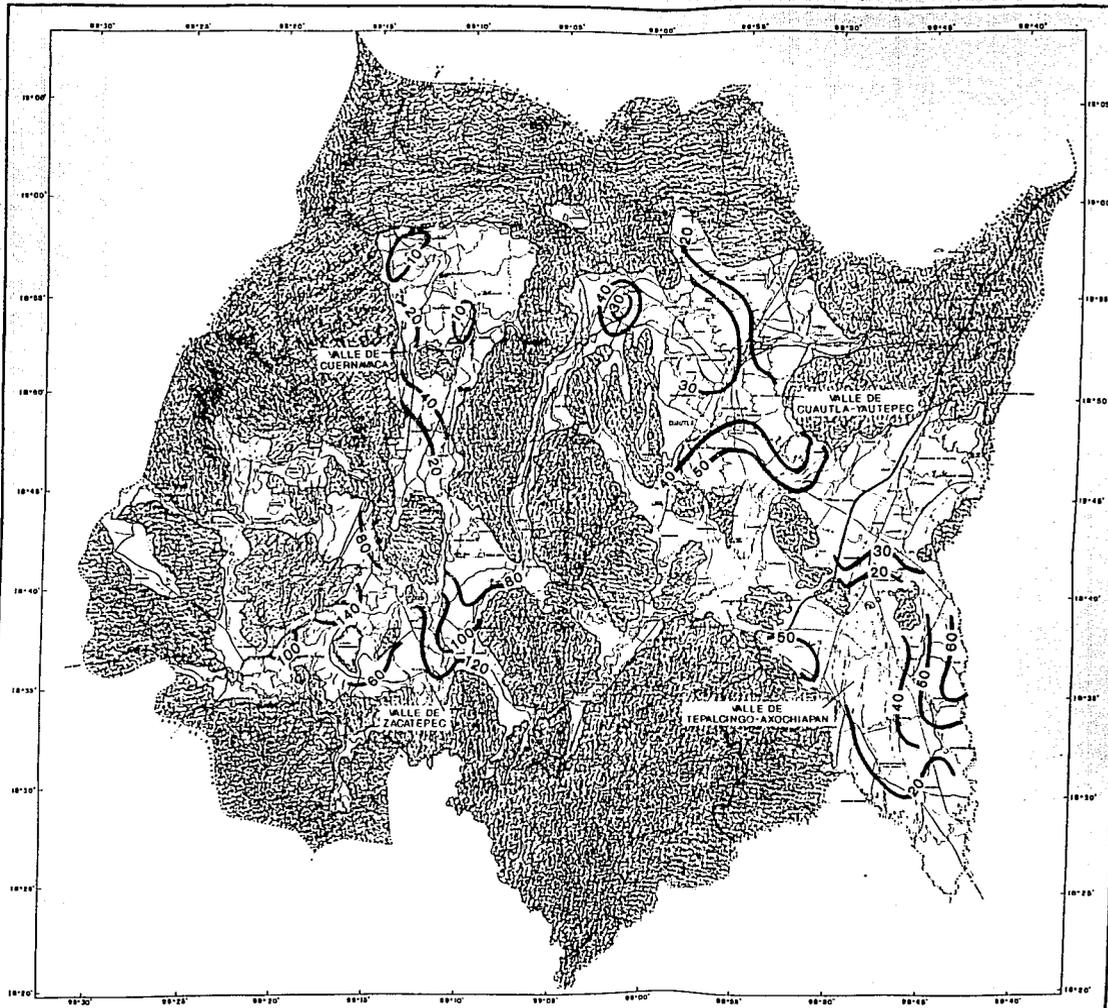
SIMBOLOS GEOLOGICOS

- CONTACTO HORIZONTAL:** 
- DE CONTACTO HORIZONTAL:** 

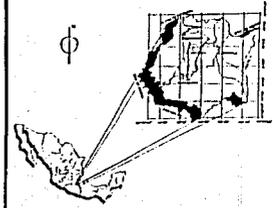
1:50,000 Escala

U.N.A.M.	
ENEP. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
	TESIS PROFESIONAL
PR. ANTO HERRERA CRUZ (C) 21	PLANO No. 2
REALIZO: CARLOS MADRERA A	





CROQUIS DE LOCALIZACION



LEGENDA

- Ciudad o Pobl. Mayor
- Rancho
- Distrito Municipal
- Tercer Orden
- Provincia
- Ferrocarril
- Alojamiento
- Camino de Hierro
- Limite Estable
- Limite de Ciudad
- Zona de Siembra
- Ciudad Antigua
- Origen de Agua Potable

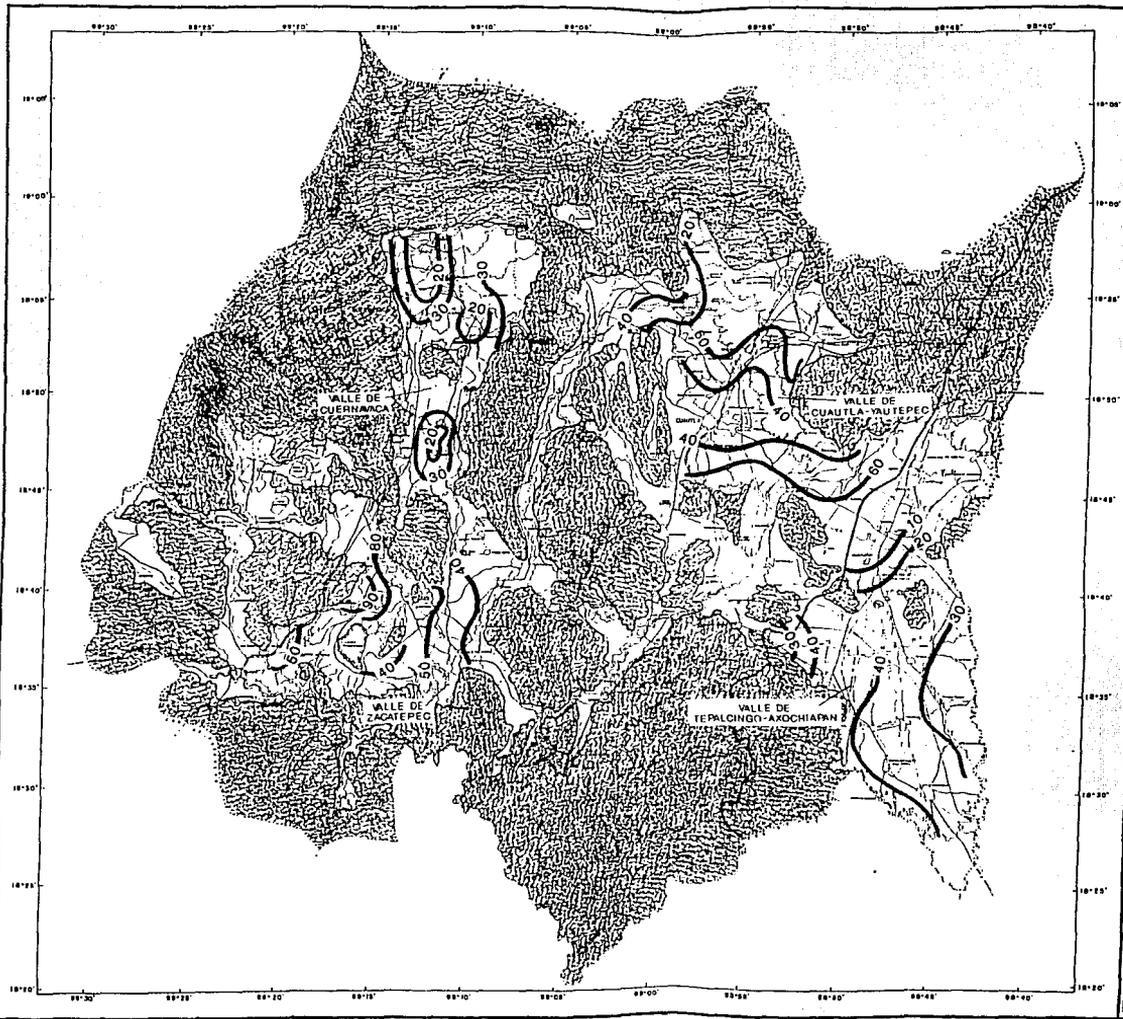
1:50,000

U.N.A.M.

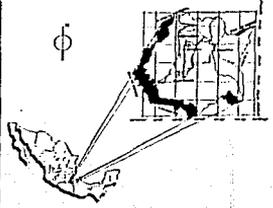
EN.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

CACIONES	TITULO PROFESIONAL
REALIZO CARLOS MADRERA A	PLANO No. 6



CROQUIS DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

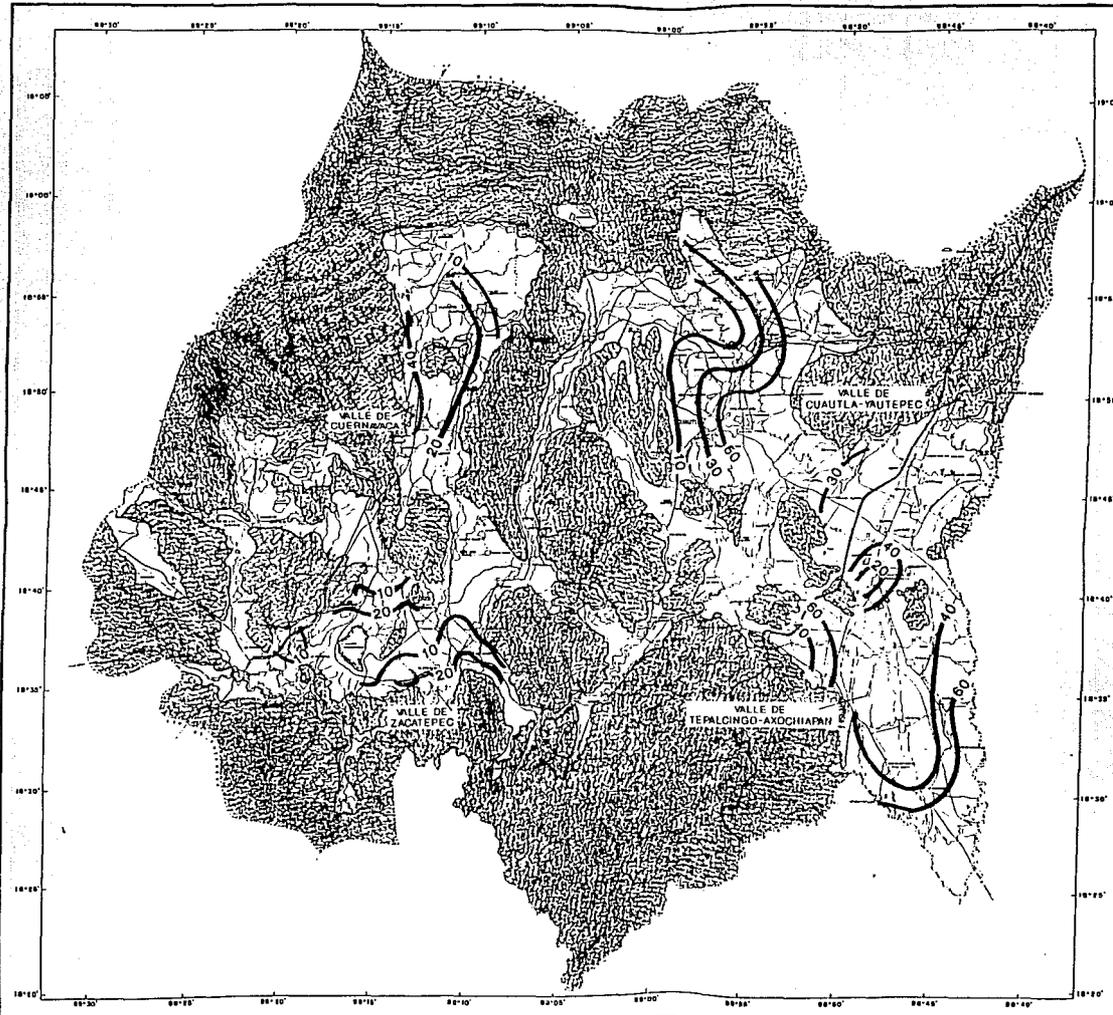
- Ciudad o Poblado
- Rancho
- Comunidad Indígena
- Tercera Zona
- Segunda Zona
- Primera Zona
- Rio o Arroyo
- Cuerpo de Agua
- Embate Estiba
- Embate de Cuenca
- Zona de Sierra
- Zona Admixta
- Cuota de Igual Contenido de un (un) ppm



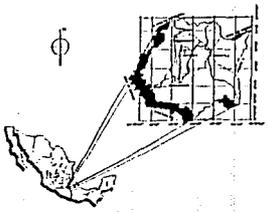
U.N.A.M.
ENEP ACATLAN
INGENIERIA CIVIL

CACIONES
TRABAJO PROFESIONAL

REALIZO CARLOS MADRUGA **PLANO No. 5**

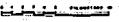


CROQUIS DE LOCALIZACION

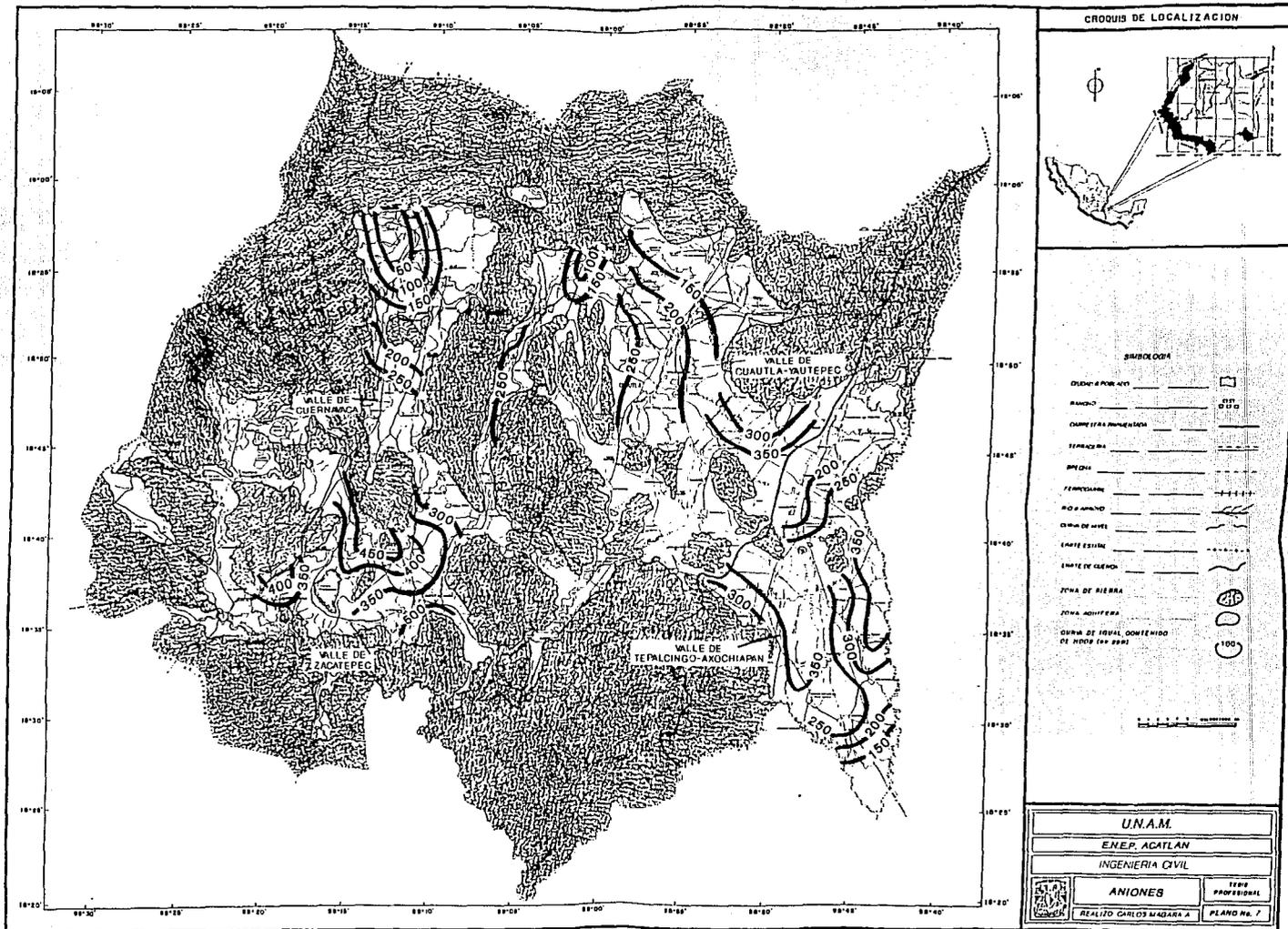


SIEMPRE USAR

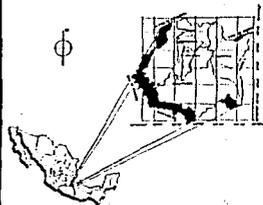
- CIENEGAS Y PUERTO _____
- RANCHO _____
- COMUNIDAD INDIGENA _____
- TERMINOS _____
- BRUNDA _____
- FERROCARRIL _____
- POZO Y LAGO _____
- CIENEGAS Y PUERTO _____
- EMBALEZAMIENTO _____
- EMBALEZAMIENTO _____
- ZONA DE SIERRA _____
- ZONA AGUAFUERA _____
- QUEDA DE TIERRA CANCELADA DE 100 METROS _____



UN.A.M.	
ENEP. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
CACIONES	100% PROFESIONAL
REALIZÓ CARLOS MORALES	PLANO No. 0



CROQUIS DE LOCALIZACION



SIEMBOLOGIA

- QUEVEDO A FONTOCA □
- RANCHO ▭
- CARRERA DE FERROCARRIL — — — — —
- TERMINAL DE FERROCARRIL — — — — —
- RESEA — — — — —
- FERROCARRIL — — — — —
- POZO SACADO — — — — —
- CAJON DE MADERA — — — — —
- FRONTE ESTERIL — — — — —
- FRONTE DE CULEDA — — — — —
- ZONA DE SIERRA ○
- ZONA AGRIERA ○
- CUERVA DE FRENAL CON TENIDO DE HONDA (100 PERS) ○

1:50,000

UN.A.M.

ENEP. ACATLÁN

INGENIERIA CIVIL

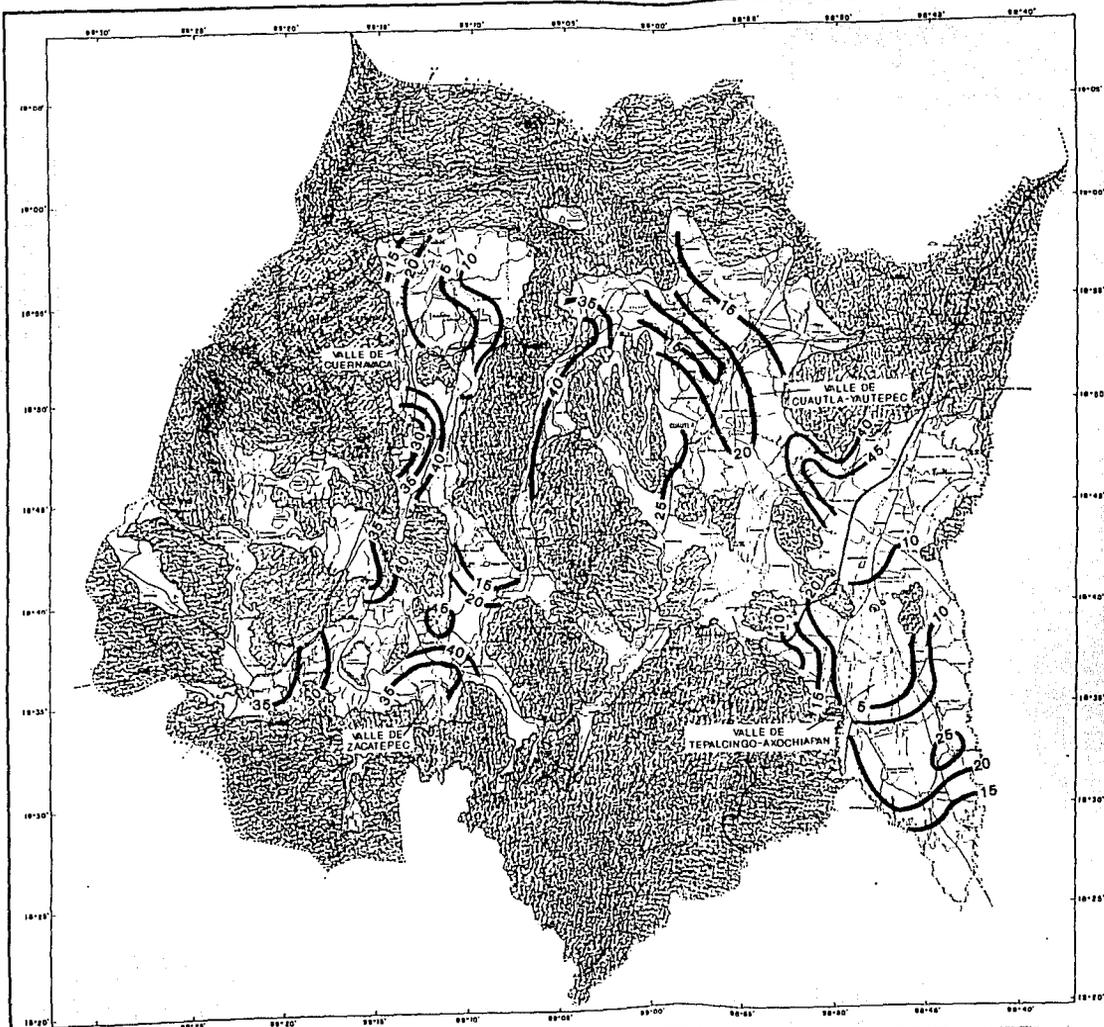


ANIONES

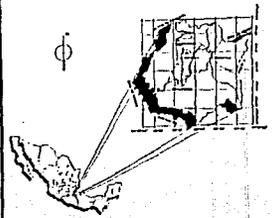
TIPO PROFESIONAL

REALIZÓ CARLOS MADRUGA A.

PLANO No. 7



CROQUIS DE LOCALIZACION



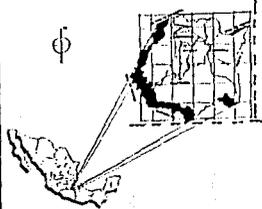
LEGENDA

- CENTRO DE PUEBLO
- ALFARDO
- CALLE DE LA MANO MUERTA
- TERMINAL
- BRINCO
- FERROCARRIL
- ALFARADO
- CALLE DE NIVEL
- CALLE ESTIMA
- CALLE DE CLEROS
- ZONA DE SIERRA
- ZONA ACUÍFERA
- CURVA DE NIVEL DISEÑADO DE 100 M

1:50,000

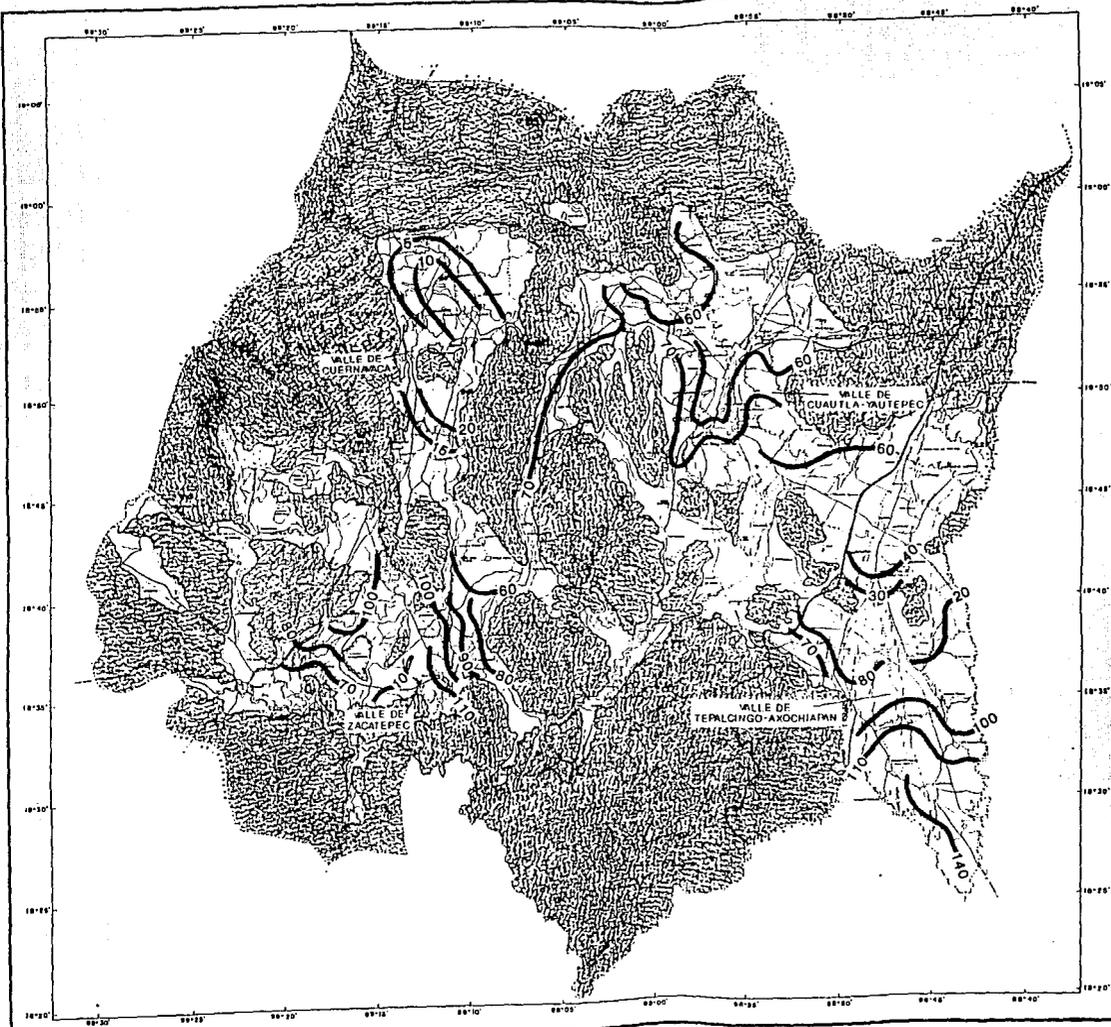
UN.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
ANIONES	ESTUDIOS PROFESIONALES
REALIZÓ CARLOS MARRERA A	PLANO No. 8

CROQUIS DE LOCALIZACION



LEGENDA

- CERCA O PUEBLO
- RANCHO
- CUERPOS DE AGUAS VIVAS
- SIERRA
- FRONTERA
- POZO O MANANTIAL
- TIPO DE SUELO
- TIPO DE CULTIVO
- ZONA DE SIERRA
- ZONA MONTANA
- COTAS DE NIVEL CONVENIDAS DE 500 M. EN ARRIBA



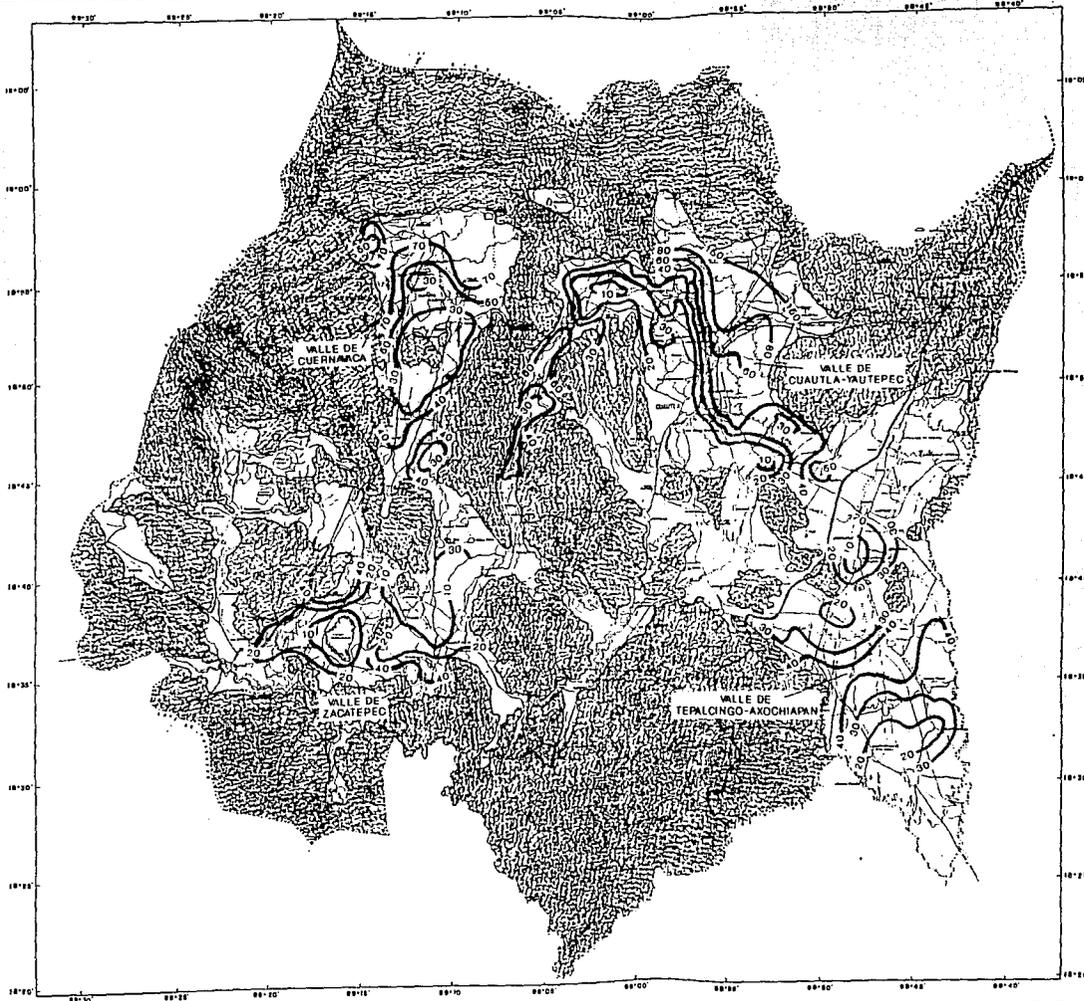
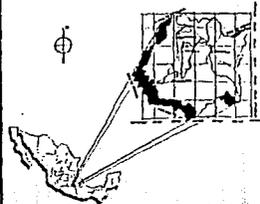
UNAM

ENEP. ACATLAN
INGENIERIA CIVIL

ANIONES

1956
PROFESIONAL

REALIZO CARLOS MADRERA PLANO No. 2



SIMBOLOGIA

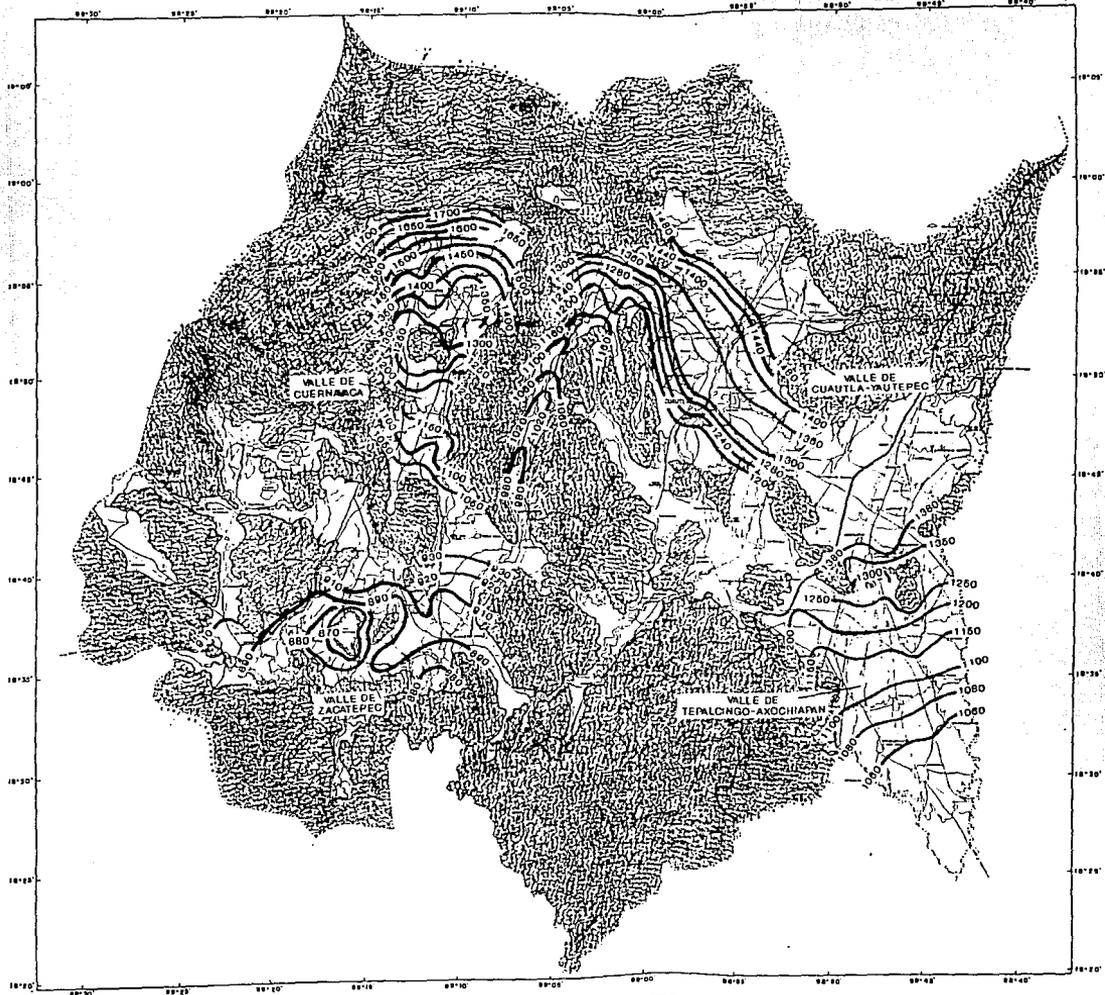
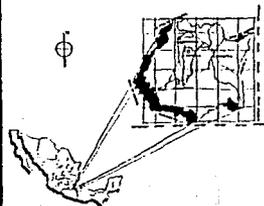
SIEMBRO O PORNADO	
ARBOLO	
GRANDEZA POPULACIONAL	
TERMINACION	
CRUCE	
TERMINACION	
NO A ARBOL	
ORDA DE RIVIL	
LIMITE CANAL	
LIMITE DE CERRIL	
ZONA DE SIEMBRO	
ZONA ARBOLERA	
ORDA DE ISOLAS PROYECTADAS AL NIVEL ESTABLECIDO	
ZONA DE DIVISION DE OBRAS	
VALLE DE CUERNABACA	NOV-88
VALLE DE CUAUTLA-VAUTEPEC	NOV-88
VALLE DE TIERRAS-ARROYO	JUN-87
VALLE DE ZACATEPEC	NOV-87

1:50,000 Escala

UNAM

ENEP ACATLAN
INGENIERIA CIVIL

	PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTABLECIDO PERIODO F17	TERMINACION PROFESIONAL
	REALIZADO CARLOS MADRERA A	PLANO No. 10



SIMBOLOGIA

CERCA O PASELO	
RAMPA	
CANALIZACION PERMANENTE	
TERRACERIA	
SEQUE	
FERROVIARIO	
RIO O ARROYO	
CAJON DE RIVEL	
LIMITE DE DRENAJE	
POZA DE AGUA	
ZONA AGUERA	
CAJON DE RIVAL ELEVACION DEL RIVEL TERMINO	

ZONA DE DIVISION DRENAJE	PERIODO (1)
VALLE DE GUERNAVACA	NOV-88
VALLE DE CUAUTLA-YUTEPEC	MAR-89
VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN	JUN-87
VALLE DE ZACATEPEC	JUL-87



U.N.A.M.

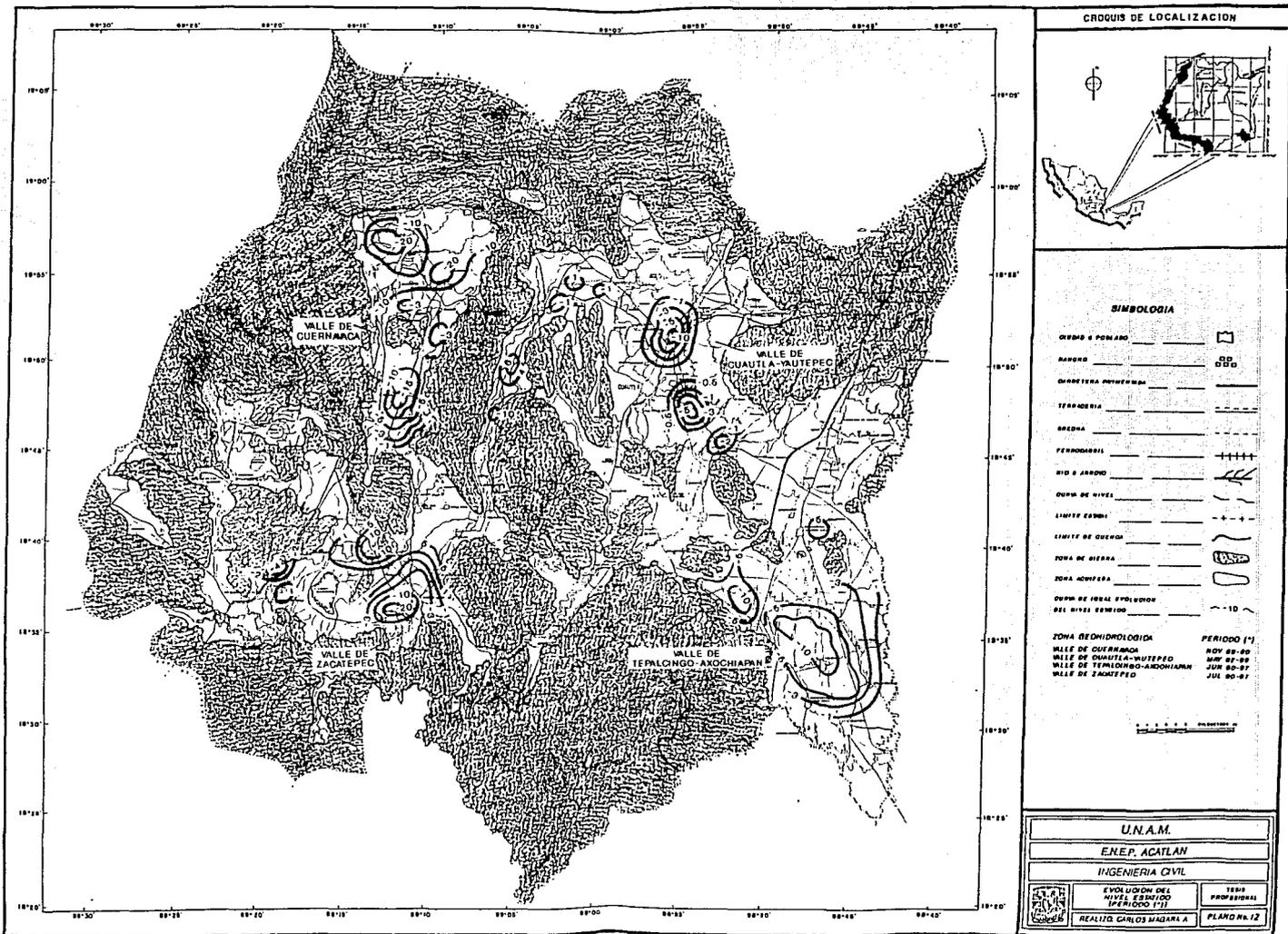
E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

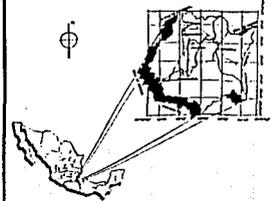


EL INGENIERO DEL NIVEL ESTADISTICO (PERMISO 112)

1989 PROFESIONAL
REALIZO CARLOS MARGARITA PLANO No. 11



CROQUIS DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

CRENS O PUNJAS	
ARROYO	
CORRIENTES PERMANENTES	
TERRADENA	
BAHIA	
FERROVIARIOS	
RIO O ARROYO	
DEPM DE NIVEL	
LIMITE ESTADO	
LIMITE DE CUENCA	
ZONA DE SIERRA	
ZONA ADYACENA	
DEPM DE LOCAL ESTACION DEL NIVEL ESTACION	
ZONA RECIPIENTOLÓGICA	PERIODO (*)
VALLE DE GUERNANACO	NOV 88-89
VALLE DE GUADALUPE	NOV 88-89
VALLE DE TOLUCA	JUN 89-90
VALLE DE TEPALCINGO-AXOCHIAPÁN	JUN 89-90
VALLE DE ZACATEPEC	JUL 90-91

1:50,000 ESCALA

U.N.A.M.

ENEP, ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

	TESIS PROFESIONAL REALIZO CARLOS MAGARRA
EVOLUCION DEL NIVEL ESTACION PERIODO (*)	PLANO No. 12

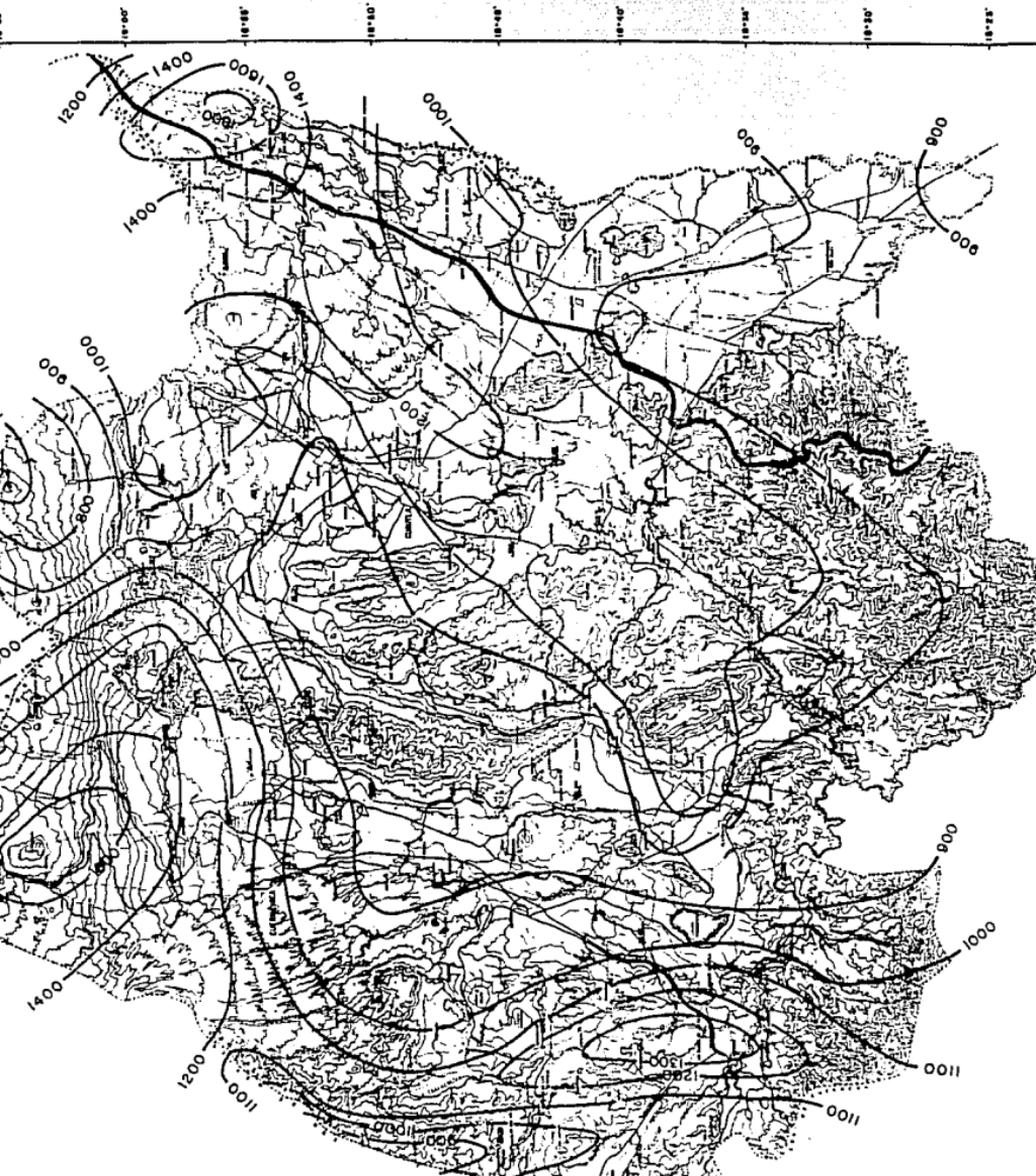


BARROCO

OTRO PARECIDO
MAYOR
COMPLETA MANEJADA
TERRAZAS
MAYOR
FERRUGIN
MAYOR
CERCA DE MAYA
MAYOR
CERCA DE MAYA
MAYOR
CERCA DE MAYA
MAYOR

PROYECTO DE OBRAS DE
RECONSTRUCCION
DE 1954 A 1956

UN
ENEP



IX. BIBLIOGRAFIA

- Aparicio M. Francisco J.: "Fundamentos de Hidrología de Superficie". Ed. LIMUSA. México 1989.
- Tinajero G. Jaime A.: "Apuntes de Aspectos Fundamentales en el Estudio de Aguas Subterráneas". Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. México 1985.
- Cibran Z. Abel: "Estudio Geohidrológico del Valle de Cuautla-Yautepec, Morelos". Tesis Profesional. E.S.I.A., I.P.N. México 1991.
- S.A.R.H. 1980: "Estudio Geohidrológico Preliminar del Valle de Tepalcingo-Axochiapan, Moerlos".
- S.A.R.H. 1981: "Estudio Geohidrológico Preliminar del Valle de Cuernavaca, Moerlos".
- S.A.R.H. 1981: "Estudio Geohidrológico Preliminar del Valle de Cuautla-Yautepec, Moerlos".
- S.A.R.H. 1981: "Estudio Geohidrológico Preliminar del Valle de Zacatepec, Moerlos".
- Fries C. Jr. 1964: "Carta Geológica del estado de Morelos ". Hoja Cuernavaca Clave 14Q-h (8). Escala 1: 100 000. Instituto de Geología, U.N.A.M. México.